

En este libro se expone de manera clara y científicamente argumentada, las variaciones y cambios observados en el clima de Cuba en los últimos 40 años; los escenarios climáticos más probables para los años 2050 y 2100, y, dado éstos, analiza el impacto del cambio climático y las medidas de adaptación en los recursos hídricos; las zonas costeras y los recursos marinos; la diversidad biológica; los bosques; la agricultura; los asentamientos humanos y usos de la tierra; y la salud humana.

Esta obra contiene los resultados de las investigaciones y de la síntesis de conocimientos realizada con la participación de decenas de instituciones del Estado cubano y cientos de expertos y decisores, para cumplir con los compromisos de Cuba con la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en los temas relacionados con los Programas que contienen medidas de adaptación.

Los resultados aquí presentados son los fundamentos científicos de la Segunda Comunicación Nacional a la mencionada Convención y una parte importante del estado del saber sobre esta temática en el país. La Segunda Comunicación Nacional es un proyecto GEF-PNUD coordinado en Cuba por el Instituto de Meteorología, de la Agencia de Medio Ambiente, del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.



IMPACTO del CAMBIO CLIMÁTICO y MEDIDAS de ADAPTACIÓN en CUBA

IMPACTO del CAMBIO CLIMÁTICO y MEDIDAS de ADAPTACIÓN en CUBA

Editores
Eduardo Planos Gutiérrez
Roger Rivero Vega
Vladimir Guevara Velazco



Al servicio
de las personas
y las naciones

IMPACTO del CAMBIO CLIMÁTICO y MEDIDAS de ADAPTACIÓN en CUBA

Editores:

Eduardo Planos Gutiérrez

Roger Rivero Vega

Vladimir Guevara Velazco



*Al servicio
de las personas
y las naciones*

La impresión de este libro ha sido financiada por:

Proyecto GEF/ PNUD "Actividades de apoyo para la preparación de la Segunda Comunicación Nacional de la República de Cuba con arreglo a la Convención Marco de las Naciones Unidas".

Los puntos de vistas expresados en esta publicación pertenecen a los autores y no necesariamente representan los del PNUD o los del Sistema de Naciones Unidas.

Esta obra es propiedad de un colectivo de instituciones representadas por el Instituto de Meteorología. Se autoriza su reproducción parcial con fines docentes, siempre y cuando se cite la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de su contenido, con otros fines, sin la expresa autorización escrita del Instituto de Meteorología.

Derechos reservados conforme la Ley:

© Instituto de Meteorología

Cítese como

Planos, E; Vega, R y A, Guevara, Editores, (2013). Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Medio Ambiente y Tecnología. La Habana, Cuba, 430 pp.

Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba.

Primera edición, 2013

ISBN: 978-959-300-039-0

Editorial AMA

Edición científica:

Dr. Eduardo O. Planos Gutiérrez.

Lic. Roger Rivero Vega.

MSc. A. Vladimir Guevara Velazco.

Edición, diseño y composición: Lic. Eduardo Martínez Oliva.

Corrección: Yanelis González Leyva

Foto cubierta: Alejandro Planos González, Inundación costera Huracán Wilma (2005) , Calzada y G, Vedado, La Habana, Cuba.



Una importante especie biológica está en riesgo de desaparecer por la rápida y progresiva liquidación de sus condiciones naturales de vida: el hombre.

Ahora tomamos conciencia de este problema cuando casi es tarde para impedirlo.

Es necesario señalar que las sociedades de consumo son las responsables fundamentales de la atroz destrucción del medio ambiente. Ellas nacieron de las antiguas metrópolis coloniales y de políticas imperiales que, a su vez, engendraron el atraso y la pobreza que hoy azotan a la inmensa mayoría de la humanidad. Con solo el 20 por ciento de la población mundial, ellas consumen las dos terceras partes de los metales y las tres cuartas partes de la energía que se produce en el mundo. Han envenenado los mares y ríos, han contaminado el aire, han debilitado y perforado la capa de ozono, han saturado la atmósfera de gases que alteran las condiciones climáticas con efectos catastróficos que ya empezamos a padecer.

Los bosques desaparecen, los desiertos se extienden, miles de millones de toneladas de tierra fértil van a parar cada año al mar. Numerosas especies se extinguen. La presión poblacional y la pobreza conducen a esfuerzos desesperados para sobrevivir aun a costa de la naturaleza. No es posible culpar de esto a los países del Tercer Mundo, colonias ayer, naciones explotadas y saqueadas hoy por un orden económico mundial injusto.

La solución no puede ser impedir el desarrollo a los que más lo necesitan. Lo real es que todo lo que contribuya hoy al subdesarrollo y la pobreza constituye una violación flagrante de la ecología. Decenas de millones de hombres, mujeres y niños mueren cada año en el Tercer Mundo a consecuencia de esto, más que en cada una de las dos guerras mundiales. El intercambio desigual, el proteccionismo y la deuda externa agreden la ecología y propician la destrucción del medio ambiente.

Si se quiere salvar a la humanidad de esa autodestrucción, hay que distribuir mejor las riquezas y tecnologías disponibles en el planeta. Menos lujo y menos despilfarro en unos pocos países para que haya menos pobreza y menos hambre en gran parte de la Tierra. No más transferencias al Tercer Mundo de estilos de vida y hábitos de consumo que arruinan el medio ambiente. Hágase más racional la vida humana. Aplíquese un orden económico internacional justo. Utilícese toda la ciencia necesaria para un desarrollo sostenido sin contaminación. Páguese la deuda ecológica y no la deuda externa. Desaparezca el hambre y no el hombre.

Cuando las supuestas amenazas del comunismo han desaparecido y no quedan ya pretextos para guerras frías, carreras armamentistas y gastos militares, ¿qué es lo que impide dedicar de inmediato esos recursos a promover el desarrollo del Tercer Mundo y combatir la amenaza de destrucción ecológica del planeta?

Cesen los egoísmos, cesen los hegemonismos, cesen la insensibilidad, la irresponsabilidad y el engaño. Mañana será demasiado tarde para hacer lo que debimos haber hecho hace mucho tiempo.

Fidel Castro Ruz
Cumbre de Río, 1992

AGRADECIMIENTOS

Esta obra hubiera sido imposible sin el apoyo de un grupo de instituciones y personas que trabajaron arduamente en el transcurso de tres años. Por ello, la dirección del Proyecto Segunda Comunicación Nacional al Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, desea expresar su reconocimiento y agradecimiento a todos aquellos que nos acompañaron y alentaron este trabajo.

A la Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente, muy especialmente a su Presidencia y a la Dirección de Programas y Proyectos, por haber sido partes importantes de este trabajo, con su permanente apoyo, acompañamiento y exigencia.

Por el trabajo realizado en los capítulos correspondientes, en la concepción general del trabajo, y su participación y apoyo en todas las actividades realizadas a:

- Dirección de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente.
- Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, a las direcciones de Ciencia y Técnica y de Cuencas Hidrográficas, y a Delegación de la Habana.
- Instituto de Planificación Física y a su grupo científico.
- Ministerio de la Agricultura y a sus direcciones de Ciencia y Técnica, y Forestal; sus institutos de Investigaciones Agro-forestales, de Investigaciones del Tabaco, de Investigaciones Porcinas, de Ingeniería Agrícola y de Investigaciones de Granos; de Suelos; así como el Grupo Empresarial Agricultura de Montaña y las empresas Forestal Integral de Mayabeque, Victoria de Girón y Villa Clara.
- Ministerio de Salud Pública, y a sus institutos Pedro Kourí y la Unidad Nacional de Vigilancia.
- Ministerio de Educación Superior, por la participación del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas y el Centro de Estudios del Medio Ambiente de la Universidad de la Habana.
- Los institutos y centros de la Agencia de Medio Ambiente: Oceanología, Ecología y Sistemática, Geografía Tropical, Geofísica y Astronomía, Acuario Nacional y Museo de Ciencias Naturales.
- Organización No Gubernamental "Patrimonio", por su inestimable apoyo logístico.

A la Oficina del PNUD en Cuba, que además de actuar como agencia implementadora, constituyó un soporte permanente, con su participación activa en todas las actividades del equipo de vulnerabilidad y adaptación.

Al Instituto de Meteorología, coordinador de estos estudios, cuya confianza y apoyo fueron decisivos para la culminación de esta obra.

A los editores, por su trabajo dedicado.

Y, muy especialmente, a los líderes temáticos y sus equipos, gestores principales y autores de este libro.

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

1. Instituto de Meteorología (INSMET).
2. Instituto de Oceanología (IDO).
3. Instituto de Ecología y Sistemática (IES).
4. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).
5. Ministerio de la Agricultura (MINAG).
6. Instituto de Investigaciones Forestales (IIF).
7. Dirección Nacional Forestal (DNF).
8. Grupo Empresarial Agricultura de Montaña (GEAM).
9. Empresa Integral Forestal Mayabeque.
10. Empresa Integral Forestal Victoria de Girón.
11. Empresa Integral Forestal Villa Clara.
12. Universidad de Alicante.
13. Instituto de Suelos (IS).
14. Instituto de Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA).
15. Instituto de Ingeniería Agrícola (IAgric).
16. Instituto de Investigaciones de Granos (IIGranos).
17. Instituto de Investigaciones del Tabaco (IIT).
18. Instituto de Investigaciones Porcinas (IP).
19. Instituto de Planificación Física (IPF).
20. Instituto Pedro Kourí (IPK).
21. Unidad Nacional de Vigilancia y Lucha Antivectorial (UNVLA).
22. Dirección Medio Ambiente, CITMA (DMA).
23. Centro de Investigaciones Pesqueras (CIP).
24. Acuario Nacional de Cuba (ANC).
25. Museo de Historia Natural (MNHN).
26. Instituto Geografía Tropical (IGT).
28. Centro Nacional de Áreas Protegidas (SNAP).
29. Centro de Investigaciones Marina (CIM).
30. Empresa Nacional de Flora y Fauna (ENPFF).

COORDINADOR GENERAL

Dr. Eduardo Planos, INSMET.

COORDINADORES TEMÁTICOS

Variaciones y Cambios en el Clima.

Dr. Ramón Pérez, INSMET.

Escenarios Climáticos.

Lic. Abel Centella, INSMET.

Recursos Hídricos.

MSc. Argelio Fernández, INRH.

Zonas Costeras y Recursos Marinos.

Dr. Marcelino Hernández, IDO.

Diversidad Biológica.

MSc. Avelino G. Suárez, IES.

Bosques.

Dra. Alicia Mercadet, INAF.

Agricultura.

MSc. Aylín Villalón, IIT.

Asentamientos Humanos y Uso de la Tierra.

MSc. Carlos M. Rodríguez, IPF.

Salud Humana

Dr. Antonio E. Pérez, IPK.

AUTORES*

Cuba: geografía, economía y sociedad

Omar Rivero²², Ana Boquet Roque¹⁹, Carlos M. Rodríguez¹⁹, Lucía Favier¹⁹ y Marilú Abreu Tamayo¹⁹.

Variaciones y cambios en el clima

Ramón Pérez¹, Cecilia Fonseca¹, Braulio Lapinel¹, Cecilia González¹, Idelmis González¹, Eduardo Planos¹, Virgen Cutié¹, Ida Mitrani¹, Gisell Aguilar¹, Mario Carnesol-
tas¹, Maritza Ballester¹, Miriam Limia¹, Raimundo Vega¹, Alejandro Vichot¹, Oscar
O. Díaz,¹ Alexis Pérez,¹ Raysel Cangas,¹ Lourdes Álvarez,¹ Alejandro Morales²⁴, Jor-
ge Viamontes²⁴ y Jarmila Pérez²⁴.

Escenarios climáticos

Abel Centella¹ y Arnoldo Bezanilla.¹

Recursos hídricos

Argelio Fernández⁴ y Jorge M. García⁴.

Zonas costeras y recursos marinos

Marcelino Hernández², José F. Montalvo², José L. Juanes², Yancel Rodríguez² y
Carlos Martínez².

Diversidad biológica

Avelino G. Suárez³, Aida Hernández-Zanuy², Ariel Rodríguez³, Pedro Blanco³,
Bárbara Sánchez³, Lourdes Rodríguez³, Leda Menéndez³, José M. Guzmán³, Lázaro
Rodríguez³, Francisco Cejas³, Orlando Novua²⁶, Jacqueline Pérez³, Arturo
Hernández³, Antonio López²⁵, Ana Martell³, Hermen Ferrás³, Mayra Camino²⁷,
Roberto Pons³, José M. de Miguel³, Pedro M. Alcolado², Darlenys Hernández-
Muñoz², Hansel Caballero²⁴, Linnet Busuti², Susana Perera²⁸, Gema Hidalgo², Rafael
Puga²³, Roberto Piñeiro²³, Lisset S. Cobas²³, María E. de León²³, Norberto Capetillo²³,
Romina Alzugaray²³, Félix G. Moncada²³, Julia Azanza²⁹, Gonzalo Nodarse²³,
Yosvani Medina²³, Yanet Forneiro³⁰, Beatriz Martínez²³, Sergio Lorenzo², Macario
Esquivel², Roberto Guerra², Magalys Sosa², Sandra Loza², Margarita Lugioyo² y
Linnet Busuti².

Bosques

Arnaldo Álvarez⁶, Alicia Mercadet⁶, Elía Linares⁷, Orlidia Hechavarría⁶, Juan M.
Montalvo⁷, Osiris Ortiz⁶, Elsa Cordero⁶, Magyuri Ávila⁶, Haylet Cruz⁶, Ivaine Vila⁶,
Liliana Caballero⁶, Arlety Ajete⁶, Yuniór Álvarez⁶, Lourdes Gómez⁶, Antonio Escarré¹²,
Ivón Diago⁷, Fernando Jiménez⁸, Humberto Hernández⁹, Vicente F. Cárdenas⁹,
Andrés Hernández⁶, Mario Céspedes¹¹, Edwin Oramas¹¹ y Giraldo Fagundo¹⁰.

Agricultura

Arnaldo Álvarez⁹, Mario Riverol¹³, Felicita González¹⁵, Francisco Soto¹⁴, Juan G.
Castillo¹⁴, Yusley Contreras¹⁶, Telce A. González¹⁶, Ricardo Canet¹⁶, Ailyn Villalón¹⁷,

* El número de referencia se corresponde con el listado de instituciones participantes.

Vladimir E. Andino¹⁷, Ana Y. Cuéllar González¹⁷, Ma. Ángeles Barbería¹⁷, Ma. Tamara Cruz¹⁸, Roberto Sosa¹⁸, Ramón Chao¹⁸, Carlos Abeledo¹⁸, Francisco J. Dieguez¹⁸, Arístides García¹⁸, Elizabet Cruz¹⁸, Yaser Díaz¹⁸, Roger Rivero¹, Roger R. Rivero¹, Albert Rodríguez¹ y Fara Carrera¹⁹.

Asentamientos humanos y uso de la tierra

Carlos M. Rodríguez¹⁹, Ana D. Boquet¹⁹, Lucía A. Favier¹⁹, Fara S. Carreras¹⁹ y Armando C. Muñiz¹⁹.

Salud humana

Paulo L. Ortiz¹, Antonio E. Pérez²⁰, Alina Rivero¹, Alina Pérez²¹, Juan R. Cangas²¹ y Antonio V. Guevara¹.

* El número de referencia se corresponde con el listado de instituciones participantes.

ÍNDICE

PRÓLOGO	15
CAPÍTULO 1. CUBA: GEOGRAFÍA, ECONOMÍA Y SOCIEDAD	21
1.1. Caracterización geográfica del archipiélago cubano	21
1.2. Condiciones climáticas generales	22
1.3. Población	24
1.4. La economía	26
1.5. Energía	28
1.6. Agricultura, uso del suelo y silvicultura	30
1.7. Recursos hídricos	34
1.8. Diversidad biológica	35
1.10. Estado del medio ambiente	37
Bibliografía	41
CAPÍTULO 2. VARIACIONES Y CAMBIOS DEL CLIMA	43
2.1. Investigaciones climáticas en Cuba	43
2.2. Circulación atmosférica	43
2.3. Temperatura superficial del aire	52
2.4. Precipitación	57
2.5. Los procesos de sequía	64
2.6. Tormentas Locales Severas	69
2.7. Huracanes	70
2.8. Inundaciones costeras	76
2.9. Principales resultados	90
2.10. Conclusiones generales	92
Bibliografía	92
CAPÍTULO 3. ESCENARIOS CLIMÁTICOS	99
3.1. Modelación del clima	99
3.2. El Sistema de Modelado PRECIS	100
3.3. PRECIS: Patrones climáticos futuros	104
Bibliografía	115
CAPÍTULO 4. RECURSOS HIDRICOS	119
4.1. El agua en Cuba	119
4.2. Escenarios hidrológicos para 2050 y 2100	123
4.3. Vulnerabilidades e impactos	126
4.4. Medidas de adaptación	128
Bibliografía	134
CAPÍTULO 5. ZONAS COSTERAS Y RECURSOS MARINOS	137
5.1. Nivel medio del mar y zonas costeras	137
5.2. La zona costera cubana	139
5.3. Variabilidad y tendencia a largo plazo del nivel del mar	142
5.4. Dinámica e hidrología de la plataforma insular	163
5.5. Calidad y acidificación de las aguas y los sedimentos	172

5.6. Vulnerabilidad al cambio climático	177
5.7 Medidas de adaptación	193
5.8 Consideraciones finales	194
Bibliografía	195
CAPÍTULO 6. DIVERSIDAD BIOLÓGICA	203
6.1. El estudio de la diversidad biológica	203
6.2. Diversidad biológica cubana	204
6.3. Biodiversidad terrestre y costera	204
6.4. Diversidad biológica marina costera	229
Bibliografía.	256
CAPÍTULO 7. BOSQUES	263
7.1. Los bosques naturales al término del 2007	263
7.2. Impactos del cambio climático en los bosques naturales	267
Bibliografía	298
CAPÍTULO 8. AGRICULTURA	303
8.1. Estado del conocimiento	303
8.2. Sector agropecuario al término del 2007	304
8.3. Impactos, medidas de adaptación y vulnerabilidades	330
8.4. Certidumbres, incertidumbres, brechas y lecciones	342
Bibliografía	345
CAPÍTULO 9. ASENTAMIENTOS HUMANOS Y USOS DE LA TIERRA	347
9.1. Evolución del uso y tenencia de la tierra	347
9.2. Distribución de la población	352
9.3. Procesos sequía	358
9.4. Asentamientos humanos costeros	364
9.5. El cambio climático y la surgencia en cayerías con desarrollo turístico	378
9.6. Las ciudades y el cambio climático	386
9.7. Potencialidades de los municipios para el desarrollo ante el cambio climático	392
9.8. Conclusiones	397
Bibliografía	399
CAPÍTULO 10. SALUD HUMANA	401
10.1. Cambio climático y salud	401
10.2. Enfermedades infecciosas	402
10.3. Variabilidad, cambio climático y salud humana	406
10.4. Medidas de adaptación	424
10.5. Conclusiones	428
Bibliografía	429

PRÓLOGO

Para nuestro país, las investigaciones y los nuevos conocimientos sobre el clima, el cambio climático y sus impactos, han constituido objeto priorizado de estudio desde hace varias décadas. Nuestra condición de archipiélago y ubicación geográfica en el mar Caribe, nos hace altamente vulnerable a los eventos asociados a la variabilidad climática, con gran incidencia en sectores económicos como la agricultura y el turismo, sobre los aspectos sociales como la salud y la ubicación de nuestros principales asentamientos urbanos en la zona costera, a lo que habría que agregar la alta fragilidad de nuestros recursos naturales y ecosistemas.

Por otro lado, sufrimos la influencia que sobre los países en vías de desarrollo imponen las muy complejas situaciones que se afrontan a nivel global, donde las grandes crisis que atravesamos amenazan con la posibilidad real de hacer imposible el sostén de la vida en nuestro planeta.

La situación actual viene caracterizada por un incremento de la pobreza extrema, así como por la crisis financiera, económica, comercial, alimentaria, energética, de salud, educacional, demográfica, ambiental, el cambio climático, el incremento del riesgo y la vulnerabilidad del hombre ante los desastres naturales, a todo lo cual tendríamos que dramáticamente añadir la peligrosa multiplicación de los conflictos armados.

Valdría recordar que desde el siglo pasado se viene alertando y reconociendo la indisoluble relación entre economía, sociedad y medio ambiente, perfilada con claridad desde la Conferencia sobre Desarrollo Humano de Estocolmo, en 1972.

En la Cumbre Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro, en 1992, se abraza el concepto de desarrollo sostenible y se establece un grupo de principios éticos, morales y filosóficos que deberían adoptar y materializar en sus relaciones los diferentes estados a nivel internacional, así como practicados en el plano nacional, para poder lograr un avance efectivo hacia la sostenibilidad.

Se estableció entonces el principio de que los estados tienen responsabilidades comunes pero diferenciadas. En tal sentido, se proclamaba que los países llamados desarrollados, o mejor dicho, ricos, tenían la obligación de asumir las responsabilidades históricas determinantes de las brechas creadas entre los países y actuar consecuentemente, lo que equivale a reconocer los efectos causados por la imposición del modelo de desarrollo capitalista. Este último se ha caracterizado por la falta de equidad, un estilo de vida para las minorías de un consumismo desenfrenado y por la entronización de modelos de producción asociados a una elevada contaminación y un uso de los recursos naturales totalmente irracional, todo en la búsqueda insaciable de grandes ganancias económicas.

En consecuencia, se alertaba de la urgencia de frenar la progresiva, acelerada e irracional explotación de los recursos naturales, la degradación de importantes ecosistemas, de abatir los niveles de contaminación y trabajar por establecer un orden económico, social - y añadiría, político - más justo y equitativo para todos los habitantes del planeta, estableciendo la necesaria vinculación entre desarrollo económico, equidad social y un medio ambiente sano.

Sin embargo, después de 40 años de celebrarse estas grandes cumbres internacionales, en el marco multilateral de las Naciones Unidas el panorama se nos presenta cada vez más difícil.

Aunque las estadísticas por sí solas no sean capaces de captar y expresar toda la magnitud del sufrimiento humano, nos revelan que la mayoría de las personas que habitan el planeta no poseen el mínimo bienestar material, ni social, ni ambiental con el que poder disfrutar y compartir una existencia digna, decorosa y solidaria.

Como parte indispensable de este recuento, es preciso recordar que en 1974, en discurso dirigido a la juventud cubana, nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz nos advertía:

“La humanidad del futuro tiene retos muy grandes en todos los terrenos. Una humanidad que se multiplica vertiginosamente, [...] que ve con preocupación el agotamiento de algunos de sus recursos naturales, [...] que necesitará dominar la técnica, y no sólo la técnica sino incluso hasta los problemas que la técnica pueda crear, como son los problemas, por ejemplo, de la contaminación del ambiente. Y ese reto del futuro solo podrán enfrentarlo las sociedades que estén realmente preparadas”.

Con posterioridad, en la Cumbre de Río en 1992 el propio Fidel advertía :

“Una importante especie biológica está en riesgo de desaparecer por la rápida y progresiva liquidación de sus condiciones naturales de vida: el hombre”.

Y en una reflexión contenida en un discurso pronunciado en el año 2001, reafirmaba con renovada convicción que *“otro orden mundial diferente, más justo y solidario, capaz de sostener el medio natural y salvaguardar la vida en el planeta, es la única alternativa posible. Por ello, más que nunca el instinto de conservación de la especie tendrá que hacerse sentir con toda su fuerza”.*

Dentro del complejo contexto global descrito, el cambio climático ha sido definido como el problema ambiental más agudo del presente siglo, constituyendo una seria amenaza para el desarrollo sostenible. Las emisiones cada vez más crecientes de gases de efecto invernadero a la atmósfera han intensificado los grandes impactos asociados a las inundaciones, las sequías, las tormentas severas, los fenómenos meteorológicos extremos, los deshielos, el ascenso del nivel medio del mar, la acidificación, el incremento de la temperatura de los océanos, las intensas olas de calor, la reemergencia de enfermedades y la emergencia de otras, además de lucha constante de los ecosistemas por sobrevivir a las condiciones adversas del clima. Se incrementan los riesgos de desastres y las vulnerabilidades de las poblaciones más pobres y desposeídas, principalmente en los países en desarrollo y en especial para los pequeños estados insulares.

No obstante los ingentes esfuerzos realizados en las negociaciones internacionales dirigidas a la implementación de los compromisos asumidos en el contexto del Protocolo de Kyoto, en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático no ha existido la voluntad política real de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los países desarrollados e industrializados, desafiando de manera irresponsable la opinión pública mundial y desconociendo el reclamo de las grandes mayorías de la humanidad en su reclamo por la sobrevivencia. Los grandes responsables se niegan a asumir sus deudas, desconociendo las fuertes evidencias científicas que han ratificado que el calentamiento a nivel planetario es inequívoco.

Los verdaderos científicos que actúan en consonancia con los principios éticos y humanistas que deben caracterizar a todo ser humano, se esfuerzan por esclarecer diferentes escenarios que permitan evaluar cuál será el clima futuro si no se emprenden acciones inmediatas y radicales en las medidas de mitigación. Por otra parte, con la concentración ya alcanzada de gases de efectos de invernadero en la atmósfera, se requiere de la evaluación de medidas de adaptación, entendido este concepto como

el proceso de ajuste de los sistemas humanos o naturales en respuesta a los estímulos climáticos actuales o esperados, con vistas a atenuar sus efectos perjudiciales.

Para nuestro país las medidas de adaptación constituyen el principal curso de acción, ya que se requiere realizar con un enfoque integrado que tome en consideración no solo los sectores económicos y la relación entre ellos, sino también las posibles afectaciones a las comunidades y a la sociedad, así como el estado de los ecosistemas en que se aplicarían estas acciones ya que se requiere reconocer que estamos inmersos en un medio ambiente antropizado.

En este empeño los científicos cubanos, con total consagración y modestia, llevan adelante investigaciones sobre el clima y el cambio climático con énfasis en la evaluación de sus impactos, y cuyos resultados están dirigidos a proponer las medidas de adaptación más viables, reconociendo las limitaciones económicas y de infraestructura existentes.

Como antecedente a los trabajos actuales, desde 1991 la Academia de Ciencias de Cuba creó la Comisión sobre Cambio Climático que convocó a especialistas de diversas instituciones con el fin de realizar una evaluación preliminar sobre las repercusiones de los cambios del clima ya observados en el país. En 1997 se decide integrar el Grupo Nacional de Cambio Climático coordinado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, con la responsabilidad de coordinar e incrementar los estudios y las investigaciones en esta esfera del saber, la que demandaba la creación de grupos multidisciplinarios de diferentes sectores económicos, sociales y académicos. A su vez, quedaba bajo la dirección de este Grupo Nacional la elaboración de la Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Se diseñaron entonces Programas Científico-Técnicos Nacionales, Ramales y Territoriales, base organizativa del sistema de ciencias cubano, los cuales organizan y financian las investigaciones. Incluyendo en su quehacer importantes proyectos relacionados con esta temática en cuanto a su evaluación a niveles globales, nacionales y locales.

Entre los principales resultados alcanzados se pueden enumerar la primera evaluación del impacto del cambio climático en Cuba y las medidas de adaptación; el desarrollo de nuevos modelos climáticos, el perfeccionamiento y desarrollo de nuevos y diversos Sistemas de Alerta Temprana a eventos hidrometeorológicos extremos, la modelación y evaluación de escenarios del impacto del ascenso previsible del nivel del mar en las costas de Cuba para los años 2050 y 2100; el estado de los recursos naturales costeros, los impactos sobre la biodiversidad terrestre y marina, y los estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo ante diversos eventos meteorológicos a escala local, provincial y nacional, con el uso de varios Sistemas de Información Geográfica.

Como parte de este compromiso hacia el futuro, hoy existe un nuevo Programa Científico Nacional denominado "El Cambio Climático en Cuba: Impactos, Mitigación y Adaptación", como continuidad de la atención de la ciencia cubana a la prioridad que para el país tiene este tema.

El texto que hoy se presenta: Impactos del Cambio Climático en Cuba y la Adaptación, conformado como parte esencial de la "Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático", es un ejemplo del compromiso contraído y del grado de avance alcanzado. Con un lenguaje asequible, sin renunciar a su elevado rigor científico, se exponen en sus nueve capítulos los resultados alcanzados.

Sus contenidos incluyen, Cuba: geografía, economía y sociedad; Variabilidad climática y cambios del clima; Escenarios climáticos del futuro; Recursos hídricos; Zonas costeras y recursos marinos; Diversidad biológica; Bosques; Agricultura; Asentamientos humanos y usos de la tierra y Salud humana. En cada uno de ellos los lectores encontrarán una descripción del estado de los recursos o sector analizado, sus vulnerabilidades, los impactos presentes del cambio climático y propuestas a considerar como medidas de adaptación.

En el libro se exponen de manera detallada los cambios que ya se han observado en el clima desde el siglo pasado.

Con vista hacia el porvenir, el colectivo de autores considera que el clima del futuro será más extremo; en el escenario más adverso, la temperatura media del aire puede aumentar en 4 °C; la precipitación anual disminuir en más del 20%, la evapotranspiración incrementarse considerablemente y los procesos de sequía y las precipitaciones extremas incrementar su frecuencia e intensidad. Los impactos de estas condiciones producirán transformaciones importantes en la distribución y dinámica de los procesos medioambientales, en los recursos hídricos, en la salud y en sectores económicos tales como la producción agropecuaria y el turismo.

Cuba cuenta con un Programa de Enfrentamiento al Cambio Climático, aprobado y controlado sistemáticamente por el primer nivel del Gobierno, que se sustenta en los resultados de los estudios de Peligro, Vulnerabilidad y Riesgo; en los inventarios periódicos de gases de efecto de invernadero; en la evaluación detallada de los impactos sobre la zona costera del ascenso del nivel del mar; en el análisis por los sectores de los impactos y las medidas de adaptación y en los resultados científicos que, como los que se exponen en este libro, permitan ir perfeccionando el ordenamiento ambiental-territorial; la gestión ambiental y del riesgo; los programas de desarrollo del país y las acciones dirigidas a fomentar y elevar la cultura ambiental de toda la población.

En la actualidad se perfecciona la legislación vigente sobre medio ambiente y la Estrategia Nacional Ambiental, adecuándolas a la política y pensamiento de la Revolución Cubana acerca del Cambio Climático y a los resultados y nuevos conocimientos científicos que se adquieren.

Para finalizar, es preciso que esta obra, "Impactos del Cambio Climático en Cuba y Medidas de Adaptación en Cuba", es una valiosa contribución de los científicos cubanos al bienestar y la seguridad del país y una modesta contribución para toda la humanidad. Es también, por su rigor y amenidad, una lectura que considero obligada para todos los cubanos. Le invitamos a compartirlo, en la seguridad de que lo agradecerán.

Dra. Gisela Alonso Domínguez
Presidenta
Agencia de Medio Ambiente

Escuela en comunidad rural

Foto: Richard Molina





Energía solar
Foto: Richard Molina

CUBA: GEOGRAFÍA, ECONOMÍA Y SOCIEDAD

1.1. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ARCHIPIÉLAGO CUBANO

La República de Cuba se encuentra ubicada en el Mediterráneo Americano, entre los 19° 49' 36" y 23° 17' 09" de latitud norte y los 74° 07' 52" y 84° 54' 57" de longitud oeste; limitada al norte por el Golfo de México, el estrecho de La Florida, los canales de San Nicolás y Viejo de Bahamas; y al sur por el Mar Caribe occidental y el estrecho de Colón al sur; al este por el Canal de Yucatán y al oeste por el Paso de Los Vientos (figura 1.1).

El territorio cubano es un archipiélago formado por la isla de Cuba, la Isla de la Juventud y más de 1 600 islas, islotes y cayos, que en su conjunto tienen una extensión superficial de 110 922 km². La isla de Cuba abarca un área aproximada de 105 007 km², la Isla de la Juventud de 2 200 km², y el área de los restantes cayos e islotes es de 3 715 km², mientras que la plataforma insular se extiende por unos 67 832 km². La costa norte tiene una longitud de 3209 km, y la sur de 2537 km, para un total de 5 746 km de costa (Furrazola y Núñez, eds., 1997).



Figura 1.1. Entorno regional de la República de Cuba

Cuba es una isla larga y estrecha, que mide 1 250 km desde el Cabo de San Antonio, en el extremo occidental, a la Punta de Maisí, en el oriental; en su parte más ancha mide 191 km y en la más estrecha 31 km. La forma de la isla, y su orientación de este a oeste, no permite la existencia de ríos largos y caudalosos; por esta causa, los ríos tienen cuencas pequeñas, cursos cortos, son de poco caudal y con una evacuación rápida al mar y los recursos hídricos son limitados; aunque las cuencas subterráneas son relativamente muy potentes, por el fuerte desarrollo cársico existente en el país. Por otra parte, la frontera exterior, en la zona costera se encuentra definida por el abrupto declive del talud insular; en la plataforma poco profunda se identifican cuatro zonas: plataforma noroccidental, plataforma nororiental, plataforma suroriental y plataforma suroccidental.

El relieve del país es variado. Existen cuatro sistemas montañosos que ocupan un área de 19 594 km², que equivalen al 18% del área total del territorio nacional, la Cordillera de Guaniguanico, en el occidente; el Macizo de Guamuhaya, en el centro; y el Macizo Nipe-Sagua-Baracoa y la Sierra Maestra, en el oriente del país; en este último sistema se localiza la mayor altura, el Pico Real del Turquino, con 1974 m sobre el nivel del mar. Las llanuras representan el 82% del área total del país.

Existe diversidad de suelos, que por su génesis se clasifican en 10 grupos, entre los más difundidos se encuentran los ferralíticos, los pardos, los aluviales, los fersialíticos y los húmicos, donde se desarrollan las actividades agropecuarias y forestales.

1.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS GENERALES

Las condiciones climáticas del archipiélago cubano están determinadas por su posición geográfica, en una latitud muy próxima al Trópico de Cáncer, en el hemisferio norte, donde recibe altos niveles de radiación solar durante todo el año. Lo anterior condiciona un clima cálido; a la vez que la cercanía al trópico, ocasiona la influencia estacional de fenómenos meteorológicos tropicales y extratropicales.

En los meses de mayo a octubre, el estado del tiempo está condicionado por la posición e intensidad del anticiclón del Atlántico Norte; las condiciones meteorológicas varían relativamente poco y sólo el paso de disturbios tropicales (ondas barométricas del este, ciclones tropicales) interrumpe esta influencia, con un incremento en las lluvias. En cambio, el tiempo se torna mucho más variable de noviembre a abril, según los procesos y fenómenos de la circulación extratropical que predominen.

Un cambio apreciable en las condiciones meteorológicas se produce tras el paso de los frentes fríos; fenómenos que afectan con más frecuencia la porción occidental del país en los meses invernales. Con el movimiento al este de los anticiclones migratorios, las masas de aire continental polar o ártico descienden, y se modifican gradualmente antes de afectar al territorio cubano, por lo que aun en esta época del año, con frecuencia, se presentan días cálidos. En este período el país también es afectado por sistemas de bajas presiones extratropicales, que preceden la entrada de los frentes fríos, provocando vientos fuertes secos y calientes, de región sur, que son muy molestos y dañinos para los cultivos.

El clima de Cuba es tropical con estación lluviosa en el verano (Aw, según la clasificación de Köppen, modificada); pero la configuración y la disposición de los sistemas montañosos, combinados con las características locales de la circulación atmosférica, provocan que transite hacia otros tipos y subtipos en determinadas áreas (figura 1.2):

- Clima tropical húmedo de selva, lluvioso durante todo el año (Af) en la vertiente de barlovento de las montañas del nordeste de la región oriental; la precipitación media anual sobrepasa los 3000 mm, con los mayores acumulados en los meses de noviembre a abril.
- Clima seco de estepa (BS), con condiciones de aridez y poca lluvia; la precipitación media anual no supera los 600 mm, se manifiesta y Guantánamo.
- Climas C, propios de latitudes medias, a mayor altitud, con temporada lluviosa de mayo a octubre; se distinguen dos variantes: una con verano cálido (Cwa) en el grupo de Guamuhaya y las montañas orientales, y otro, fresco (Cwb) en las cimas más altas de la Sierra Maestra y del Grupo Sagua-Baracoa.

Otros factores geográficos, como las corrientes marinas y la distancia al mar, tienen un papel importante en las condiciones climáticas del país. La corriente cálida del Golfo (*Gulf Stream*), que circula por los mares adyacentes a Cuba, garantiza la alta temperatura superficial del mar, y favorece el régimen de lluvia, en una latitud donde predominan los grandes desiertos. Por otra parte, la configuración alargada y estrecha



Figura 1.2. Tipos de clima en Cuba, clasificación climática de Köppen (modificada)

de la isla principal, hace que ningún punto del territorio nacional se encuentre muy lejos del mar, lo que suaviza apreciablemente la marcha de las principales variables climáticas. Por tanto, el clima de Cuba es tropical con rasgos de semicontinentalidad, estacionalmente húmedo e influencia marítima.

La temperatura media anual varía desde 24°C en las llanuras hasta 26°C y más en las costas orientales; en los sistemas montañosos la temperatura alcanza magnitudes inferiores a 20°C. Existe una estacionalidad en el régimen térmico, con dos temporadas conocidas como: verano (lluviosa), que abarca de mayo a octubre, donde julio y agosto son los meses más calurosos; e invierno (poco lluviosa), que va de noviembre a abril, con enero y febrero los meses más fríos. Se han registrado extremos absolutos de temperatura máxima en Jucarito (38,8°C, 17 de abril de 1999); y temperatura mínima en Bainoa (0,6°C, 18 de febrero de 1996). Como es usual en la zona tropical, la oscilación térmica diaria es mayor que la anual.

La lámina promedio de precipitación anual es de 1 335 mm (INRH, 2000). Los acumulados pluviales más notables en 24 horas o menos, se asocian a ciclones tropicales, frentes fríos, tormentas locales y ondas tropicales. El récord de precipitación en 24 horas es de 867 mm (1 de junio de 1988, sur de Cienfuegos). Por otra parte, de forma recurrente, se presentan procesos de sequía, cuya duración puede extenderse por más de un año.

Los ciclones tropicales y las tormentas locales severas (tornados, granizo, trombas marinas y vientos lineales superiores a 90 Km/h) son los fenómenos meteorológicos a los que se asocia el mayor peligro de desastre, y son responsables de algunos de los extremos climáticos observados. La temporada ciclónica va del 1ro de junio al 30 de noviembre, siendo octubre y septiembre los meses de mayor afectación; octubre es el más peligroso, porque en ese mes se reporta la mayor parte de los huracanes intensos. Anualmente, la frecuencia de ciclones tropicales varía desde ningún organismo hasta cuatro en un mismo año, y como promedio ocurre un huracán cada dos.

1.3. POBLACIÓN

En el 2007 (ONE, 2008) la población cubana llegó a los 11 236 790 habitantes, con una densidad poblacional de 102,3 hab/km². La tasa global de fecundidad es decreciente desde 2002, descendiendo de 1,67 en ese año hasta 1,43 en el 2007; siempre en valores por debajo del nivel de reemplazo; esto ha ido acompañado de un proceso de reducción de la mortalidad, con una tasa general de alrededor de 7,3 por mil. Como consecuencia de lo anterior, existe una reducción de la población de 0 a 14 años; un estancamiento de la población entre 15 y 59 años y el crecimiento de la población mayor de 60 años; esta última en el 2007 llegó a ser el 16,6% del total de la población. Hoy Cuba está entre los países más envejecidos de América Latina y el Caribe, y dentro de dos o tres décadas puede ser el más envejecido.

A partir de este pronóstico (figura 1.3), se puede estimar que para 2030 habrá alrededor de 1,8 millones de personas mayores de 60 años más que en 2007, mientras que la población entre 15 y 59 años se habrá contraído en algo más de 1,2 millones de personas en ese mismo intervalo.

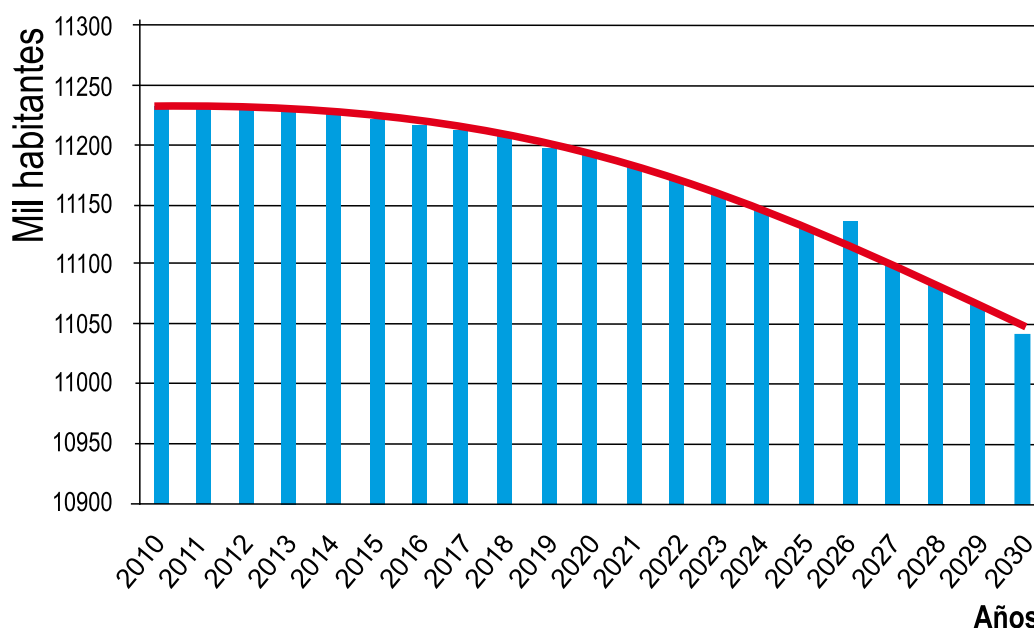


Figura 1.3. Proyección de población cubana. Período 2007- 2025. Fuente: Oficina Nacional de Estadísticas 2008, Edición 2009

1.3.1. ASENTAMIENTOS HUMANOS

El sistema de asentamientos humanos (SAH) en Cuba está conformado por un total de 6992 (ONE, 2007), de los cuales 6 401 son rurales y 591 urbanos, en el año 2007 residían en ellos 10,3 MM de personas de forma concentrada, mientras que otras 835,3 miles lo hacen de forma dispersa. En el sistema resulta distintiva la cobertura de los niveles básicos y especializados de servicios, educación, cultura y salud, entre otros, que contribuyen a elevar la calidad de vida de sus habitantes.

La ciudad más importante es La Habana, capital de la república, con casi 2,2 millones de habitantes, alrededor del 20% de la población total, distribuida en alrededor de 300 km² de suelo urbanizado, y con un frente de costa de 30 km de longitud. En el país hay 12 ciudades principales con funciones de capitales provinciales; además, hay otras 26

ciudades intermedias con población entre los 20,0 y 99,0 mil habitantes, que concentran 2,4 millones de habitantes, el 21,5% de la población total; en otros 116 asentamientos, cabeceras municipales habitan más de 2,5 millones de personas, distribuidas en el territorio con diferentes niveles de densidad.

Sistemas de acueductos sirven a la población concentrada (figura 1.4), tanto en asentamientos rurales como urbanos de diversas categorías, mediante una red de acueductos, estimada de 21 315 km de conductoras, que brindan cobertura al 92,4% de la población con agua potable y tratada (INRH, 2008).

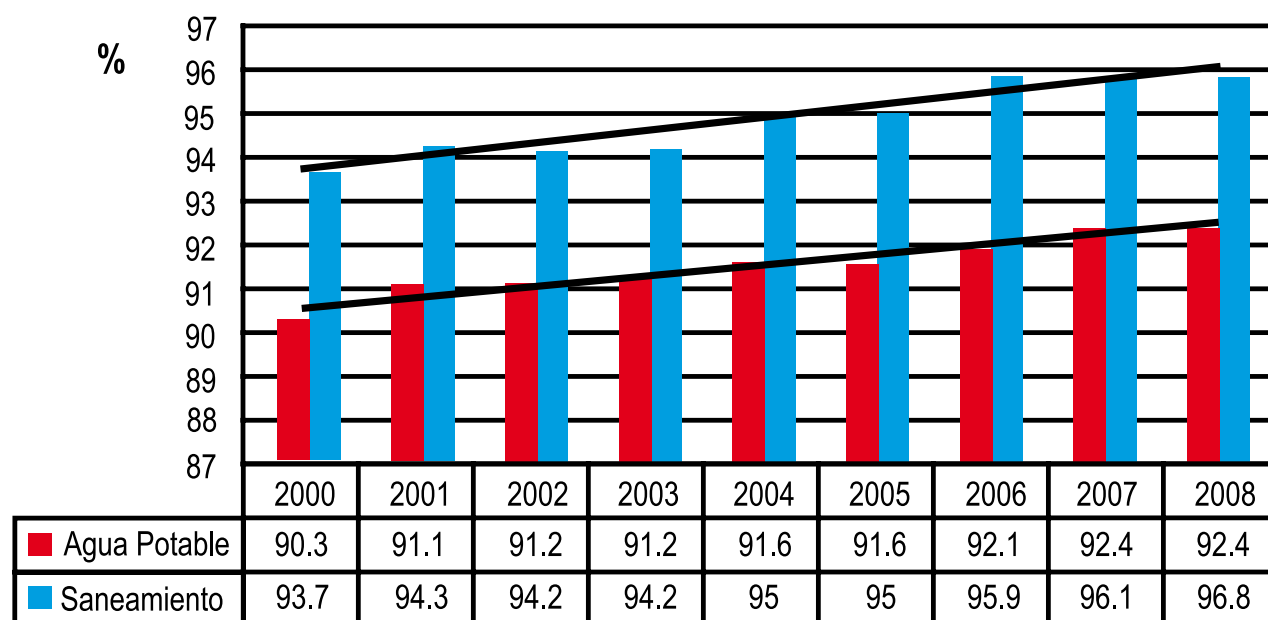


Figura 1.4. Cobertura de agua potable y saneamiento de la población cubana. (2000-2008).
Fuente: Oficina Nacional de Estadísticas 2008, Edición 2009

Las áreas de mayor peligro por inundaciones súbitas están localizadas en los asentamientos humanos ubicados junto a las márgenes de ríos, ya sea en zonas llanas con drenaje deficiente, o en zonas costeras bajas con relieve muy débil y pobre drenaje, donde además ocurren penetraciones del mar por diversas causas. Por otra parte, en las zonas centro-oriental y oriental del país, las ciudades, la población y las actividades económicas y sociales están sometidas con mayor frecuencia al peligro de sequías intensas y prolongadas; esto no exceptúa a la región occidental. Estas situaciones son vigiladas con un sistema de alerta temprana y planes de evacuación preventivos, que coordina la Defensa Civil con todas las instituciones de los territorios.

Al cierre del 2008, el Instituto de Planificación Física identificó 262 asentamientos costeros, donde viven más de 1,5 millones de habitantes (no incluye ciudad de La Habana). De estos asentamientos, al menos 75 corren peligro Muy Alto o Alto, de sufrir penetraciones del mar por surgencia, la mayoría en las provincias de Pinar del Río, La Habana y Granma. En general, los efectos más graves se producen en la costa sur de la isla, en la franja ubicada a menos de 1 m de altura sobre el n.m.m. y a menos de 1 000 m tierra adentro desde la línea de la costa, y donde la población afectable estimada es de 49 000 habitantes, aproximadamente.

1.4. LA ECONOMÍA

Al cierre del año 2008, la economía cubana alcanzó un 4,1 % de crecimiento de su Producto Interno Bruto, abriéndose paso en medio de una profunda crisis económica mundial; ese comportamiento es resultado de la política económica desarrollada desde el año 2005, con resultados en la aplicación de un grupo de programas en la esfera energética, y la expansión del proceso inversionista en programas estratégicos; destacándose importantes decisiones tomadas en la organización de la agricultura, la recuperación del turismo y el reordenamiento del transporte (Figura 1.5).

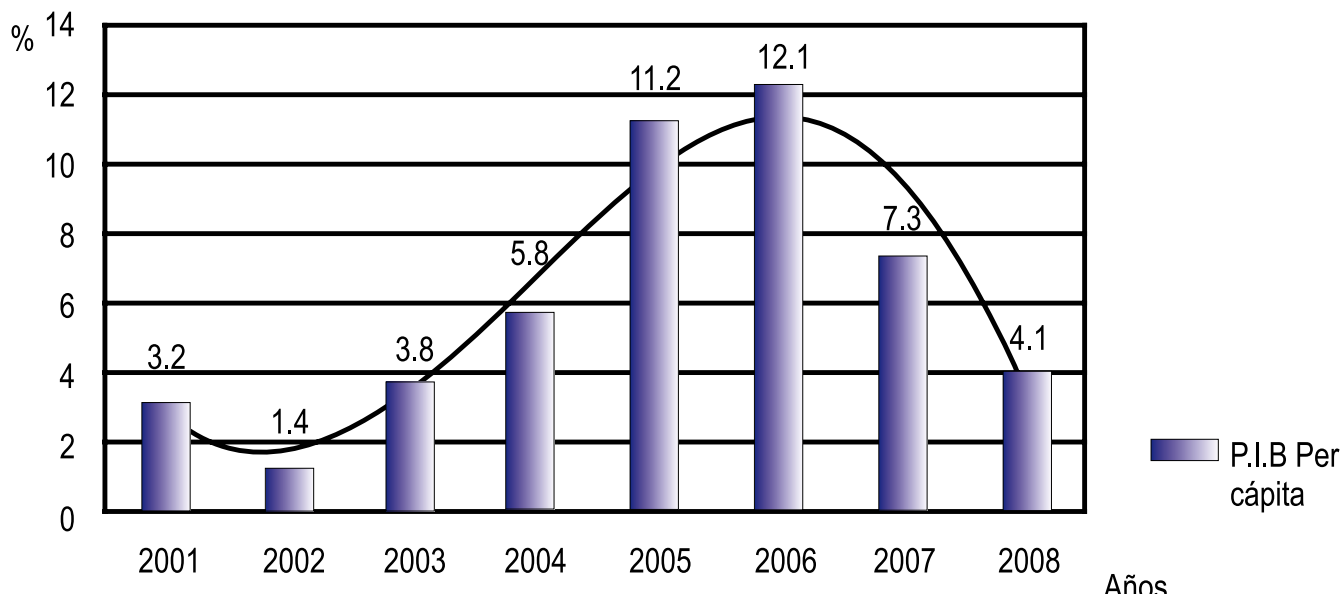


Figura 1.5. Variaciones del producto interno bruto. Precios de 1997; 1989 = 100%.
Fuente: Ministerio de Economía y Planificación, 2009

En el citado año, los gastos totales del Presupuesto del Estado aumentaron 15,7% con respecto al año anterior, por los gastos extraordinarios derivados de las pérdidas ocasionadas por los cuatro huracanes que azotaron la isla en ese año, y que incluyeron el restablecimiento de los servicios de educación, salud; y además se llevó a cabo el aumento de la pensión mínima. Los crecimientos en algunas ramas fueron en Salud 24,1%, Ciencia y Tecnología 20,4%, Seguridad Social 18,1% y en Educación 5,5%. El total de ingresos netos creció un 10,4% para un saldo fiscal negativo de 4 200 MM de pesos, que representan el 6,9% del PIB -a precios corrientes-, lo que obliga a intensificar la captación de ingresos y disminuir los gastos, para mantener el déficit dentro de límites aceptables. A pesar de las adversidades referidas, Cuba clasifica entre los países de desarrollo humano alto (DHA) del PNUD; con el lugar 51 entre 177 países.

1.4.1. ECONOMÍA Y MEDIO AMBIENTE

El Ministerio de Economía y Planificación, de conjunto con el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, han introducido los aspectos relativos a la protección del medio ambiente cubano y el uso racional de los recursos naturales en el Plan de la Economía Nacional, determinándose anualmente los recursos financieros que se

destinan a la eliminación o mitigación de los problemas ambientales en los distintos sectores de la economía.

El indicador controlado en la planificación económica anual es el volumen de inversiones destinadas a estos fines, que inciden en los sectores ambientales identificados previamente. Desde el año 2000, se identifican y controlan las inversiones medioambientales ubicadas en áreas de las principales cuencas hidrográficas del país. El plan de inversiones de la Economía Nacional (tabla 1.1), incluye los compromisos de los Organismos de la Administración Central del Estado y del Gobierno, en inversiones de recursos para la protección del medio ambiente.

Tabla 1.1. Gastos para la protección del medio ambiente (UM MM pesos)

AÑOS	INVERSIÓN TOTAL	MEDIO AMBIENTE	DE ELLOS EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE INTERÉS NACIONAL	%	
	(a)	(b)	(c)	(b)/(a)	(c)/(b)
1998	2 381,3	41,9	-	1,8	0,0
1999	2 544,6	102,4	-	4,0	0,0
2000	2 830,1	228,8	-	8,1	0,0
2001	2 736,7	250,7	13,7	9,2	5,5
2002	2 399,8	179,2	21,8	7,5	12,2
2003	2 469,4	233,0	36,1	9,4	15,5
2004	2 803,7	220,4	37,4	7,9	17,0
2005	3 227,1	215,8	23,8	6,7	11,0
2006	3 952,2	232,7	19,1	5,9	8,2
2007	4 684,8	278,3	24,9	5,9	8,9
2008	5 263,9	335,6	37,7	6,4	11,2

Fuente: ONE, 2008, Edición 2009 (b)

Además, para aprobar las inversiones, es obligatorio contar con la licencia ambiental otorgada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, que garantiza todo lo referente a la evaluación de los impactos ambientales y de las transferencias tecnológicas asociadas al objetivo inversionista que se pretende ejecutar.

También se aplican instrumentos de regulación económica que contribuyen a la conservación del medio ambiente, como son medidas arancelarias, impuestos y contribuciones; con el propósito de financiar total o parcialmente proyectos con ese fin. Aun cuando se mantiene una racionalidad en los gastos, en la planificación de mediano y largo plazo, se incluyen proyectos de inversión que permiten reducir emisiones, aumentar la absorción de gases de efecto invernadero y disminuir niveles de contaminación.

La Ley No. 85, Ley Forestal, en su Capítulo III artículo 12, creó el Fondo Nacional de Desarrollo Forestal (FONADEF), con el fin de fomentar el desarrollo sostenible de los recursos forestales; complementariamente, la Resolución Conjunta No. 1, del 28 de abril del 2000, de los Ministerios de Economía y Planificación y el de Finanzas y Precios, dispuso los ingresos en los cuales se sustenta y los destinos en que podrán ser utilizados los recursos financieros del Fondo.

El Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos (PNMCS), fue creado en el 200,1 por acuerdo del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, y se aplica en todo el territorio nacional. Este Programa actúa como un fondo que respalda financieramente acciones de mejoramiento y conservación de suelos que desarrollan los campesinos, previamente certificadas por especialistas. En los últimos diez años, el PNMCS ha contado con un financiamiento de aproximadamente 15 millones de pesos y es ejecutado por el Instituto de Suelos, del Ministerio de la Agricultura, alrededor de 500 mil hectáreas por año, reciben sus beneficios.

1.5. ENERGÍA

La situación energética nacional durante el período previo a la crisis económica, desatada a inicios de la década de los años 90, se caracterizó por una alta dependencia de la energía importada, la baja eficiencia de los portadores energéticos, el limitado uso de las fuentes de energía renovable y una amplia cobertura eléctrica, con un 95% de la población servida, contra un 74% promedio en América Latina.

Este proceso dio lugar en 1993 a la aprobación, por la Asamblea Nacional y el Gobierno, del Programa de Desarrollo de las Fuentes Nacionales de Energía, importante paso hacia un reenfoque del desarrollo energético en Cuba; a partir de entonces se cumplen importantes acciones de ahorro y uso racional de los combustibles, así como, la búsqueda de fuentes nacionales, con el objetivo explícito de reducir la dependencia de las importaciones de combustibles.

1.5.1. FUENTES DE ENERGÍA

El petróleo continúa siendo la principal fuente energética del país, los mayores volúmenes se dedican a la generación eléctrica y la producción de níquel; la producción nacional de crudo alcanzó las 2905,0 M ton al cierre del 2007, unos 209,7 M ton por encima del consumo en el 2000; por su parte la producción de gas acompañante del petróleo en igual período fue de 1 217,9 MM m³, o sea, 643,8 MM m³ por encima de la producción del año 2000.

El aporte de las Fuentes de Energía Renovables (FER) durante el año 2008, representó el 19,9% del total de la producción de energía primaria del país, lo que significa un aumento en 0,6 puntos porcentuales con respecto al año 2007, en lo que incidió fundamentalmente el uso del bagazo. El país cuenta hoy con una capacidad de generación hidroeléctrica de 65 MW, la que se prevé llevar a 100 MW para el año 2010, el potencial estimado para esta fuente es de 552 MW.

La capacidad de generación eólica instalada es hoy de 7,2 MW, la que se elevará a 11,2 MW antes de concluir el año 2010, existen 8 631 dispositivos eólicos instalados, una capacidad superior en 1 064 unidades a la del año precedente, con un potencial estimado para el país en alrededor de 2 000 MW. Las capacidades potenciales de cogeneración se estiman superiores a los 1 300 MW, la capacidad instalada hoy es de 497,5 MW en la Industria Azucarera, y 50 MW en la Industria Niquelífera. Al cierre del 2007 la utilización de la leña en el sector estatal disminuyó en 9,0%, tanto en el consumo directo como para producir carbón vegetal, mientras que se incrementó el uso de los desechos forestales.

El uso de la radiación solar para producir calor y energía eléctrica se incrementa, con la instalación de dispositivos fotovoltaicos en áreas rurales y montañosas del país, en zonas de difícil acceso para las redes del Sistema Electroenergético Nacional (SEN), y en sectores priorizados como la actividad turística. En el año 2008 se ha logrado incrementar el número de estos dispositivos en 127 unidades con respecto al año anterior, superando las 8 800 unidades.

Al cierre del 2007, existían en el país 186 digestores y 36 plantas de biogás en funcionamiento en el sector estatal, el número de digestores es aun mayor en manos de particulares; se trabaja en la ubicación de plantas de biogás en vertederos públicos, lo que permitirá el procesamiento de los desechos y la obtención de metano para la cocción de alimentos y la producción de energía eléctrica. Se instalaron plantas de este tipo en los dos mayores vertederos de residuos sólidos urbanos del país; al de La Habana, que se encuentra operando y al de Santiago de Cuba, que comenzará próximamente, ambas bajo un proyecto del Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL) registrado internacionalmente.

La expansión futura del Sistema Electroenergético Nacional se sustentará, esencialmente, en el fortalecimiento de la generación térmica convencional actual, el aumento de nuevas capacidades en esta tecnología, así como la instalación de capacidades de generación eléctrica en ciclos combinados y en el incremento de la participación de las fuentes renovables de energía en la generación de electricidad.

1.5.2. USO FINAL DE LA ENERGÍA

Al cierre de 2008, los principales consumidores de energía eléctrica fueron el sector residencial con un 49%, el comercial y de servicios con 24 % y el sector industria con un 22% (UNE, 2009). El 80% del uso final (figura 1.6) de la energía corresponde a combustibles convencionales, el 49% de los cuales se utiliza en la generación de electricidad. Se ha logrado mayor eficiencia de su uso, entre otras razones, por el cambio hacia actividades de menor intensidad energética. De igual forma, la mayor participación de la actividad de servicios en la economía nacional, ha favorecido el crecimiento del PIB y, en consecuencia, la reducción de la intensidad energética.

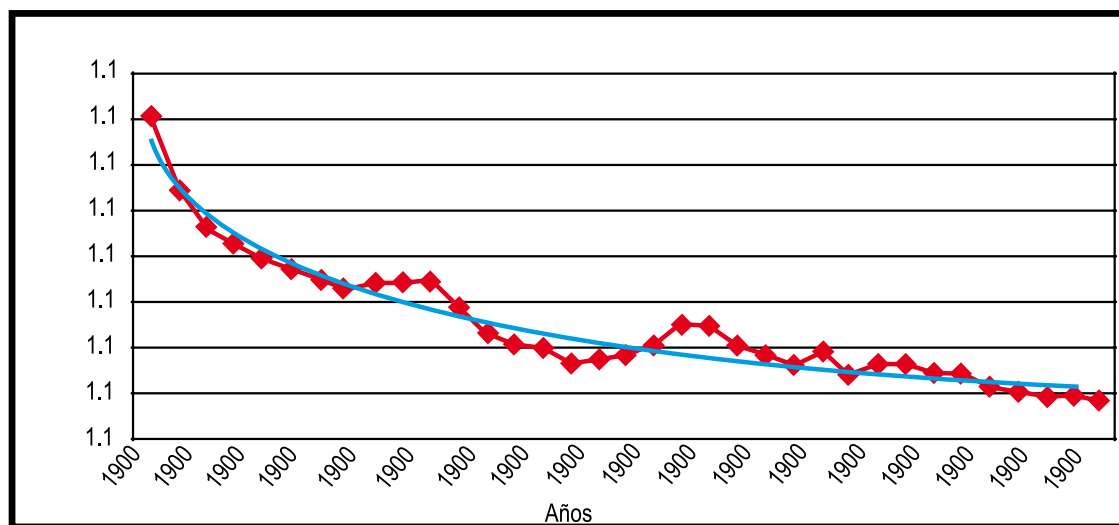


Figura 1.6. Dinámica de la intensidad en el uso de la energía final (año 1970 = 1,0).
Fuente: GEO Cuba 2007, Evaluación del medio ambiente cubano

1.5.3. LA ESTRATEGIA ENERGÉTICA CUBANA

Desde el año 2005, Cuba inició importantes transformaciones en el sector de la energía, con el propósito esencial de lograr el aumento de la capacidad de generación de electricidad con tecnologías eficientes, la reducción en el consumo de combustible mediante el ahorro y el uso racional de la energía, así como fomentar el desarrollo de las fuentes renovables de energía, entre las que destacan la eólica, la hidroenergía, la fotovoltaica y la biomasa, tanto cañera como forestal.

Un resultado significativo de esta estrategia, es la reducción en más de un 90% de la energía dejada de servir, y con ello las horas con interrupciones del servicio eléctrico; adicionalmente, como resultado de las ganancias en eficiencia se esperan reducciones significativas de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (tabla 1.2), tanto por peso de producto interno bruto, como por kw/h generado. Cálculos de cierre de 2007 estiman una reducción de alrededor de 5 MM de toneladas equivalentes de CO₂ en el sector de la generación eléctrica, y de los combustibles para cocción; ello representa una reducción del 18% con respecto a las emisiones totales del país en el año 2002, fecha del último Inventario de Emisiones de GEI reportado a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Tabla 1.2. Emisiones de CO₂ evitadas (2005-2007)

COMBUSTIBLE	AHORRO (ton)	EMISIONES DE CO ₂ EVITADAS (ton)
Petróleo crudo	961 419	3 749 534,1
CLP	124 183	335 294,1
Kerosina	281 076	899 443,2
Total		4 984 271,4

Fuente: GEO Cuba 2007, Evaluación del medio Ambiente cubano

1.6. AGRICULTURA, USO DEL SUELO Y SILVICULTURA

1.6.1. AGRICULTURA

En la década de los años 80 y hasta inicios de los 90 del siglo pasado, de manera general, el sector se caracterizó por el uso intensivo de maquinarias, fertilizantes y otros químicos, produciendo impactos negativos sobre el medioambiente. A partir de la década del 90, el sector agropecuario cubano experimentó una profunda recesión, con la caída del 50% de la producción agropecuaria, como resultado de la pérdida de sus principales suministradores, con la desaparición del Campo Socialista del Este, y el recrudecimiento del bloqueo de los Estados Unidos, lo que impactó fuertemente la economía nacional.

El estudio más reciente de evaluación de las tierras agrícolas para 29 cultivos (Tabla 1.3), reflejó que el 65% de ellos están afectados por uno u otro factor limitante, lo que hace que su rendimiento potencial esté por debajo del 50 %. Si a esto se añade que más de 1 MM de hectáreas forman parte de ecosistemas frágiles como son; áreas montañosas con alto riesgo de erosión, áreas costeras o llanuras acumulativas adyacentes con riesgo de salinización, se desprende entonces que la sostenibilidad de la agricultura cubana requiere de un alto grado de eficiencia y cuidado en el manejo de los agroecosistemas.

Tabla 1.3. Principales indicadores del MINAZ (ha)

INDICADORES	TOTAL
Superficie total	1 691 099,9
Total agrícola	1 583 888,3
Total producción agropecuaria y forestal	784 560,2
Total cultivos varios	140 842,7
Total de frutales	24 494,5
Otros cultivos permanentes	395,2
Dedicadas a caña	799 328,3
Total actividad pecuaria	532 095,5
Total forestal	86 732,2

Los estudios agroquímicos realizados en los últimos años en áreas de cultivos de importancia económica, han evidenciado que la mayoría de los suelos cubanos poseen bajos contenidos de nutrientes, una alta tendencia a la acidez y una drástica reducción de la materia orgánica.

1.6.2. USO DEL SUELO

De los principales cambios ocurridos entre 1998 y el 2007, el más notable resulta la reducción de la superficie dedicada a los cultivos permanentes, tal contracción alcanzó las 800 mil ha, o sea una reducción del 32% del área disponible en el año 1998, debido en gran medida al redimensionamiento del área dedicada al cultivo de caña de azúcar; parte de estas áreas pasaron a engrosar las tierras dedicadas al cultivo de viandas, cereales y granos, a la ganadería y al fomento de bosques. Otro cambio notable en la estructura del uso de la superficie agrícola entre 1998 y 2007 (tabla 1.4) se refiere al incremento de la superficie ociosa en 1,6 veces.

Tabla 1.4. Indicadores seleccionados sobre suelo (Mha)

CONCEPTO	1998	2007
Superficie agrícola	6 666,7	6 619,1
Superficie cultivada	3 701,5	2 988,5
Superficie de cultivos permanentes	2 606,1	1 796,6
Superficie de cultivos temporales	1 089,4	1 187,2
Superficie no cultivada	2 685,3	3 631,0
Pastos naturales	2 222,8	2 398,2
Tierras ociosas	762,5	1 232,8
Superficie no agrícola	4 285,5	4 369,1
Forestales	2 924,9	3 047,0
Superficie no apta para la agricultura o los forestales	464,9	469,7

Fuente: ONE, 2008

Para elevar la producción de alimentos y disminuir la dependencia de importaciones se ha establecido una política de incremento de la entrega de tierras a ociosas, de la que forman parte la creación del Centro de Control de la Tierra en 2007, la promulgación del Decreto Ley 259 en 2008. La agricultura urbana, por su parte, ha generado más de 300 M empleos y se ha venido consolidando junto a la suburbana como una manera de complementar la producción de alimentos en las ciudades y su periferia, según el potencial productivo de las localidades mediante organopónicos, huertos, parcelas, fincas y patios familiares.

1.6.3. SILVICULTURA

La superficie cubierta de bosque ha crecido constantemente (figura 1.7), a partir del año 1959, en que sólo era de alrededor del 14%, hasta alcanzar 25,7% de la superficie total del país al cierre del año 2008, que la superficie forestal cubierta del país ascendió a 2 825,9 Mha, de los cuales 2 378,5 Mha corresponden a bosques naturales y 447,4 Mha a plantaciones (tabla 1.5).

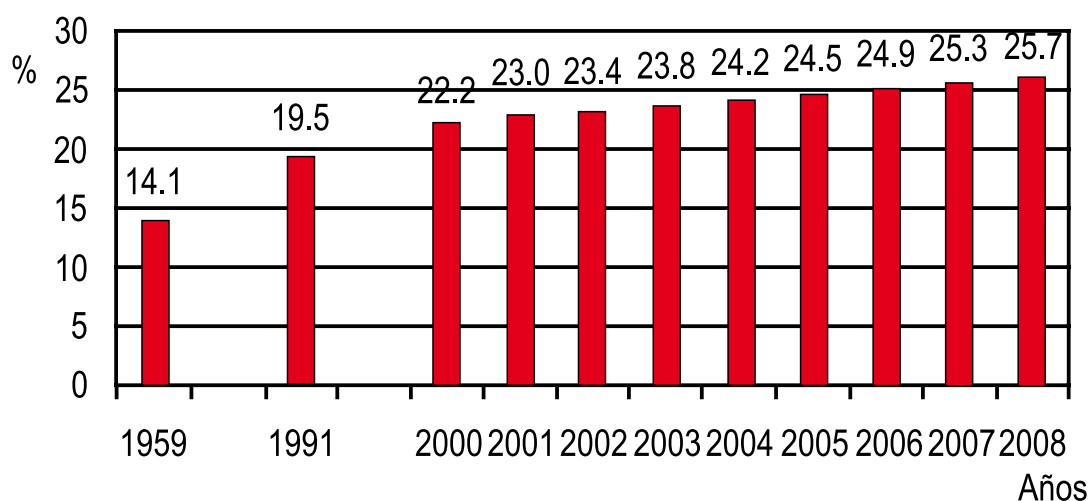


Figura 1.7. Comportamiento del área cubierta de bosques. Fuente: MINAGRI, 2009

Tabla 1.5. Desglose de la superficie del patrimonio forestal (Mha)

COMPOSICIÓN Y DISTRIBUCIÓN	SUPERFICIE
Bosques naturales	2 378,54
De producción	614,29
De protección	1 181,60
De conservación	582,64
Plantaciones	447,39
De producción	256,90
De protección	164,62
De conservación	25,88
Plantaciones jóvenes	192,67
Áreas deforestadas	367,15
Áreas inforestales	511,68
Superficie cubierta	2 825,93

Fuente: MINAGRI, 2008

En Cuba, el 47,6% de los bosques clasifican en la categoría de protección, y en ellos se permiten talas con restricciones; el 21,5% son bosques de conservación y el 30,9% bosques productores, en estos últimos, los bosques naturales representan el 70,5%, predominando las formaciones boscosas semicaducifolias y manglares, el 29,5% son plantaciones, siendo las especies más representadas el pino y el eucalipto.

Persisten problemas con la calidad de la mayoría de los bosques naturales, como consecuencia del inadecuado manejo y explotación en etapas anteriores y también, aunque con menos intensidad, en la actualidad. En esta situación influyen también los bajos niveles de ejecución anual de tratamientos silviculturales e implementación de medidas de reconstrucción de bosques, así como la falta de actualización de los proyectos de ordenación forestal.

El trabajo de reforestación (tabla 1.6) que se realiza actualmente va dirigido a satisfacer necesidades de la economía nacional en diferentes surtidos de madera y también se hacen plantaciones de carácter protector, entre ellas, de las aguas y los suelos conformando las zonas de protección de los cuerpos de agua y en cuencas hidrográficas, así como en zonas montañosas de alta pendiente, también son objetivos de alta prioridad en el país. La restauración de suelos afectados por la minería a cielo abierto en el norte de la provincia de Holguín, la plantación de mangle en la zona marítimo-terrestre, la reproducción en viveros y posterior plantación de especies amenazadas son, entre otros, objetivos de alta prioridad del sistema nacional de reforestación, al que se destina el 30% del total de plantaciones que se realizan, en todos estos programas se emplean más de 180 especies de árboles de los cuales el 77% son maderables y el 23% frutales, de las especies maderables, 68,3% son indígenas y 31,7%, exóticas.

Tabla 1.6. Variación de la superficie cubierta de bosques en el período 2000-2007

AÑO	ÁREA CUBIERTA (Mha)	ÁREA CUBIERTA (%)*	BOSQUES NATURALES (Mha)
2000	2434,98	22,16	2 093,4
2001	2530,60	23,03	2 189,5
2002	2572,14	23,41	2 223,4
2003	2618,65	23,83	2 254,8
2004	2662,98	24,23	2 287,1
2005	2696,59	24,54	2 308,7
2006	2741,26	24,95	2 335,7
2007	2775,33	25,26	2 347,8
2008	2825,93	25,70	2 378,5

Fuente: ONE, 2008

* Con respecto a la superficie total del país: 10 988 614 Mha

EL Programa Nacional Forestal hasta el 2015, coordina e implementa los esfuerzos del país en materia forestal, el objetivo clave de este programa es lograr, al final del período de implementación, un índice de boscosidad del 29,3% y una industria forestal modernizada y diversificada.

1.7. RECURSOS HÍDRICOS

Precisiones del potencial de los Recursos Hídricos del Archipiélago Cubano de que se hicieron hace más de una década los evalúan en un total de 38 100 millones de m³, de ellos: 6 400 millones subterráneos en 165 unidades hidrogeológicas y los 31 700 superficiales restantes, en 632 cuencas hidrográficas. Sin embargo, los resultados del estudio de las precipitaciones para el nuevo Mapa Isoyético cubano 1961-2000 (INRH, 2005), indican que estos recursos potenciales son más bajos. Los Recursos Hídricos Aprovechables se evalúan en alrededor de 24 000 millones de m³ anuales, correspondiendo el 75% a las aguas superficiales y el 25% a las subterráneas.

Los Recursos Hidráulicos Disponibles (figura 1.8) a partir de la infraestructura hidráulica, ascienden a 13 667,65 millones de m³, el desarrollo de la infraestructura hidráulica en el país permite poner a la disposición de las demandas económicas, sociales y ambientales, el 57% de los recursos aprovechables.

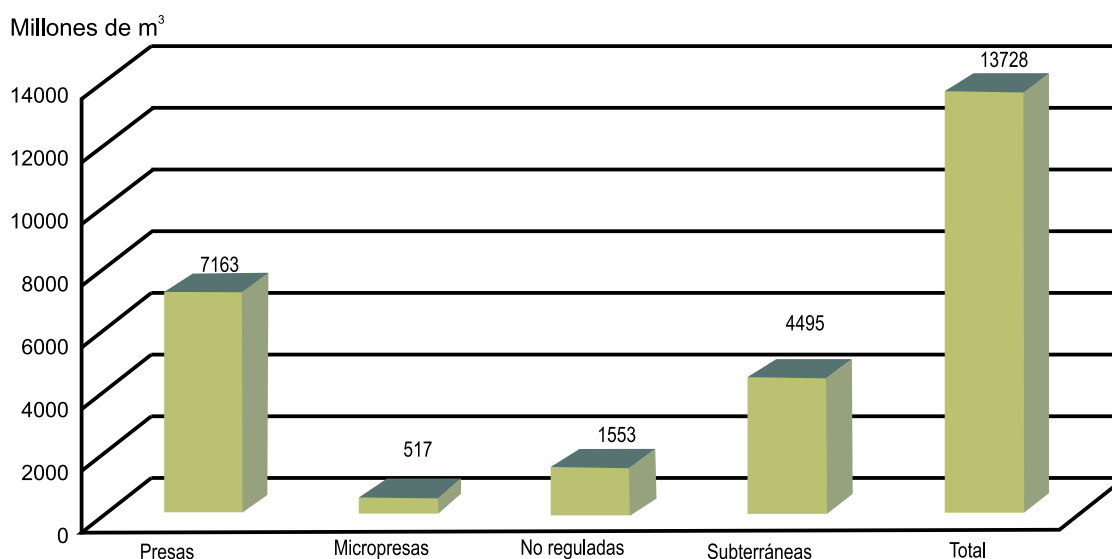


Figura 1.8. Recursos Hidráulicos disponibles por tipo de fuente. Fuente: Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, 2008

La infraestructura actual cuenta con 239 embalses, los que almacenan cerca de 9 mil millones de metros cúbicos. A ellos se unen 61 derivadoras, 805 micropresas, 788,4 km de canales magistrales, 12 grandes estaciones de bombeo, 1 300,4 km de diques y 1 009,2 km de canales para la protección contra inundaciones.

Existen tres tipos de redes hidrológicas superficiales: pluviométrica, con 2050 estaciones; climática, con 13 estaciones; hidrométrica con 38 estaciones, aunque la totalidad de los embalses contribuyen al monitoreo del escurrimiento superficial. La pluviometría prevalece sobre las restantes estaciones por el relativo bajo costo de su operación, lo cual explica su proliferación en Cuba y otros muchos países de escasos recursos financieros. También cuenta con 1 683 pozos de observación del agua subterránea y 2 315 estaciones de monitoreo de la calidad del agua, entre las que se incluyen la mayoría de los embalses.

Se impone la necesidad del uso sostenible del recurso, de la eficiencia en la conducción y distribución, de la disminución de pérdidas (las que alcanzan en algunas zonas hasta 60% de los volúmenes entregados), del reuso, así como de una elevada cultura ambiental hídrica e hidráulica, tanto de profesionales, instituciones y órganos

de gobierno dedicados a su manejo, como de toda la población. Ello permitirá mitigar los efectos de la carestía relativa, en un contexto climático complejo que está determinando la ocurrencia más frecuente de fenómenos climatológicos extremos, en especial, prolongadas sequías y huracanes.

En este contexto se sitúa un conjunto de medidas, muchas de ellas en ejecución en estos momentos por parte del sistema del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH), las que conforman un paquete de acciones de alcance político y de gestión, encaminadas a la introducción y ampliación de soluciones paulatinas al reto de la adaptación ante el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos para el caso cubano. Estas medidas pudieran también insertarse en el marco de las 9 áreas de acciones fundamentales identificadas en el Programa de Trabajo de Nairobi sobre el impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático.

También se desarrolla y consolida la extensión de la aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión integrada de recursos hídricos en las cuencas hidrográficas para el caso cubano, proceso que contribuye a alcanzar un uso sostenible del agua. Con ese objetivo, se desarrollan 11 subprogramas de trabajo que, bajo la coordinación del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, 15 Consejos Provinciales y 6 Consejos específicos, contribuyen a materializar logros de significación en las inversiones destinadas al uso de las aguas, la protección del medio ambiente, las coberturas de agua potable y saneamiento, estudios de diversidad biológica, reducción de la carga contaminante, educación ambiental y otros.

1.8. DIVERSIDAD BIOLÓGICA

La diversidad biológica del archipiélago cubano se caracteriza por los notables valores de su medio natural, la gran diversidad de ecosistemas presentes y el alto grado de endemismo de sus recursos bióticos. Cuba es un exponente representativo y singular del patrimonio regional y mundial.

En el año 2004, se ratificó la vigencia de los objetivos básicos de la Estrategia Nacional sobre la Diversidad Biológica (ENBIO), aprobada en 1998, por lo que sólo se ajustó su Plan de Acción Nacional para el período 2006-2010, que incluye 91 acciones nacionales para el referido período. En el año 2009 se concluyó el IV Informe Nacional al Convenio sobre la Diversidad Biológica, el que contiene información actualizada sobre las principales tendencias, amenazas y fortalezas nacionales en lo relativo a esta temática, y en el cual se identificaron los principales vacíos y debilidades de la ENBIO y su plan de acción, entre las cuales se encuentra el aun insuficiente tratamiento de temas tan importantes como la mitigación y adaptación de la diversidad biológica al cambio climático; las especies exóticas invasoras; y la desertificación y la sequía. Los resultados del IV Reporte al CDB fueron analizados por el Grupo Nacional de Diversidad Biológica (GNDB) durante el 2009, y se concluyó que a 12 años de la elaboración de la ENBIO, ésta ya necesita ser revisada y actualizada, teniendo en cuenta la situación ambiental actual, tanto nacional como internacional.

La flora de Cuba es considerada una de las floras insulares más ricas del mundo por alto grado de endemismo, que la sitúa como el principal centro de evolución y especiación de las Antillas, donde el 52,4% del total de las plantas superiores son endémicas. Los estudios de vegetación más recientes reportan la existencia de 17 tipos diferentes de formaciones boscosas, 7 arbustivas y 4 herbáceas; mientras los taxónomos reportan la existencia de 9 107 especies conocidas, de ellas 911 especies

de musgos y hepáticas, 557 de helechos y 6 519 de plantas superiores, dentro de este último grupo, las plantas con flores (Angiospermas) presentan 6 500 especies.

En relación con la fauna cubana, son conocidas unas 17 790 especies, pero aun muchos grupos zoológicos no están bien estudiados, sobre todo de invertebrados, por lo que este número seguramente se irá incrementando con la aparición de nuevas especies. Aunque el conocimiento que se tiene de la fauna es menor que el de la flora, se destaca la diversidad en grupos como los moluscos (2 913 especies conocidas), arácnidos (1 422 especies) e insectos (7 493 especies), en los cuales los estimados de especies por conocer son considerables.

En el caso de la fauna, Cuba posee, a nivel de especie un endemismo de 15 mamíferos, 28 aves, 57 anfibios, 21 peces y 124 reptiles; estos números por sí solo no dicen mucho, pero al compararlos con las especies conocidas; de 62 especies de anfibios 57 se encuentran solamente en Cuba (91,9%), o en el caso de los reptiles, se conocen 153 especies y 124 son sólo cubanas (81%).

En el territorio cubano la distribución de las especies no es uniforme, ya que se concentra en las regiones más antiguas y estables, como son los macizos montañosos de occidente, centro, norte oriental, y sur oriental de la isla, así como en áreas de condiciones extremas, como las colinas y llanuras serpentinosas, las costas semiáridas surorientales y las llanuras de arenas silíceas del occidente.

Hasta la fecha, el número de invertebrados marinos registrados en Cuba sobrepasa las 5 700 especies y la de cordados más de 1 060, principalmente peces, considerando además, los microorganismos y la flora marina, se conocen actualmente más de 7 650 especies, todas ellas relacionadas en las listas confeccionadas en diciembre del año 2006. Esta cifra supera en casi 2 000 especies (35%) las que fueron inventariadas por el Estudio de País y están basadas en una revisión más detallada de todos los filos, conforme a la literatura más actualizada.

Con relación a la flora vascular, de 3 163 especies estudiadas, 24 se consideran extintas, 405 en peligro crítico, 447 en peligro, 335 vulnerables y 583 especies amenazadas; con respecto a la fauna, de 427 especies estudiadas, 5 especies se consideran extintas, 61 en peligro crítico, 66 en peligro y 295 vulnerables.

Como complemento a las acciones nacionales dirigidas a la conservación del medio ambiente, Cuba cuenta con un Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) que tiene el propósito de preservar, bajo distintas categorías de manejo, un total de 253 áreas protegidas; de ellas, 91 de Significación Nacional y 162 de Significación Local.

A nivel internacional, son reconocidas las siguientes áreas:

- 6 Reservas de la Biosfera, Guanahacabibes, Sierra del Rosario, Ciénaga de Zapata, Buenavista, Baconao y Cuchillas del Toa.
- 2 Sitios de Patrimonio Natural de la Humanidad. Parque Nacional Desembarco del Granma y Parque Nacional Alejandro de Humboldt.
- 6 Sitios Ramsar, Ciénaga de Lanier y Sur de la Isla de la Juventud; Ciénaga de Zapata; Río Máximo-Camagüey; Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila; Delta del Cauto y Buenavista.

El área que ocupan las 253 áreas del SNAP identificadas representa el 19,95% del territorio nacional, incluyendo la plataforma insular marina, del total de la superficie terrestre, queda bajo cobertura de áreas protegidas el 16,85 % del territorio y del total de la extensión de la plataforma marina, cuenta con protección el 24,81 %, de las 253 áreas protegidas del SNAP, un total de 105 cuentan con administración.

En el Estudio Nacional para la Diversidad Biológica, se reconocen como principales amenazas a la diversidad biológica cubana al desarrollo acelerado del turismo, la minería, las construcciones civiles y el desarrollo urbano, el efecto de las especies invasoras, la contaminación ambiental, la agricultura, la pesca, el desconocimiento del valor económico de la diversidad biológica y la pesca, la caza y la tala furtivas, así como la agudización de los riesgos naturales asociados al cambio climático, reflejados en la severidad de las sequías, las lluvias intensas, las penetraciones del mar, y la intensidad y frecuencia de los huracanes. Todas estas amenazas contribuyen a la pérdida de especies y fragmentación de hábitats, a pesar de que el efecto de los últimos eventos naturales extremos, como los períodos de sequía y los huracanes de esta década, aun no ha sido suficientemente cuantificado, se reconoce también a los desastres naturales como amenaza a las colecciones vivas *ex situ* de germoplasma de interés para la alimentación y la agricultura.

En cuanto a la diversidad biológica marina, entre las principales amenazas de carácter antrópico actuales y potenciales están el represamiento de las aguas fluviales; la contaminación por residuales agrícolas, industriales y albañales que contienen plaguicidas, herbicidas, hidrocarburos, metales pesados, sustancias orgánicas, sólidos en suspensión y basura; la contaminación térmica; la sedimentación provocada por la deforestación y por la minería en tierra; la pesca no sostenible, principalmente el uso de artes de pesca nocivos; las construcciones costeras; actividades de prospección y explotación de recursos minerales (principalmente hidrocarburos) en la zona costera; las actividades turísticas no controladas; la explotación no sostenible de organismos de valor ornamental; la captura y comercialización de especies amenazadas, raras, carismáticas o de poblaciones reducidas y la introducción de especies exóticas.

Entre los principales temas a priorizar para los próximos años, el GNDB identificó el tratamiento diferenciado al tema de la diversidad biológica, su función y su adaptación al cambio climático; los estudios biológicos, la evaluación, manejo y control de las especies exóticas invasoras; los estudios sobre la capacidad de los ecosistemas y su funcionamiento ecológico, la evaluación de los bienes y servicios de estos ecosistemas y la restauración o rehabilitación de los ecosistemas degradados; la conservación *ex situ* como complemento a la conservación *in situ*; el establecimiento del marco legal requerido para la gestión de la diversidad biológica, la protección de los conocimientos, innovaciones y prácticas tradicionales y el acceso a los recursos genéticos y el fortalecimiento de la investigación y creación de capacidades en la línea de la taxonomía.

1.9. ESTADO DEL MEDIO AMBIENTE

La Estrategia Ambiental Nacional para el período 2007-2010 identifica cinco grandes problemas ambientales, sin responder a criterios de prioridad o importancia estos son: degradación de los suelos, afectaciones a la cobertura forestal, contaminación, pérdida de la biodiversidad biológica y carencia de agua.

1.9.1. DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

La degradación de los suelos, con una evidente expresión en la pérdida de rendimientos agrícolas, constituye uno de los principales problemas ambientales que enfrenta hoy el país. Los procesos erosivos afectan a 2,5 MMha de suelos del país, el

alto grado de acidez alcanza alrededor de 3,4 MMha, la elevada salinidad y sodicidad influencia alrededor de un millón de ha, la compactación incide sobre 2,5 MMha y los problemas de drenaje alcanzan 2,7 MMha. La más reciente evaluación de las tierras del país para 29 cultivos de interés, reportó que el 65% de los suelos están por debajo del 50% de su rendimiento potencial.

Estas áreas se encuentran afectadas por factores de carácter natural o antrópico acumulados en el transcurso de los años, con una marcada preponderancia de los segundos. Sin embargo, en los últimos años se han intensificado procesos naturales como la sequía y la incidencia de huracanes, con las consiguientes inundaciones, lavado de los suelos y movimientos de masa, que están incidiendo en su deterioro.

Debido a las dificultades económicas por las que atraviesa Cuba, la gran mayoría de las labores de rehabilitación que se acometen en suelos son medidas sencillas, requiriéndose en muchos casos la aplicación de medidas de mayor complejidad, que permitan la conservación y/o recuperación de los suelos, según el caso, las que requieren de un mayor respaldo financiero. A pesar de los esfuerzos realizados y de los recursos asignados por el país, en el marco del Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos, aprobado en el año 2000 por el Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, los avances logrados en los últimos 4 años resultan aun discretos.

1.9.2. AFECTACIONES A LA COBERTURA FORESTAL

Durante los últimos 50 años el país ha podido incrementar de forma constante la cubierta forestal, el total de área cubierta del patrimonio forestal asciende a 3 897 423,8 ha, de ellas 2 378 539,8 ha de bosques naturales, con lo que al cierre del año 2008, Cuba reportó un índice de boscosidad de 25,7%. Sin embargo, aun persisten las secuelas de años de explotación irracional de los bosques, que prácticamente extinguieron los más valiosos recursos forestales.

Persisten también problemas con la calidad de la mayoría de los bosques naturales, como consecuencia del inadecuado manejo y explotación en etapas anteriores, sobre todo en las cuencas hidrográficas más importantes, así como problemas con las fuentes de semillas del país, que no cumplen con las expectativas de producción y calidad. Existen además, afectaciones producidas por la no actualización de la ordenación forestal, el insuficiente tratamiento silvicultural de los bosques e insuficiencias y deficiencias de los planes de manejo.

Aunque las fajas hidrorreguladoras de ríos y embalses han recibido atención en los últimos años, todavía requieren de un esfuerzo significativo para lograr que estén totalmente forestadas. Con la mayor supervivencia de las plantaciones, la reforestación mejora paulatinamente, pero aun dista de los niveles deseados. También son problemas actuales, el bajo aprovechamiento de la biomasa derivada de los aprovechamientos forestales; y para algunos territorios, la presencia de plantas invasoras.

1.9.3. CONTAMINACIÓN

Muy diversas son las causas que originan la contaminación de las aguas, los suelos y la atmósfera en el país; entre ellas se destacan, la concentración de instalaciones industriales en zonas urbanas, lo que determina el empleo de las corrientes superficiales como receptoras de residuales crudos o parcialmente tratados, que frecuentemente llegan a la zona costera y cuencas hidrográficas. Resultan insuficientes los recursos

financieros del país para el tratamiento, aprovechamiento y reuso de los residuales. El incremento de los niveles de sales solubles de las aguas subterráneas presentes en acuíferos cársicos costeros, sometidas a un régimen de explotación intenso, es también un problema relevante.

El monitoreo de la calidad de las aguas terrestres que realiza el INRH abarca aguas superficiales y subterráneas en un total de 2 315 estaciones, clasificadas en básicas (60%) y de vigilancia (40%), estando sus insuficiencias en la frecuencia de muestreo y determinación sistemática de metales pesados y compuestos orgánicos. No se dispone de un sistema de monitoreo adecuado de las emisiones a la atmósfera, de la calidad de los suelos y su relación con el proceso de toma de decisiones para mejorar la calidad de vida de la población.

1.9.4. PÉRDIDA DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

Cuba constituye el país con mayor diversidad biológica de Las Antillas, tanto en riqueza total de especies, como en el grado de endemismo. La plataforma insular presenta el relieve de una llanura sumergida, con una superficie de 76 831 km², lo que evidencia el valor de los ecosistemas costeros y marinos para la estabilidad ecológica de la biota.

El Estudio Nacional para la Diversidad Biológica de la República de Cuba recién concluido, reconoció como causa fundamental de la pérdida de la diversidad biológica la transformación, fragmentación o destrucción de hábitat, asociada principalmente a procesos de deforestación, cambio del uso del suelo y al empleo de prácticas inadecuadas de pesca, cosecha y preparación de los suelos para la agricultura, entre otras.

Adicionalmente, diversos procesos antrópicos han provocado un proceso continuo de pérdida de biodiversidad, que se expresa, de forma más crítica, en aquellos ecosistemas frágiles como los arrecifes coralinos, los manglares, las pluvisilvas y los bosques o matorrales remanentes de lo que fue la cobertura original de Cuba.

Otras causas que provocan la pérdida de la diversidad biológica en Cuba son:

- Degradación y contaminación del suelo, las aguas y la atmósfera.
- Introducción de especies exóticas invasoras que sustituyen o afectan el funcionamiento de los ecosistemas y especies nativas.
- Insuficientes mecanismos de regulación y control, para prevenir y sancionar actividades ilícitas como la caza y la pesca furtivas, así como el comercio de especies amenazadas y otros recursos de la naturaleza.
- El cambio climático, con la consecuente agudización de los períodos de seca, la ocurrencia de lluvias intensas, la elevación de la temperatura y el incremento de las penetraciones del mar, así como de la intensidad y frecuencia de fenómenos extremos como los huracanes.
- Incendios rurales.

Se carece de indicadores efectivos e instrumentos de monitoreo necesarios, para su desarrollo e implementación; no se dispone en muchos casos de líneas base adecuadas como puntos de partida para la determinación de las tendencias de la pérdida de diversidad biológica y la recuperación que se logre mediante la aplicación de las medidas pertinentes.

1.9.5. BAJA DISPONIBILIDAD REAL DE AGUA

El desarrollo hidráulico cubano ha sido sustantivo en los últimos 50 años, ha posibilitado elevar las capacidades de embalse de 48 MMm³ a cerca de 9 200 MMm³ así como la explotación de cerca de 4 500 MMm³ de agua subterránea al año, permitiendo alcanzar una disponibilidad real de agua a partir de la infraestructura hidráulica de alrededor 1 220 m³ por habitante por año para todos los usos. En algunas zonas del país, existe una carestía relativa de agua, para suplir todas las necesidades económicas, sociales y ambientales, lo que puede observarse en el Mapa Isoyético 1961-2000, lo que ha determinado decisiones de nuevas inversiones hidráulicas relacionadas con los trasvases Este-Oeste en el Oriente del país; Norte-Sur también en esa zona, así como el Oeste-Este en el Centro de Cuba y otras.

La carestía relativa se ha agravado por la ocurrencia de fenómenos naturales; sequías prolongadas, variaciones en el régimen estacional, y otros inducidos por causas antrópicas; intrusión salina, sobreexplotación y contaminación, entre otras; ello se agudiza, además, por las pérdidas en las redes, que en algunas zonas pueden alcanzar hasta 60% de los volúmenes entregados, y el proceso de prolongada sequía meteorológica que afecta considerablemente la disponibilidad real. Respecto a la rehabilitación de redes y conductoras de acueducto para disminuir las pérdidas, continúan acometiéndose grandes inversiones en ciudades principales (Santiago de Cuba, La Habana, Holguín, Camagüey, Las Tunas), destinadas a elevar la eficiencia y su uso racional.

En el deterioro de la calidad, la carestía y falta de disponibilidad del recurso para todos sus usos, influyen sobre otros elementos naturales y antrópicos, tan diversos y complejos en su interrelación como la contaminación; los déficit de cobertura boscosa; la no siempre adecuada planificación, uso y ordenamiento; la salinización; el empleo de tecnologías inadecuadas; el escaso reuso y reciclaje del agua; el mal estado de las redes hidráulicas de distribución; así como, la aun insuficiente cultura de ahorro y uso racional. Todo ello, afecta su disponibilidad actual para los usos agrícolas, industriales y para la población.

En consecuencia, el planeamiento estratégico del recurso agua constituye una alta prioridad para el país, todo el proceso relacionado con la sequía meteorológica y las evaluaciones hidrológicas en las cuencas superficiales y acuíferos del país, debe ser cuidadosamente estudiado para lograr una estrategia de enfrentamiento a la misma. La lluvia provocada o la simple cosecha de agua de lluvia, son alternativas que también hay que seguir explotando y experimentando, de modo que sean tecnologías aplicables en la recurrencia de un período de sequía.

La disponibilidad y el adecuado uso de los recursos hídricos del país, es un asunto de interés nacional que abarca toda la economía y la sociedad, con una elevada incidencia en la protección de su medio ambiente, aunque esto se manifiesta de manera diferente, y con distinto alcance en dependencia de la región del país.

Finalmente, debe mencionarse que el nuevo ciclo de la Estrategia Ambiental Nacional para el período 2011-2015, hoy en proceso de consulta con los sectores nacionales, identifica como importante problema ambiental y en consecuencia da un trato diferenciado, a los impactos del cambio climático. Para el enfrentamiento a este problema, se prevén acciones y metas para los diferentes sectores, dirigidas, en lo fundamental, a minimizar los impactos actuales y previsibles del cambio climático sobre el archipiélago cubano.

BIBLIOGRAFÍA

1. Blázquez, L. (1981) Algunos aspectos del régimen de temperatura en la plataforma noroccidental de Cuba y región oceánica adyacente. Informe Científico-Técnico No. 171. p. 1-28
2. CIGEA. (2006): Derecho Ambiental Cubano. Multimedia. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba
3. Chuy T., (1999). Peligrosidad sísmica y desarrollo socioeconómico de la región de las Antillas Mayores. Revista Minería y Geología. 15(3):53-57. Instituto Minero Metalúrgico de Moa.
4. Chuy T. y L. Alvarez (1995). Zonación sísmica de Cuba con fines de la norma sismorresistente cubana. Informe del Centro de Investigaciones Sismológicas de Cuba, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, 23 p.
5. Furrázola G.F. y K. E. Núñez (1997). Estudios sobre geología de Cuba / compilación. Centro Nacional de Información Geológica. Editado por: Centro Nacional de Información Geológica (CNDIG), Instituto de Geología y Paleontología" p. 509-527.
6. Hernández, A., Morell, F., Ascanio, M.O., Borges, y Morales, M., Yong, A. (2006). Cambios globales en los suelos Ferralíticos Rojos Lixiviados (Nitisoles ródicos éutricos) de la provincia Habana. Revista Cultivos Tropicales, Vol. 2, pp.41-50.
8. GEO (2007)
9. INRH (2007). Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. www.hidro.cu
10. INRH (2008). Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. www.hidro.cu
11. Lluís, M. (1972) Estudios hidrológicos del Golfo de Batabanó y de las aguas oceánicas adyacentes. Serie Oceanológica No 14. p. 1-49.
12. Lluís, M. (1977) Estudios hidrológicos de la plataforma suroriental de Cuba y aguas oceánicas adyacentes. Informe Científico-Técnico No. 16. p. 1-29
13. ONE, 2008 (a). Oficina Nacional de Estadísticas. Anuario demográfico Cuba 2007. www.one.cu
14. ONE, 2008 (b). Oficina Nacional de Estadísticas. Anuario estadístico Cuba 2007. www.one.cu
15. ONE, 2009 (a) Oficina Nacional de Estadísticas. Proyecciones de la población cubana 2010–2030. www.one.cu
16. ONE. 2009 (b). Oficina Nacional de Estadísticas. Anuario demográfico Cuba 2008. www.one.cu
17. UNE. (2009). Informe Unión Eléctrica Nacional. La Habana. Cuba.



Paisaje árido en la región oriental de Cuba
Foto: Richard Molina

VARIACIONES Y CAMBIOS DEL CLIMA

2.1. INVESTIGACIONES CLIMÁTICAS EN CUBA

Los estudios sobre las tendencias en los elementos climáticos en Cuba comenzaron en la década del '70, con investigaciones realizadas conjuntamente entre expertos del Instituto de Geografía, del Instituto de Hidroeconomía y el asesor soviético I.I. Trusov, quienes estudiaron la ciclicidad de las precipitaciones en Cuba (I.I. Trusov Díaz, L.R., A. Izquierdo; 1979). Del mismo modo numerosos estudios realizados para asegurar el desarrollo hidráulico del país abordaron profundamente, desde los años 70, el comportamiento de las variables climáticas y sus tendencias. A finales de la década del '80, Vega *et al.*, (1987) encontraron la existencia de una tendencia opuesta entre las precipitaciones de las estaciones lluviosa y seca; seguido por otros autores que confirmaron la existencia de tendencias significativas en series de algunas variables climáticas. Desde entonces, en diferentes trabajos se analizaron las variaciones climáticas a escalas más amplias, como es el caso de algunos patrones de circulación atmosférica. Este quehacer permitió preparar la primera evaluación de las fluctuaciones del clima en el informe denominado "Variaciones y Cambios del Clima en Cuba", preparado por un colectivo de autores y editado en 1997 por Centella, Naranjo y Paz. La ejecución posterior de importantes proyectos de investigación, crearon las condiciones para la elaboración de esta segunda evaluación, que se sustenta en los logros alcanzados entre 1997 y 2008 y en artículos e informes especiales elaborados durante esos años de trabajo.

El procedimiento seguido en este estudio fue el de considerar como punto de partida el informe de la primera evaluación, tomando como cita obligada sus principales afirmaciones, y valorando cuales de ellas continuaban teniendo validez. A partir de ello se incorporaron de forma resumida los resultados obtenidos por los proyectos y servicios ejecutados en el Instituto de Meteorología (INSMET), a través de un análisis crítico y en busca de la sinergia que requiere tener este tipo de trabajo. En varios casos se realizaron las actualizaciones necesarias de las series de datos, de las tendencias y del nivel significación estadística.

2.2. CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA

Las circulaciones oceánica y atmosférica conforman el mecanismo de transporte de calor desde las bajas hacia las altas latitudes, como respuesta a la gran diferencia de temperatura provocada por el desigual balance de la radiación solar. De tal forma se evita la ocurrencia de un excesivo calentamiento de las bajas latitudes y un permanente enfriamiento de las altas. La circulación atmosférica es un factor que determina los climas regionales, debido a que se encuentra vinculada a la traslación de masas de aire con diferentes características físicas, cálidas o frías, secas o húmedas.

El clima de Cuba se encuentra condicionado por su ubicación geográfica, dentro de la porción norte de la zona tropical, muy cerca del límite entre las zonas tropical y

subtropical, hacia el lado occidental del Océano Atlántico. La marcha anual de los elementos meteorológicos, que oscilan entre una temporada cálida y lluviosa y otra menos cálida y poco lluviosa, está vinculada a los cambios estacionales en la posición e intensidad del Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte.

La característica más importante de la fluctuación estacional es la disminución de la influencia antes descrita sobre Cuba en el invierno. Tal hecho permite la irrupción de los sistemas meteorológicos extratropicales que imponen una significativa frecuencia de eventos frontales, invasiones de aire frío y otros eventos propios de latitudes más altas, que incrementan considerablemente el contraste estacional entre los elementos climáticos. A diferencia de otras zonas del Mar Caribe, la proximidad al continente y a las aguas cálidas del Golfo de México y del Mar Caribe occidental, facilita que sobre Cuba se produzcan procesos de interacción entre los sistemas meteorológicos propios de la zona tropical con aquellos de latitudes medias, aun fuera del período invernal, principalmente durante los meses de transición.

Es conocido que los cambios en la frecuencia y características de los patrones de circulación, son la principal causa de las fluctuaciones de los elementos climáticos (Díaz, H. F.; 1986). Así, la circulación atmosférica posee variaciones interanuales e interdecadales de diferente extensión (Naranjo y Centella; 1996), vinculadas básicamente, a procesos de fluctuaciones térmicas a gran escala en los océanos mundiales (Kawamura R. *et al.*; 1995).

2.2.1. CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA REGIONAL

Naranjo *et al.*, (1997) describieron variaciones en la estructura e intensidad de la influencia anticiclónica sobre el área geográfica que contempla la Cuenca del Caribe, el Golfo de México y el extremo sur de los Estados Unidos. Según esos autores, estas variaciones se reflejaron en la existencia de una tendencia lineal creciente en los valores medios de los campos de presión estudiados para el período 1958-1998, lo que presuponía la presencia de posibles variaciones cíclicas a escalas multidecadales. Esto se refleja más claramente en los niveles medios y altos de la atmósfera. El análisis de la distribución espacial de las tendencias indicó que ésta estuvo condicionada principalmente por el comportamiento de los campos béricos sobre el Caribe Oriental y la cuenca del Océano Atlántico, lo que indicaba la presencia de un proceso de intensificación del dorsal Anticiclónico Atlántico. Añadieron además, que existían evidencias de incrementos en la intensidad de la corriente zonal del este, vinculada al régimen de los Alisios sobre Cuba.

Lapinel *et al.*, (2006) confirmaron el sostenido incremento de las alturas geopotenciales medias anuales, a partir de mediados de los años 70 en la región central del anticiclón del Atlántico y Cuba, prácticamente en toda la columna troposférica, fenómeno que ha continuado hasta la actualidad. Este hecho ha sido resultado de las variaciones observadas en el cinturón de las altas presiones subtropicales, lo que ocasiona una mayor influencia anticiclónica en los niveles troposféricos bajos y medios sobre el país.

Las series de los Índices de Circulación Zonal y Meridional han reflejado claramente las variaciones detectadas en la estructura e intensidad de la influencia anticiclónica sobre Cuba y la región del Caribe. La circulación zonal ha experimentado un proceso continuo de incremento en las capas bajas de la atmósfera (figuras 2.1 y 2.2), que se refleja en un aumento en la intensidad y persistencia de la corriente zonal del Este,

vinculada al régimen de los Alisios a esos niveles. Contrariamente, una tendencia a la disminución se ha reflejado en la circulación meridional. Lo antes descrito confirma lo expresado por Naranjo *et al.*, (1997) cuando señalaron la existencia de una intensificación de las corrientes del Este en niveles medios, con relación a la década de los 60, lo que provocaba un aumento en la frecuencia de los Estes en el período de transición verano-invierno, e implicó la expansión temporal de condiciones de circulación propias del verano, a expensas de los meses otoñales.

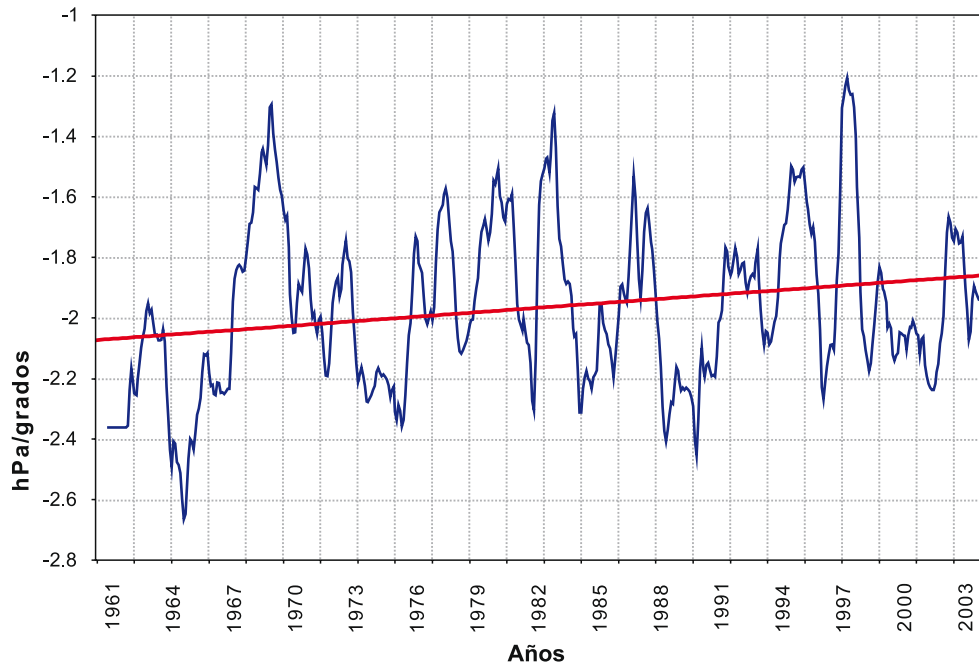


Figura 2.1. Serie suavizada de valores medios mensuales del gradiente bórico en la componente Norte-Sur en 850 hPa y su línea de tendencia

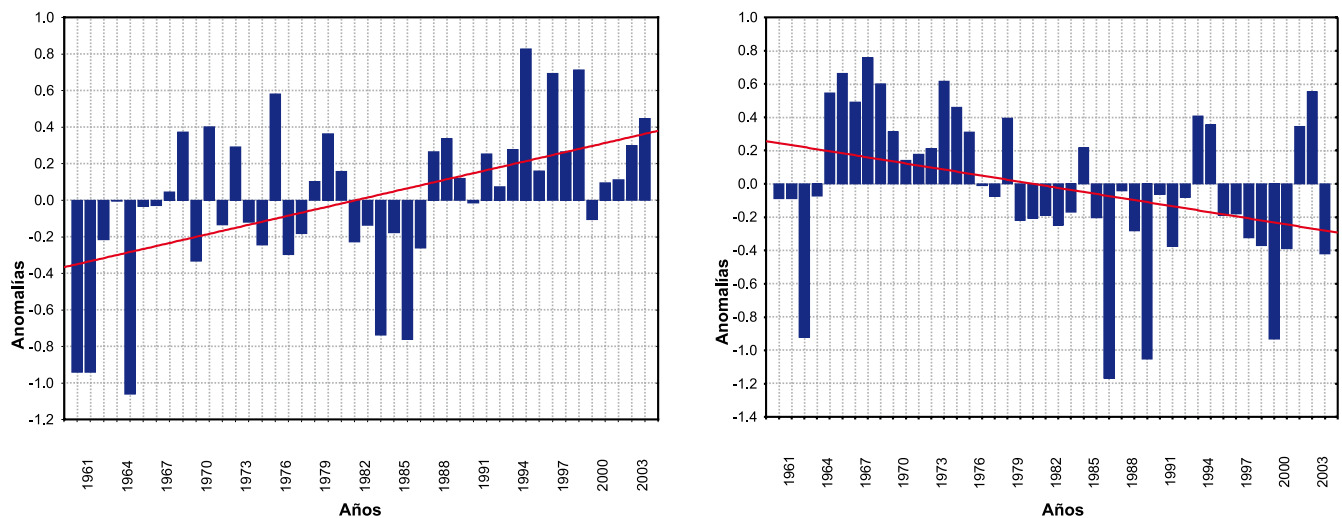


Figura 2.2. Serie de anomalías estacionales de los transportes zonales (a) y meridionales (b) en 850 hPa y su línea de tendencia

Las variaciones observadas de la circulación atmosférica en la región, son soportadas por los cambios temporales que se han producido en los procesos de circulación a mayor escala. En el caso del patrón de teleconexión “Oscilación del Atlántico Norte” (NAO), se asocian con las características que adquieren los flujos zonales y meridionales antes descritos, fundamentalmente en el período invernal (Fonseca, 2008). La citada autora demostró que los flujos predominantemente zonales en la región de estudio responden mejor al índice NAO en el periodo poco lluvioso del año. La interpretación física de los resultados obtenidos indica que cuando el anticiclón oceánico se presenta más fuerte que lo normal, caracterizando la fase positiva del índice NAO, en el área estudiada se produce una disminución de la circulación zonal en los tres niveles estudiados y viceversa. Tal hecho se produce debido al desplazamiento de todo el sistema hacia el norte.

Es de destacar que en las últimas décadas se ha observado una tendencia al predominio de valores positivos del índice de teleconexión NAO, coincidentes con las anomalías climáticas observadas a nivel regional. La fase negativa dominó la circulación desde 1961 hasta finales de la década del 70 y desde inicios de los 80 hasta la actualidad la circulación regional ha estado dominada por la fase positiva de dicho índice (figura 2.3). Esta tendencia es claramente manifiesta en las series del índice para el período invernal de Cuba, mientras que para el período lluvioso la tendencia ha sido inversa.

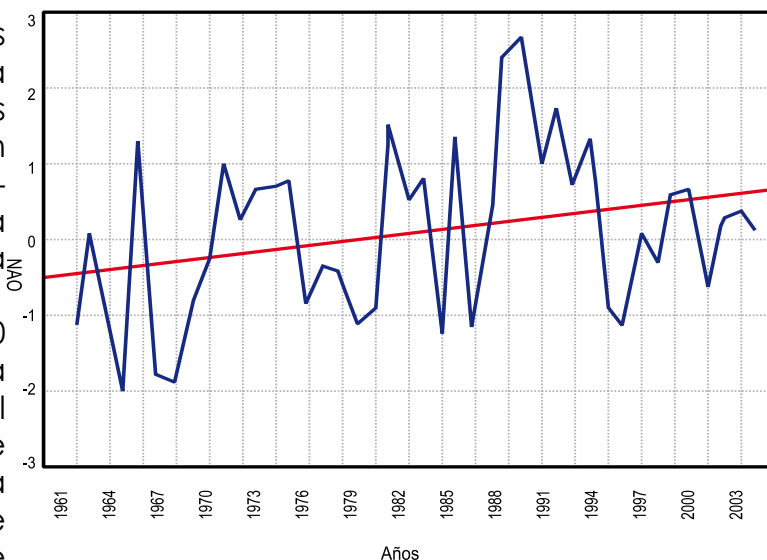


Figura 2.3. Variación interanual del índice NAO para el período 1961-2004

2.2.2. FACTORES MODIFICADORES DE LA CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA

La temperatura superficial del mar (TSM) posee una significativa influencia sobre la circulación atmosférica y es reconocida como uno de los principales factores modificadores de la misma. La TSM determina en gran medida la temperatura del aire y la distribución de humedad en la capa superficial sobre los océanos tropicales, por lo que propicia cambios significativos en el campo de presión y, en consecuencia, en la circulación atmosférica. Esta última es muy sensible a los cambios de la TSM. El evento “El Niño” es un ejemplo de los efectos de la temperatura superficial del mar sobre el clima. A su vez, la circulación atmosférica posee sus propios modos de variación, los que interactúan entre sí y modifican el comportamiento del clima en diferentes regiones del planeta, en dependencia de la época del año.

2.2.2.1. EVENTO EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR

“El Niño-Oscilación del Sur” (ENOS) es el principal factor forzante de la variabilidad climática conocido hasta el momento. Su nombre indica adecuadamente la presencia

de dos componentes, uno oceanográfico (El Niño) y otro atmosférico (Oscilación del Sur). Es por tanto un gran ejemplo de la interacción océano-atmósfera.

Una parte muy importante de la variabilidad interanual de los elementos climáticos en Cuba es explicada por la presencia de este evento; razón por la cual, varios trabajos han evaluado el impacto del ENOS sobre el clima del país (Meulenert, 1991; Cárdenas y Pérez, 1991; Cárdenas *et al.*, 1995; Parrado *et al.*, 1995; Ballester *et al.*, 1995; Limia *et al.*, 2000). Se ha demostrado que el ENOS provoca cambios importantes en un buen número de variables climáticas, particularmente sobre las precipitaciones invernales y la actividad ciclónica tropical.

Naranjo (1994) logró describir la existencia, bajo condiciones ENOS, de una expansión de los Oestes extratropicales invernales sobre Cuba, unido a un incremento de los transportes atmosféricos superficiales en la dirección norte-sur. Como regla general, esta situación favorece la formación de ciclones extratropicales sobre el Golfo de México, por lo que la frecuencia de estos sistemas aumenta significativamente, provocando un incremento de las lluvias invernales, básicamente en la mitad occidental. También se ha destacado el hecho de que desde 1970, siete de los sucesos de inundación costera más intensos se asocian a ciclones invernales originados en años ENOS. Limia *et al.*, (2000), demostraron la influencia inhibidora de este evento sobre la actividad ciclónica en Cuba.

Tomando en consideración la cronología de ENOS elaborada por Cárdenas *et al.*, (1995), y actualizada operativamente hasta el presente, este evento se ha estado presentando cada 3 ó 4 años desde comienzos del pasado siglo XX. No obstante, en la década del '90 y en la primera década del actual siglo, el evento se ha presentado cada 2 ó 3 años. Es importante recordar que entre estos últimos se registró uno de los dos eventos ENOS más fuertes que se conozcan, el evento 1997-1998, el que junto a los eventos 1972-1973 y 1982-1983 incrementaron su influencia sobre las variaciones del clima a escala global. La figura 2.4 muestra la serie de los valores medios anuales de la TSM en la región Niño 3. Es posible observar la existencia de una tendencia creciente a lo largo de toda la serie, debido al enfriamiento observado durante la década de los años 50. Sin embargo, desde al año 1961 hasta el 2008 no existe una tendencia estadísticamente significativa.

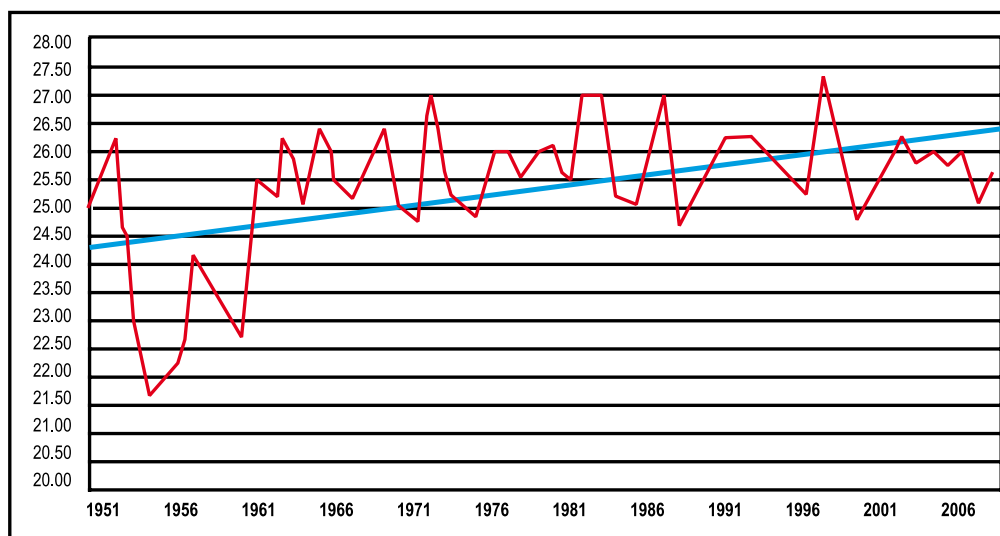


Figura 2.4. Temperatura superficial del mar media anual en la región Niño 3. Período 1951-2008

El ENOS influye fuertemente en el patrón de teleconexión Pacífico Norte-América (PNA), uno de los más sobresalientes modos de la variabilidad de baja frecuencia en la zona extratropical del hemisferio norte. Su fase positiva tiende a estar asociada con la fase cálida del ENOS. La figura 2.5 muestra la serie temporal del índice PNA. En ella se puede apreciar que no existe tendencia creciente o decreciente, pero sí un cambio al predominio de los valores positivos a finales de la década de los años 70. La fase positiva del PNA se vincula a presiones más altas en los alrededores de Hawai y la región noroeste de Norte América, así como presiones más bajas al sur de las Aleutianas, el sudeste de los Estados Unidos y el Golfo de México. El patrón se define bien en otoño, invierno y primavera. En el verano se caracteriza por presiones más altas a lo largo del cinturón de las altas presiones subtropicales, desde el Pacífico central hasta el Golfo de México, Cuba y parte del Océano Atlántico occidental, donde las anomalías positivas suelen ser más débiles.

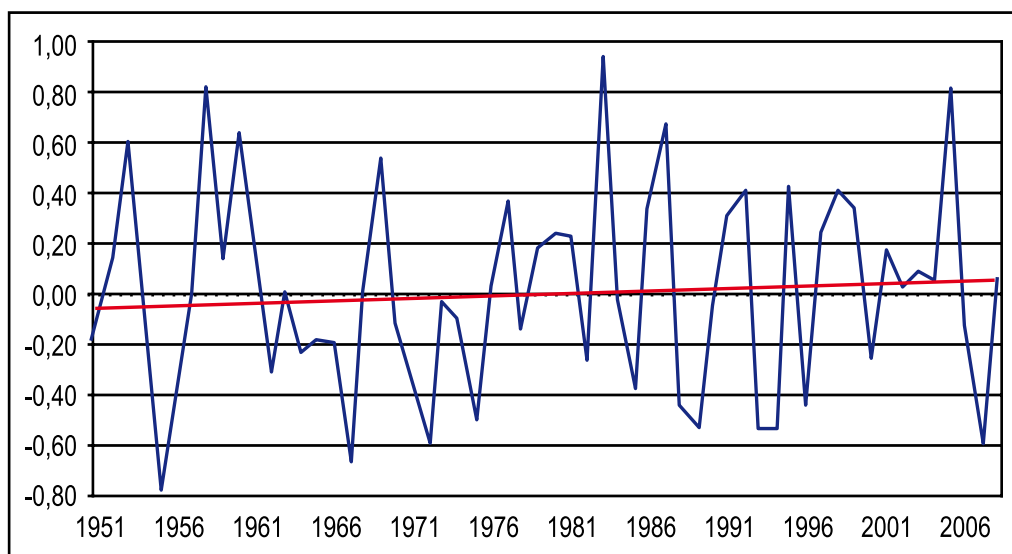


Figura 2.5. Valor medio anual del índice de teleconexión PNA. Período 1951-2008

2.2.2.2. TEMPERATURA DEL MAR EN EL OCÉANO ATLÁNTICO TROPICAL

Los análisis efectuados por Gray *et al.*, (1997), indicaron que los cambios observados en la circulación termohalina sugerían que un período cálido de la TSM se había iniciado desde 1995 en el Océano Atlántico. Según Goldenberg *et al.*, (1999), también había comenzado un período en que la cizalladura vertical del viento se caracterizaría por el predominio de bajos valores. Estos autores centraban su análisis en las variaciones que los cambios temporales de la TSM pueden causar sobre la circulación atmosférica. El objetivo era comprender las razones por las cuales se incrementaría la actividad ciclónica en el Océano Atlántico.

Las figuras 2.6 y 2.7 muestran las series temporales de la TSM (valor medio anual) en el Océano Atlántico tropical y en el Mar Caribe. En el primer caso se aprecia, que a partir de 1995 se produjo un incremento marcado de la TSM en el Océano Atlántico tropical, manteniéndose la ocurrencia de valores altos durante casi todos los años. Este período incluye el establecimiento de un nuevo valor máximo para la serie en tres ocasiones, 1998, 2004 y 2005. En el caso de la TSM en el Mar Caribe, es posible observar la existencia de tres períodos, uno cálido entre 1951 y 1974, otro frío o menos cálido, y otro muy cálido, con predominio total de altos valores, incluyendo un récord absoluto

en el año 1998 y un valor muy alto, casi igual, en 2005. Los cambios entre uno y otro período son sumamente marcados.

No se ha argumentado la existencia de una relación entre la TSM del Océano Atlántico tropical y el patrón de teleconexión del Atlántico Este (EA), uno de los dos modos de variación más importantes de la circulación atmosférica en el Océano Atlántico. Sin embargo, parece existir una influencia de la TSM, en el sentido de que la persistencia de anomalías cálidas en dicha región se asocia a valores positivos del Atlántico Este.

La fase positiva del EA se asocia a presiones más altas en la zona del dorsal subtropical, principalmente en el invierno y el verano. Tal relación mantiene el mismo signo durante la primavera y el otoño, pero mucho más debilitada. La relación entre el EA y las variaciones de los elementos climáticos en Cuba no ha sido convenientemente estudiada, pero a priori pudiera expresarse que este patrón de circulación influye en la ocurrencia de años más cálidos.

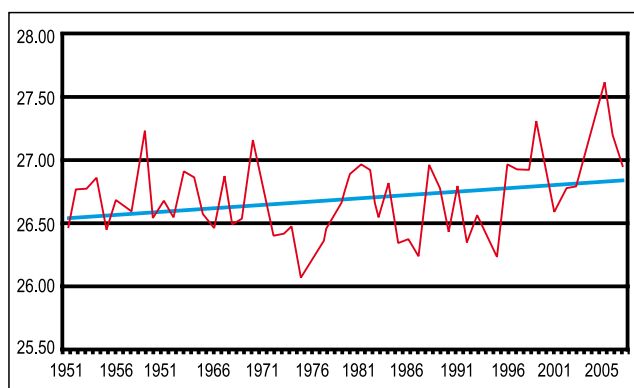


Figura 2.6. Temperatura superficial del mar media anual en el Atlántico tropical. Período 1951-2008

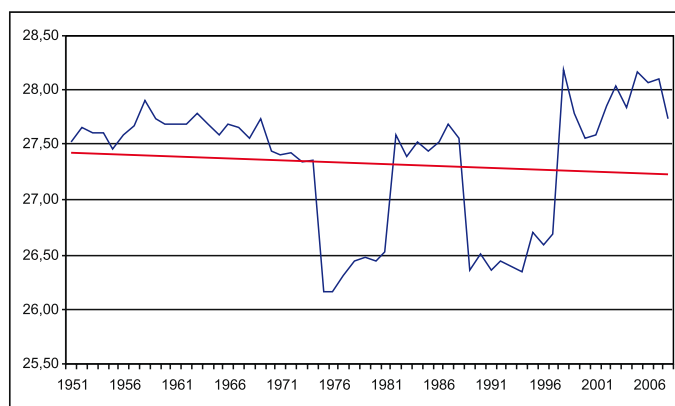


Figura 2.7. Temperatura superficial del mar media anual en el Mar Caribe. Período 1951-2008

La figura 2.8 muestra la serie temporal del índice EA, que ha mantenido una tendencia lineal creciente, estadísticamente significativa, durante el período 1951-2008. Esta tendencia es consecuencia de la muy marcada variación multidecadal mostrada, con una fase negativa prevaleciente entre 1951 y 1976 y una fase positiva entre 1977 y el presente. Dentro de esta última etapa se destaca el período 1996-2008, donde la fase positiva ha sido muy fuerte y persistente, coincidiendo con el mayor incremento de la TSM en el Océano Atlántico tropical.

El comportamiento del EA coincide plenamente con lo documentado por Naranjo *et al.*; (1997) y Lapinel *et al.*; (2006), en cuanto al sostenido incremento de la influencia anticiclónica en toda el área.

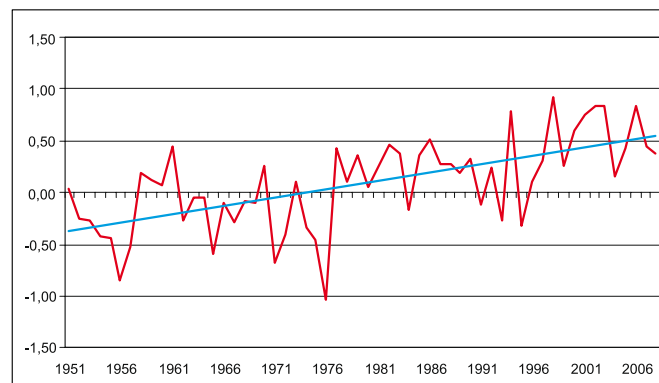


Figura 2.8. Valor medio anual del índice EA. Período 1951-2008

2.2.2.3. VARIACIONES DE LA ESTRUCTURA TERMOHALINA EN LOS ALREDEDORES DE CUBA

Según Mitrani *et al.*; (inédito), en un extenso estudio sobre la estructura y la circulación termohalina en los alrededores de Cuba, señalaron la ocurrencia de variaciones importantes entre las décadas de los años 60 y 70 en relación con las de los años 80 y 90. Según dichos autores las anomalías de la temperatura del agua para el período 1960-1980 estuvieron en casi todos los meses por debajo de la media general, entre 0,2 y 1 °C, sobre todo para los meses de verano, mientras que en el período 1980-2000 estuvo igual o por encima de la media entre 0,2 y 0,7 °C, con un mayor incremento en los meses de verano. La amplitud máxima de la variación de la temperatura del agua entre ambos períodos estuvo en el orden de los 1,7 °C. También señalaron la profundización de la capa isotérmica.

Mitrani *et al.*; también señalaron que en el período 1966-2000, tanto en las capas superficiales y sub-superficiales de las aguas que rodean a Cuba, se aprecia un aumento de la salinidad y la temperatura, la primera en el orden de 0,2 psu y la segunda en el orden de un grado. Estos cambios, según dichos autores, afectan la calidad de vida de las especies marinas y favorecen la intensificación de los ciclones tropicales que atraviesan el área de estudio.

La temperatura de la superficie marina presenta un curso medio anual bien marcado, con el mínimo en febrero, del orden de los 25 °C y el máximo en septiembre, en las cercanías de los 30 °C y 24 °C en la costa noroccidental. Las zonas más sensibles al aumento de la intensidad de los huracanes, por aumento de salinidad y temperatura, son las costas de las provincias occidentales. A su vez, la más propicia a la génesis e intensificación de los ciclones tropicales se localiza al sur de la Isla de la Juventud, donde todos los parámetros de la estructura termohalina alcanzan sus valores máximos, en coincidencia con la circulación atmosférica favorable a la formación de disturbios iniciales en la zona y al arrastre de los ciclones tropicales hacia ella. La zona noroccidental es también muy favorable a dicha intensificación.

2.2.2.4. FRENTE FRÍOS

El análisis de las características de la circulación atmosférica, así como de sus variaciones, no debe enfrentarse solo a partir del comportamiento de los sistemas cuasi permanentes de la circulación y de los patrones de teleconexión, sino que debe incluir a los sistemas sinópticos migratorios, de forma prioritaria las frecuencias en que se presentan y los cambios que puedan manifestarse en sus características más importantes.

En el período poco lluvioso del año, los principales flujos de intercambio entre las latitudes medias y la zona tropical provienen del movimiento de sistemas como las altas presiones migratorias frías y las bajas extratropicales, además del movimiento desde las altas latitudes hasta la zona tropical de las masas de aire frío de origen continental y marítimo polar. Estas masas de aire acompañan a los sistemas frontales, los que posteriormente se trasladan al sudeste y después al este sobre el Golfo de México. Los frentes fríos son uno de los sistemas meteorológicos más prominentes en esta interacción y a su vez los responsables de los acumulados de las precipitaciones que se registran en ese período en la mayor de las Antillas.

Un indicador muy ilustrativo de los niveles de la actividad invernal, es el número de frentes fríos que alcanzan el territorio de Cuba, parte indiscutible de las principales

características de la circulación atmosférica que predomina en los alrededores del país. En la figura 2.9 se muestra el total de frentes fríos que afectó al archipiélago cubano en las 92 temporadas invernales comprendidas entre 1916-1917 hasta 2007-2008, el valor medio por temporada y los valores extremos de 35 y 11 frentes fríos en los inviernos de 1976-1977 y 1996-1997, respectivamente.

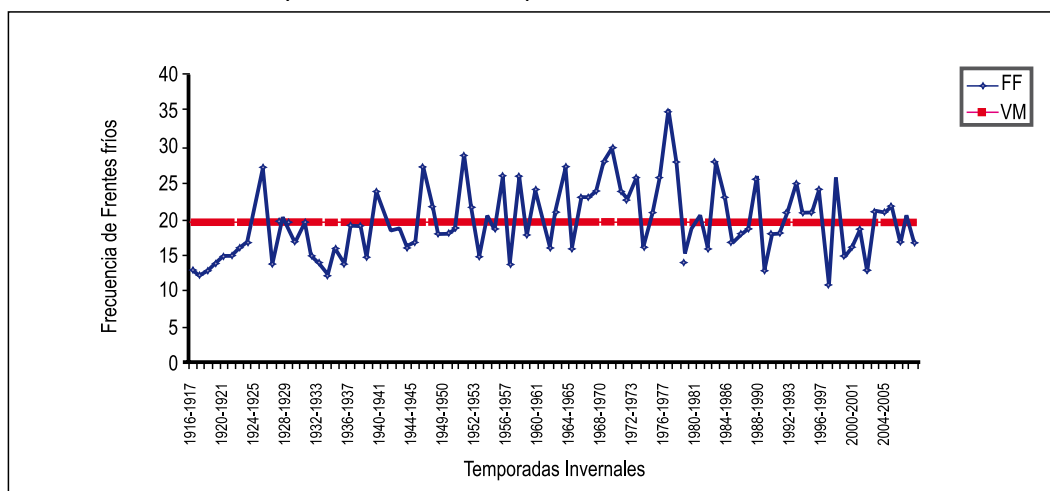


Figura 2.9. Total de frentes fríos que han afectado al archipiélago cubano desde 1916-1917 hasta 2007-2008 y el valor medio por temporada, en ese período

Hay una discreta tendencia creciente en la serie de los frentes fríos en el período 1916-2008. El trimestre diciembre, enero, febrero es el más activo. En la serie temporal de los frentes fríos que han afectado a Cuba se aprecia una alta variabilidad interanual, la que está presente tanto en los diferentes tipos como en las intensidades de los frentes fríos, reflejada en los altos valores del coeficiente de variación (Cv) de esos sistemas meteorológicos, cuyo valor oscila entre 0,25 para el número anual de frentes fríos hasta 2,9 para el de frentes fríos secundarios.

En el análisis serial por tipos de frentes, se revela: (a) la tendencia creciente que presentan los frentes fríos secundarios y revesinos, siendo altamente significativa en los primeros; (b) similar comportamiento de los frentes fríos clásicos; (c) el incremento significativo de los frentes fríos débiles (análisis de tendencia serial), fenómeno motivado por el forzamiento que representan las tendencias en el comportamiento decreciente, altamente significativo, de los sistemas moderados y fuertes y (d) la tendencia a la disminución de los frentes fríos moderados y fuertes, cuya ausencia en más de una década pudiera estar asociada a una anomalía en los procesos de intercambio entre el trópico y las latitudes medias, en los que la posición de la dorsal subtropical y la posición de la corriente en chorro subtropical presentan un lugar cimero.

2.2.3. CONCLUSIONES

El comportamiento de los procesos de la circulación atmosférica regional en las últimas seis décadas ha estado dominado por complejas manifestaciones de la variabilidad natural del clima. Las variaciones observadas parecen ser consecuencia de los principales cambios observados en la circulación atmosférica global. Como aspecto más importante debe señalarse el incremento de la influencia anticiclónica sobre el área, lo que implica el gradual predominio de las corrientes zonales del este y movimientos verticales descendentes.

Se ha confirmado lo expresado en el primer informe acerca de que la década de los ´70 resultó notable, pues se detectaron importantes cambios, principalmente entre mediados y finales de ésta. Sin embargo, las fluctuaciones aun no sobrepasan los límites de la variabilidad natural, aunque varias de ellas son muy importantes y requieren de un monitoreo detallado en el futuro inmediato.

2.3. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE

2.3.1. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE EN CUBA

Las investigaciones relacionadas con la variabilidad del clima se han concentrado con especial interés en las variaciones observadas en las series de temperatura superficial del aire. La comprensión de dichas variaciones puede contribuir sustancialmente a la estimación del calentamiento global, como resultado de la intensificación del efecto invernadero debido a causas humanas. También ayuda a la definición de medidas de adaptación ante las fluctuaciones naturales del clima.

Aunque el patrón estacional del clima en el archipiélago cubano es bastante estable, de año en año se producen anomalías de la temperatura que pueden provocar un impacto apreciable sobre muchas actividades socioeconómicas.

Las evaluaciones sobre las variaciones observadas en los registros de la temperatura superficial del aire en Cuba, durante el período posterior a 1951, realizadas por Centella *et al.*, (1995) y Centella (1997), señalaron, como aspecto más relevante, la existencia de un calentamiento significativo en las décadas de los años 80 y 90. En términos generales, desde mediados del siglo XX, las temperaturas media y mínima se incrementaron; mientras que el rango diurno de la temperatura disminuyó.

Estudios recientes, basados en la actualización de las series hasta el año 2008, confirman lo previamente calculado para la temperatura media. Desde mediados del pasado siglo, la temperatura media anual ha aumentado en Cuba cerca de 0,9 °C (figura 2.10). La década de los años 90, así como los años de la primera década del siglo XXI, han sido los más cálidos. Esta tendencia es más marcada durante el período poco lluvioso del año (2,0 °C), con un incremento superior en el trimestre diciembre-febrero (2,4 °C) que en el trimestre junio-agosto (0,8 °C). Sin embargo, se ha observado que desde comienzos de los años 90 se ha producido una estabilización del comportamiento de la temperatura media anual, alrededor de un valor medio muy alto. Entre los años 1991 y 2008 existe una tendencia decreciente, no estadísticamente significativa en la serie estudiada.

A través del análisis del comportamiento de la temperatura en el nivel de los 850 hPa sobre el archipiélago cubano, utilizando datos de la base del NCEP/NCAR, se pudo apreciar que a ese nivel también se había producido un incremento de aproximadamente 0,7 °C, con un relativo detenimiento del mismo desde el año 1995 aproximadamente (figura 2.11).

Se confirma que la existencia de una tendencia hacia un clima más cálido está fuertemente condicionado por el incremento de los valores de la temperatura mínima, que asciende a 1,9 °C (figura 2.12). El aporte del trimestre diciembre-febrero es enorme con un incremento de 2,6 °C. En este caso también desde comienzos de la década de los ´90 el comportamiento de este elemento se ha estabilizado, por lo que existe una tendencia decreciente no significativa entre los años 1991 y 2008.

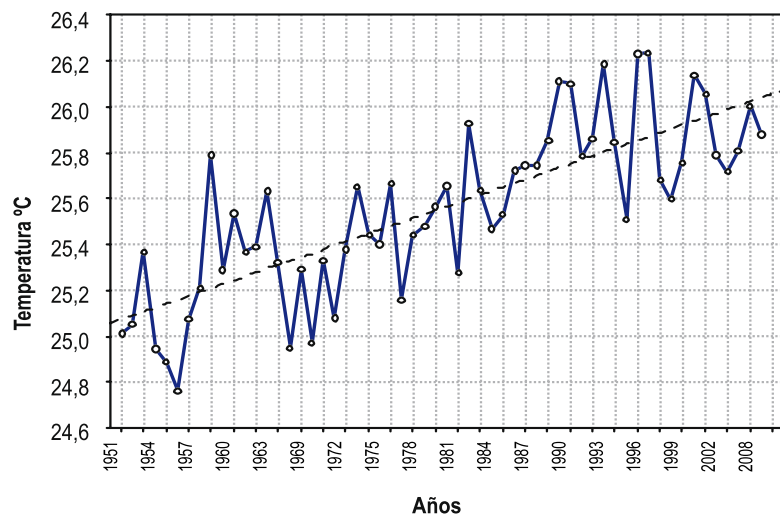


Figura 2.10. Valores de la temperatura media anual en Cuba y tendencia

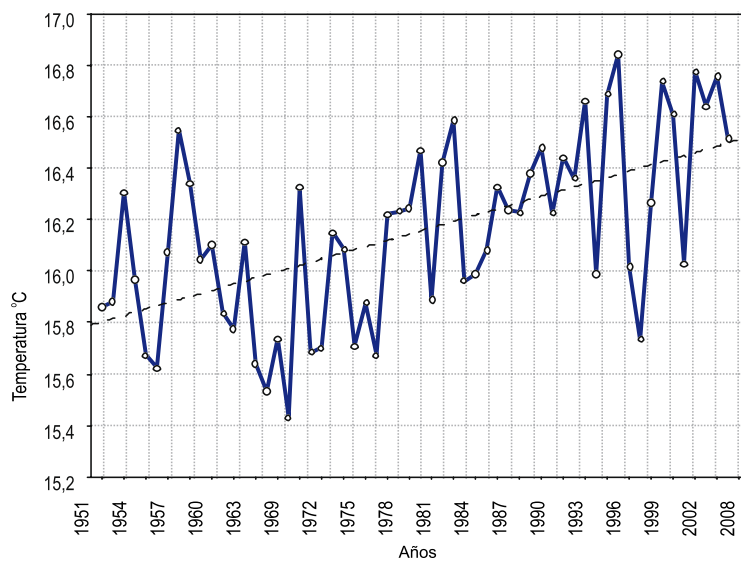


Figura 2.11. Valores de la temperatura media anual en Cuba en los 850 hPa y su tendencia

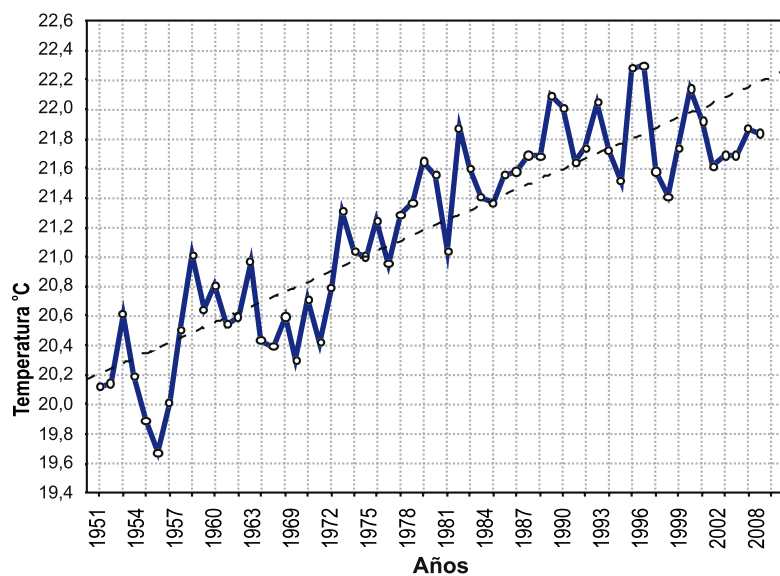


Figura 2.12. Valores de la temperatura mínima media anual en Cuba y su tendencia

El análisis de los extremos de la temperatura mínima expresados a través de los indicadores TN90 (por ciento de días con temperaturas mínimas superiores al 90 percentil, calculado para la norma 61-90), TNx (temperaturas mínimas más altas) y TR20 (número de días con temperaturas mínimas superiores a 20 °C), mostró que todos presentan tendencias crecientes, significativas estadísticamente, en la mayor parte del año.

Las tendencias en las temperaturas máximas no son significativas, aunque se observa una ligera disminución entre los años 1951 y el 2008, compuesta por un descenso entre 1951 y 1979 y un ascenso entre 1979 y 2008 (figura 2.13).

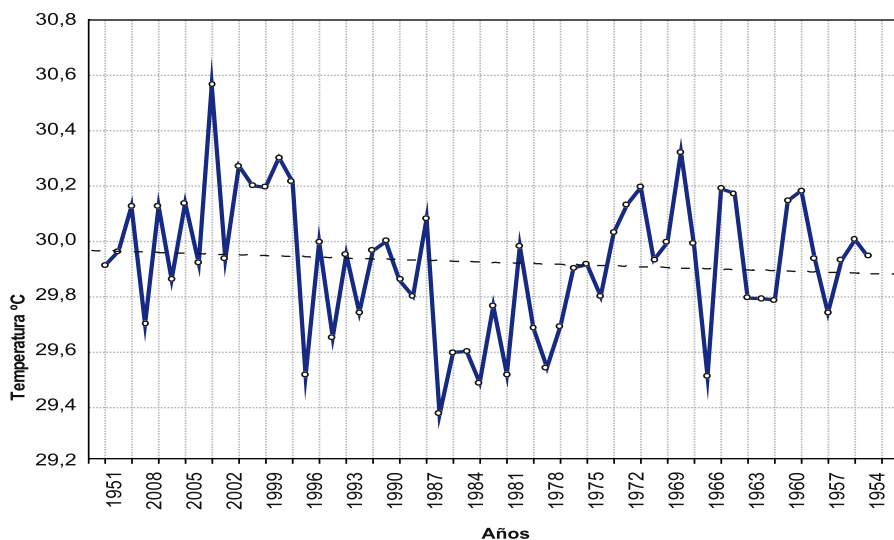


Figura 2.13. Valores de la temperatura máxima media anual en Cuba y su tendencia

El análisis de las temperaturas máximas extremas expresadas a partir de los indicadores Tx90 (por ciento de días con temperaturas máximas superiores al 90 percentil calculado para la norma 61-90), Su30 (número de días con temperaturas máximas superiores a 30 °C) y WSDI (total de días consecutivos, en intervalos de por lo menos 6 días, en que la temperatura máxima fue mayor al 90 percentil respecto a la norma 61-90), aportó detalles de interés. En el primer caso (Tx90), se apreció que este indicador crece durante todos los meses del año, excepto en el mes de abril, donde la tendencia es decreciente, aunque tal comportamiento es solo significativo estadísticamente en algunos meses del año. El segundo indicador (Su30), crece significativamente, mientras que el tercero (WSDI), también aumenta significativamente, encontrándose incluso intervalos entre 6 y 15 días, correspondiendo al año 2004 el máximo valor.

Como consecuencia del comportamiento antes descrito, se ha registrado una disminución de la oscilación térmica media diaria de aproximadamente 2 °C (figura 2.14). No obstante, se observa que desde 1979 se ha producido una estabilización del comportamiento de esta variable al no presentar entre los años 1979 y 2008 tendencia significativa.

Es preciso señalar que aun cuando las tendencias estimadas para la temperatura superficial del aire en Cuba pueden estar influidas por los efectos de la urbanización, es poco probable que la magnitud de esa contribución sea considerablemente importante sobre el valor promedio de dicho elemento. Aunque estudios sobre las ciudades y el clima afirman que localmente la influencia es notable, Cárdenas *et al.*, (1994), encontraron diferencias muy pequeñas en las tendencias de las temperaturas

para estaciones ubicadas muy lejos de la influencia urbana y las que se sitúan en sitios cercanos a núcleos poblacionales importantes. Por otra parte, otras evidencias como el calentamiento de la troposfera baja, sirven de soporte a la afirmación anterior.

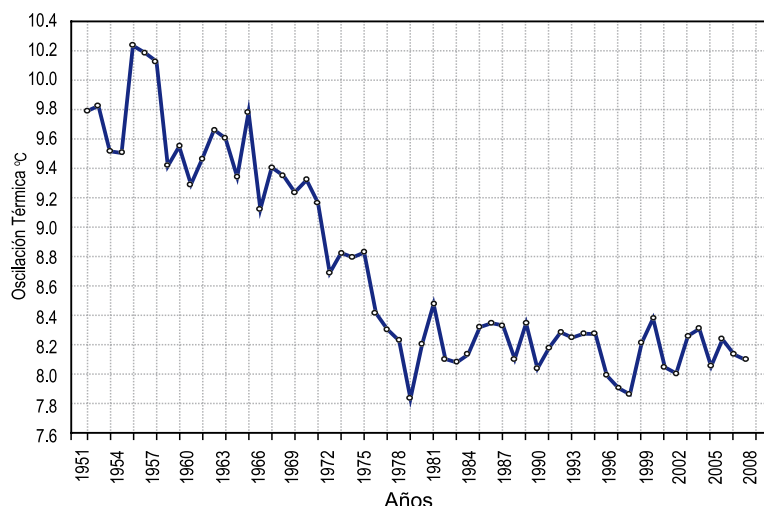


Figura 2.14. Oscilación media anual de la temperatura en Cuba

2.3.2. TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL AIRE EN LA ESTACIÓN DE CASABLANCA

La estación meteorológica de Casablanca posee la serie de temperatura de mayor extensión disponible del país, que data desde 1908, fecha de la inauguración de esta instalación. El análisis de esta serie permitió expresar que desde el inicio del pasado siglo XX la temperatura media anual de Casablanca ha aumentado cerca de $0,6^{\circ}\text{C}$ (figura 2.15). Esta serie revela de forma clara la superposición de variaciones multianuales sobre la tendencia a largo plazo. Se destaca la existencia de un período de relativo enfriamiento entre 1950 y 1971, que da paso a una nueva etapa de calentamiento que perdura hasta el presente. El período 1951-2008 tiene un incremento de $0,9^{\circ}\text{C}$, similar a la temperatura media anual del país, y superior a los incrementos observados en los períodos 1909-1949 y 1971-2008, los que alcanzan valores aproximados a los $0,5^{\circ}\text{C}$.

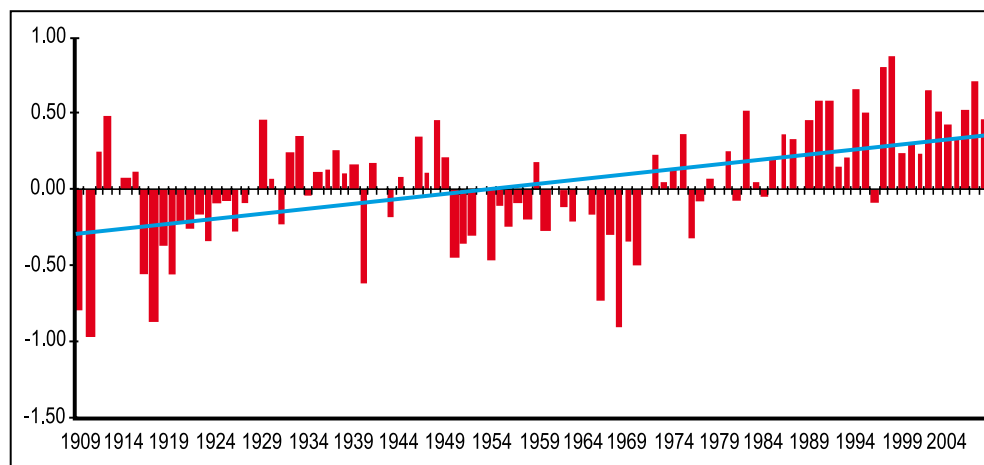


Figura 2.15. Anomalías anuales de la temperatura media anual en Casablanca relativas al período 1961-1990

2.3.3. CONSIDERACIONES GENERALES

Aun cuando las tendencias estimadas son significativas en el sentido estadístico, la representación de las variaciones observadas mediante el ajuste de una línea de tendencia es una aproximación, pues las mismas no constituyen un proceso monótono. Las variaciones multianuales que caracterizan a la serie de temperatura de Casablanca pudieron manifestarse también en la temperatura media anual de todo el país antes del año 1952.

Después del relativo enfriamiento en los años previos a la década de los '70, se produjo un brusco e intenso incremento que condujo a que se alcanzaran valores medios anuales muy altos después de 1990. No obstante, desde entonces se han producido variaciones interanuales de interés, asociadas a diferentes factores. La relativa disminución de la temperatura media superficial del aire en los años 1992 y 1993 puede ser debida a los efectos de la erupción del volcán Pinatubo, ocurrida a mediados de 1992. De hecho, esta señal, observada a escala global, se vinculó con los efectos de ese fenómeno (Nicholls *et al.*, 1995). Los altos valores alcanzados en los años 1997 y 1998 se vincularon al desarrollo del muy intenso evento ENOS 1997-1998. Una situación similar ocurrió en el año 2002.

Kawamura *et al.*, (1995), indicaron que los cambios decadales en la temperatura superficial sobre las zonas terrestres del Hemisferio Norte, y en particular, los observados en décadas recientes, son causados por el forzamiento de los océanos tropicales. Importantes variaciones multianuales se han producido en la temperatura del mar de los océanos Pacífico y Atlántico desde 1971 hasta el presente, caracterizados, de forma general, por un ligero calentamiento de las aguas ecuatoriales del Pacífico y un enfriamiento de las aguas tropicales del Atlántico, entre 1971 y 1994, aproximadamente, con un proceso inverso entre 1995 y 2008, dentro del cual se destacan las altas temperaturas anuales alcanzadas por el Mar Caribe desde 1998. La estabilización de la serie de temperatura media anual de Cuba a partir de 1990 pudiera estar influenciada por dichos cambios, pero esta hipótesis requiere de su comprobación.

2.3.4. CONCLUSIONES

Las evidencias observacionales muestran que desde mediados del siglo XX la temperatura superficial del aire en Cuba ha manifestado un incremento de 0,9 °C, con un importante punto de cambio a finales de los años 70. Para la estación de Casablanca, con registros disponibles desde la segunda década del presente siglo, el incremento es de 0,6 °C. Este incremento está, ante todo, condicionado por el ascenso de la temperatura mínima (1,9 °C).

Las tendencias de las series de temperatura parecen estar moduladas por variaciones en el rango de la escala multianual. Esto pudiera estar relacionado con las variaciones multianuales observadas en la temperatura superficial del mar en los océanos tropicales.

La existencia de variaciones multianuales soporta la idea de que las series temporales de temperatura superficial del aire en Cuba están muy lejos de seguir un patrón totalmente estable y que más bien reflejan una sucesión de estados con relativa estabilidad. Este aspecto debe ser profundamente considerado, fundamentalmente, en aquellas aplicaciones en que los aspectos de la variabilidad climática sean fundamentales.

En general, las variaciones observadas en la temperatura de Cuba, son consistentes con el incremento de la temperatura media superficial global que ha sido reportado en las últimas evaluaciones del IPCC (2007). La serie de la temperatura media anual de Casablanca indica que el calentamiento observado en las estaciones de serie larga se inició desde antes y se ha mantenido durante los últimos cien años, solo interrumpido por variaciones de carácter multianual, durante períodos limitados.

2.4. PRECIPITACIÓN

En Cuba como en la generalidad de la zona tropical se observan dos períodos pluviales fundamentales: el período poco lluvioso (noviembre-abril) y el período lluvioso (mayo-octubre). Esta forma de describir la estacionalidad en la zona tropical depende del comportamiento de la precipitación y no de la temperatura, y está fuertemente relacionada con las condiciones de circulación atmosférica y sus variaciones.

2.4.1. PRECIPITACIÓN ANUAL Y ESTACIONAL

La serie de valores anuales de precipitación para Cuba del período 1961-2007, no muestra una tendencia significativa estadísticamente. Sin embargo, revela que desde finales de la década de los años 70, coincidentemente con lo observado por Centella *et al.*, (1997), y con mayor importancia desde inicios de los años 90, se ha producido un ligero pero continuo aumento de las anomalías positivas (figura 2.16).

En términos generales, el ligero aumento en los valores anuales está condicionado fundamentalmente por las variaciones ocurridas en el período estacional poco lluvioso. En estos meses, a pesar del predominio de anomalías negativas en los últimos años, se ha producido una ligera tendencia al incremento, relacionada con una disminución, general en el país, de las anomalías negativas, lo que se observa desde mediados de la década del 70 hasta el presente (figura 2.17), y con el incremento en la magnitud de las anomalías positivas en la región central. Aunque las tendencias estimadas para cada uno de los meses de dicho período no resultaron significativas, el comportamiento descrito está fuertemente condicionado por las variaciones de los meses de noviembre y marzo, los cuales manifiestan las tendencias positivas más importantes.

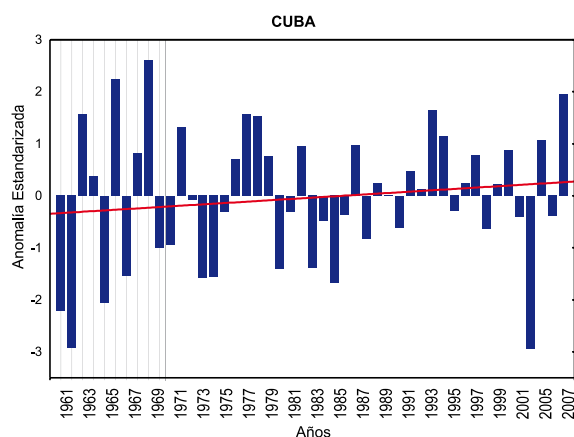


Figura 2.16. Anomalías de los totales anuales de lluvia en Cuba respecto al período 1971-2000

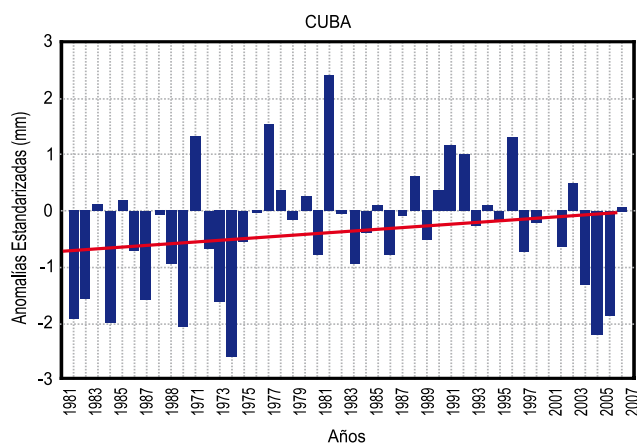


Figura 2.17. Anomalías de los totales del período poco lluvioso en Cuba respecto al período 1971-2000

En el período estacional lluvioso, los acumulados reflejan una gran variabilidad, con una ligera tendencia al incremento, que se asocia al aumento en la magnitud de las anomalías positivas desde mediados de la década del '90 hasta el presente (figura 2.18). Asimismo, los meses de mayo, julio, agosto y septiembre, después de un largo período con tendencia a la disminución de los acumulados de las lluvias, entre mediados de la década del '70 hasta mediados de la década del '90, comenzaron a incrementar las anomalías positivas, adquiriendo significación estadística la tendencia al incremento en el mes de septiembre.

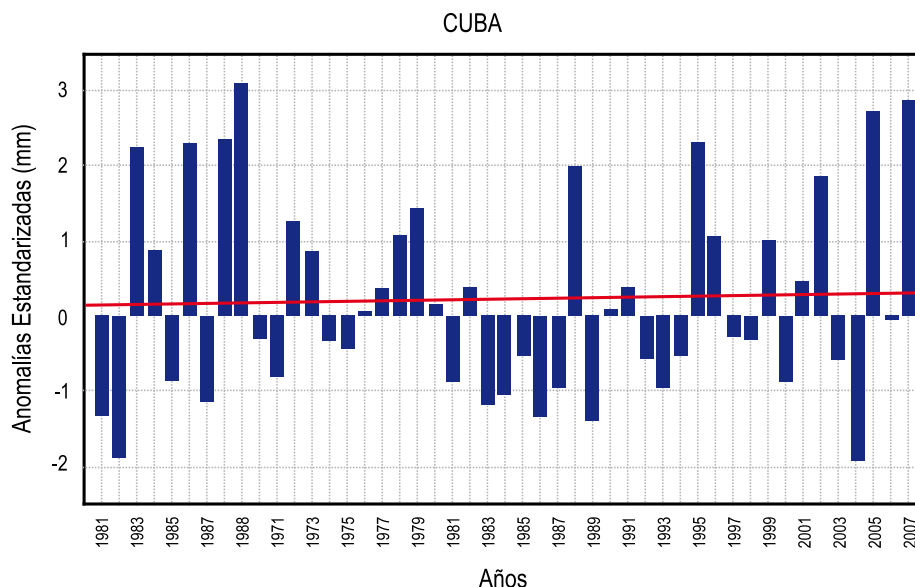


Figura 2.18. Anomalías de los totales del período lluvioso en Cuba respecto al período 1971-2000

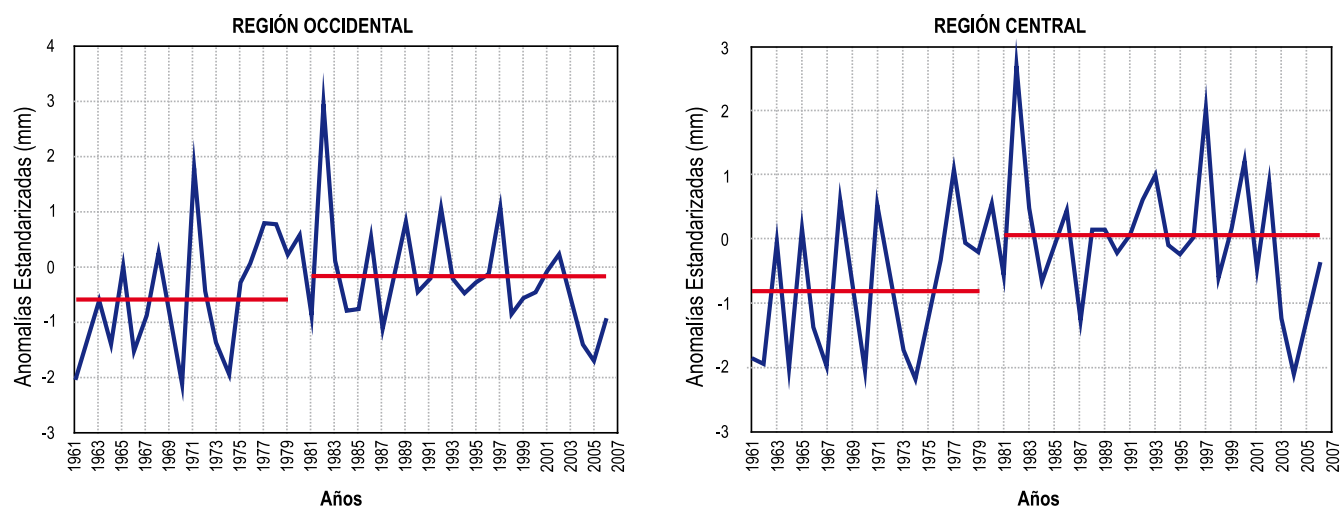
El aspecto más importante de las precipitaciones en el período lluvioso, es la tendencia a la disminución en la región oriental del país, la que desde la década de los años 90 ha mostrado significativos déficit en los acumulados de precipitación, así como al aumento de las anomalías positivas en las regiones occidental y central.

Coincidiendo con las tendencias descritas, al comparar los acumulados de lluvia del período 1961-1979 con los de décadas más recientes (tabla 2.1), se observa que se han producido cambios importantes en la distribución de frecuencia de las anomalías de precipitación de uno a otro período, que son coincidentes con lo observado por Fonseca en el 2008. En el período poco lluvioso (noviembre-abril), predominan los valores medios negativos entre 1961-1979, mientras que la tendencia en las décadas recientes es a valores positivos y una reducción del rango de variación de las magnitudes medias y un incremento de las anomalías positivas extremas. En consecuencia, existe un cambio en los valores medios y en la varianza en las décadas posteriores a la del '70, con respecto al período 1961-1979.

Las diferencias entre los valores de la media y de la mediana en el período poco lluvioso del año, confirman las tendencias y el incremento de las anomalías extremas del primer al segundo período, principalmente en la parte occidental y central del país. Este hecho se asocia a una mayor frecuencia de afectación de los eventos ENOS en esta época del año. La figura 2.19, donde se muestran las anomalías del período estacional poco lluvioso y el valor de la mediana correspondiente para los períodos 1961-1979 y 1980-2007 para las regiones Occidental y Central, explica y confirma también las tendencias estimadas.

Tabla 2.1. Parámetros estadísticos descriptivos de las series estacionales de precipitación del período 1961-1979 y 1980-2007

PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	CUBA		OCCIDENTE		CENTRO		ORIENTE	
Período poco lluvioso								
Media	- 0,68	- 0,11	- 0,58	- 0,17	- 0,81	0,05	- 0,44	- 0,15
Mediana	- 0,67	- 0,10	- 0,59	- 0,27	- 0,67	0,03	- 0,71	- 0,15
Desviación Estándar	2,15	0,96	2,09	0,94	2,07	2,02	2,22	2,03
Varianza	2,33	0,92	2,19	0,88	2,14	2,05	2,48	2,07
Período lluvioso								
Media	0,46	0,07	0,21	0,16	0,29	0,07	0,80	- 0,06
Mediana	0,38	- 0,30	0,03	- 0,07	0,00	- 0,27	0,47	- 0,29
Desviación Estándar	2,41	2,30	2,26	2,25	2,26	2,24	2,68	2,24
Varianza	2,00	2,69	2,59	2,56	2,58	2,53	7,19	2,53
Anual								
Media	- 0,08	- 0,01	- 0,16	0,05	- 0,17	0,08	0,19	- 0,11
Mediana	- 0,08	0,07	- 0,44	0,10	- 0,19	0,01	- 0,24	- 0,18
Desviación Estándar	2,65	2,07	2,37	2,04	2,59	2,12	2,05	2,17
Varianza	2,71	2,14	2,88	2,08	2,52	2,25	4,21	2,36

**Figura 2.19.** Anomalías de precipitación del período lluvioso para la región occidental (izquierda) y la región central (derecha) y valor de la mediana (línea roja), correspondiente a los períodos 1961-1979 y 1980-2007

En el período lluvioso del año, a pesar de la tendencia general observada, la distribución de las anomalías de precipitación deja ver un cambio en los valores medios durante las décadas recientes, pero con una tendencia al predominio de anomalías medias negativas (figuras 2.20 y 2.21). Este comportamiento implica una reducción del rango de variación de los valores medios caracterizados por el 25 y el 75 percentil, a pesar de no mostrar significación estadística. Lo más revelador en este período del año, es el incremento de la variabilidad y los valores extremos en la región central y la brusca disminución de la variación en la región oriental. Este hecho puede estar

estrechamente relacionado con modificaciones en el comportamiento de los procesos que originan las lluvias en cada región del país (Fonseca, 2008).

La fluctuación observada en la precipitación a mediados de la década de los años 70 está relacionada con el cambio ocurrido en la circulación atmosférica sobre el Pacífico, América del Norte (Trenberth, 1990) y el Caribe (Naranjo y Centella, 1996). El amplio calentamiento del Pacífico y el incremento en la frecuencia e intensidad del evento ENOS (Wang, 1995), pueden ser las causas de tal comportamiento; sobre todo en el período poco lluvioso, para el cual los efectos del ENOS se traducen en un incremento de los acumulados de lluvia.

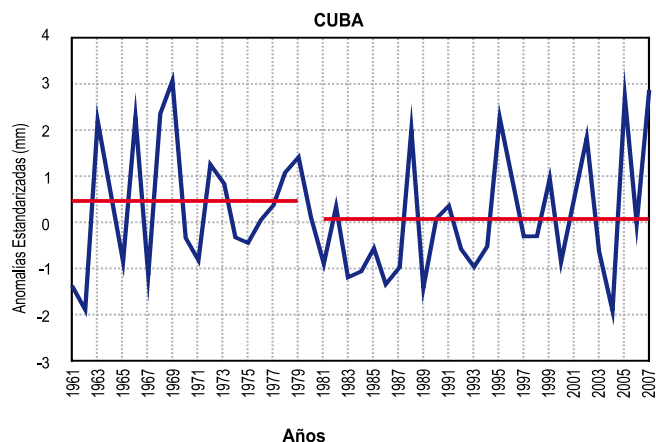


Figura 2.20. Anomalías de precipitación del período lluvioso para Cuba y valor de la mediana (línea roja), correspondiente a los períodos 1961-1979 y 1980-2007

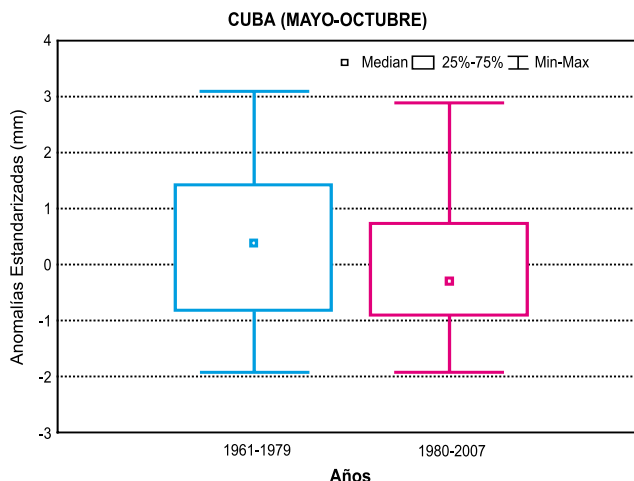


Figura 2.21. Distribución de frecuencia de las anomalías estandarizadas de lluvia en Cuba para el período lluvioso

Importantes resultados obtenidos por Graham (Kawamura *et al.*, 1995) sugieren que, asociado al calentamiento de la troposfera, después de 1970 se produjo una intensificación en el ciclo hidrológico, que podría estar forzada por el comportamiento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en los océanos tropicales. El calentamiento de la troposfera baja ha continuado en el entorno de Cuba, lo que pudo influir en el comportamiento de las precipitaciones sobre las regiones occidental y central del país, incentivando los procesos sinópticos favorables a los incrementos anteriormente descritos. Al respecto, debe agregarse que las variaciones ocurridas en la afectación a Cuba por los ciclones tropicales en las últimas décadas influyeron de manera importante en las fluctuaciones observadas en las precipitaciones, principalmente en las regiones antes mencionadas.

2.4.2. GRANDES PRECIPITACIONES

Entre los fenómenos meteorológicos peligrosos, las precipitaciones intensas constituyen uno de los más frecuentes en Cuba. Se conoce la ocurrencia de eventos de grandes inundaciones en siglos pasados, los que se distinguen por los daños provocados y el número de víctimas ocasionados.

Se consideran como Grandes Precipitaciones (GP) aquellas en que se acumulan 100 mm o más de lluvia, en una localidad durante 24 horas o menos. Su ocurrencia está fuertemente determinada por la combinación que se produce entre las circulaciones

atmosféricas, a diferentes escalas espaciales y los factores físico-geográficos que, por lo general, se relacionan con la aparición de determinados patrones de circulación sobre Cuba. Desde la óptica hidrológica, las grandes precipitaciones se relacionan con la generación de significativos procesos fluviales, y se conceptúan como tal, las lluvias que mantienen una intensidad elevada y sostenida durante intervalos de tiempo superiores al de la concentración promedio de las cuencas enclavadas en un área, que abarcan grandes extensiones y que provocan crecidas notables y simultáneas en una región (Planos 1991, 1997).

Alfonso y Florido (1992), lograron describir 12 configuraciones de circulación básicas vinculadas a las GP, en las que solo dos describen mecanismos de origen netamente tropical, las ondas tropicales y los ciclones tropicales. En el resto, predominan mecanismos de interacción entre el trópico y las latitudes medias, entre los cuales se destacan, por su importancia, los frentes fríos, los frentes cuasiestacionarios y la extensión de ondas de latitudes medias y altas en los trópicos. La posición y la configuración del archipiélago cubano desempeñan un papel importante en las características de la distribución espacio-temporal de las grandes precipitaciones sobre dicho territorio.

Alfonso *et al.*, (1997), expresaron que en el análisis de las series temporales de días con GP no se habían observado tendencias significativas a largo plazo. Agregaron, además, que cuando se vinculó la ocurrencia de GP al predominio de las configuraciones de circulación, se observaron tendencias importantes en el comportamiento de tres de ellas. Al respecto, indicaron que la ocurrencia de estas precipitaciones asociadas a los frentes fríos clásicos y a las ondas tropicales, mostraban una tendencia positiva significativa, mientras que aquellas asociadas a la ocurrencia de ciclones tropicales manifestaban una definida tendencia negativa entre 1970 y 1995; aunque esta última era particularmente notable a partir de 1977. Se señaló que un aspecto interesante era la ocurrencia de valores extremos significativos en las GP en el período 1977-1990.

Con relación al ENOS, dichos autores afirmaron que los años bajo la influencia de este evento durante el período 1965-1990, presentaron un notable incremento en el número de días con GP, con un promedio de 110 días y un valor máximo de 124 en el año 1972. Añadieron que a los ENOS intensos se asocian GP relacionadas con bajas extratropicales en el Golfo de México (en 1983 se llegó a 16 casos) y una notable ausencia de las precipitaciones debidas a ciclones tropicales. Así como los ENOS más débiles mostraban estas características más atenuadas, con un incremento de GP por frentes cuasiestacionarios, ondulaciones en la corriente del Oeste y ondas tropicales.

Recientemente, Planos *et al.*, (2005), señalaron la existencia de diferencias en las tendencias observadas en los registros de las GP entre las regiones de Cuba, al tener en cuenta lo que definieron como Mecanismos de Interacción Trópico – Latitudes Medias (frentes fríos, frentes cuasiestacionarios y bajas extratropicales). Así, mientras en la región occidental - central se observaba un incremento de las láminas de lluvia superiores a 100 mm hasta el año 1983 y una disminución a partir de ese año; en la región oriental se viene manifestando un descenso continuo de estos registros. Dichos autores también expresaron que en los eventos de GP debidos a los Mecanismos Tropicales No Ciclónicos, grupo en el que prevalecen las ondas tropicales como generadoras de las grandes lluvias, se ha observado un incremento de las lluvias producidas por este tipo de mecanismo en la región occidental-central que mantiene una tendencia ascendente en todo el recorrido de la serie cronológica, la que comprende el intervalo 1965-1990, mientras que en la región oriental se manifiesta un comportamiento contrario. Respecto de los mecanismos ciclónicos, expresaron que una variación de la actividad

ciclónica sobre Cuba tendría una repercusión relevante en el comportamiento de la lluvia en el país, principalmente en la región Cuba Occidental y Central, donde existe un vínculo estrecho entre la pluviosidad del año y las lluvias de tipo ciclónico. De manera general, los años de mayor pluviosidad son aquellos en los que se han registrado lluvias de origen ciclónico; pero, un resultado posterior (Planos *et al.*, 2010) demostró que las GP influyen en la pluviosidad del año y no en la tendencia.

Otro elemento importante en el análisis de la variabilidad de los GP aportado por Planos *et al.*, (2005), por sus implicaciones prácticas, es el modelado probabilístico de las series de lluvias de valores máximos absolutos anuales. Al modelar las series comprendidas entre los años 1930 - 1990 y de tres períodos de 20 años (1930-1950, 1950-1970, 1970-1990), de tres zonas del país, utilizando para esto la función de distribución Gumbel, obtuvieron el resultado que se muestra en la tabla 2.2 para la lámina de 100 años de período de retorno.

Tabla 2.2. Lámina de lluvia (en mm) de 100 años de período de retorno

ÁREA	SERIE 1930-1990	SUB-SERIE 1930-1950	SUB-SERIE 1950-1970	SUB-SERIE 1970-1990
Centro Este de la Llanura Habana-Matanzas	297	323	218	392
Sureste de Cienfuegos	509	701	274	634
Noreste de Holguín	341	233	671	334

Planos *et al.*, (2005), calcularon también la distribución de probabilidades ajustada a las series antes descritas, cuyas curvas se muestran en las figuras 2.22, 2.23 y 2.24. En estos gráficos se destaca como la magnitud de las láminas de lluvia de un período de retorno dado, varía con el transcurso del tiempo entre las subseries construidas con idénticos equipos para una misma localidad. Por ejemplo, los valores máximos de lluvia en 24 horas disminuyeron en los últimos años en el noreste de Holguín, mientras que en la Llanura Habana Matanzas aumentaron ligeramente y en el sureste de Cienfuegos el incremento fue significativo, como consecuencia de un suceso pluvial de 867 mm en 24 horas. Sin embargo, los autores expresaron que de no haber ocurrido tal fenómeno excepcional en esa zona también hubieran disminuido las láminas extremas de lluvia.

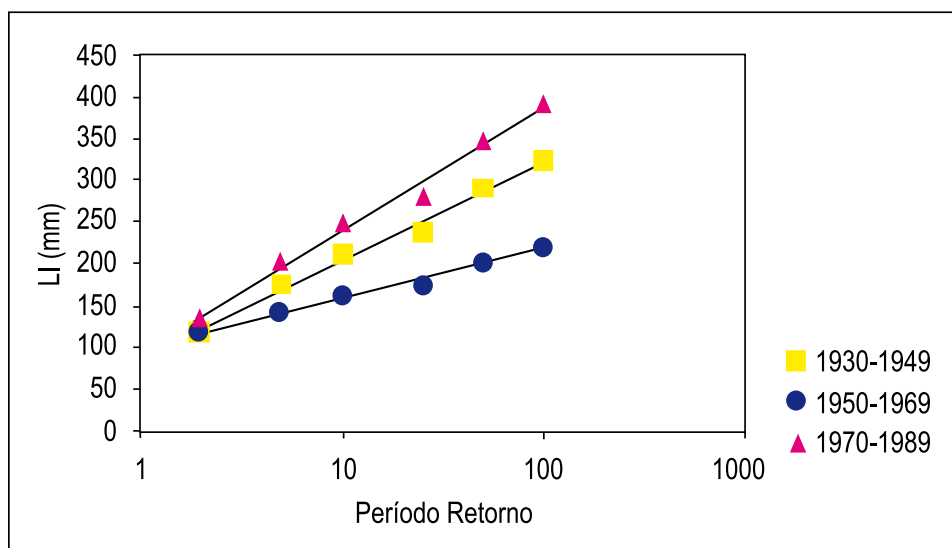


Figura 2.22. Curvas de distribución de probabilidades Llanura Habana-Matanzas

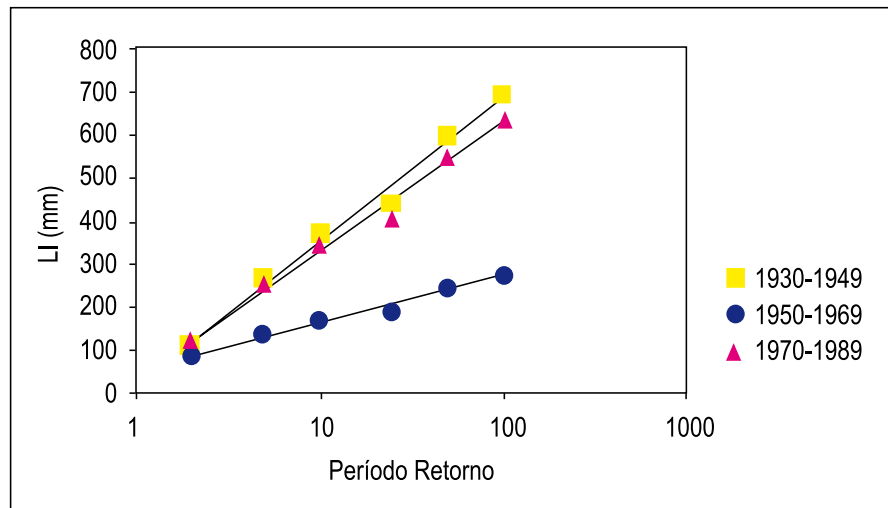


Figura 2.23. Curvas de distribución de probabilidades sureste Cienfuegos

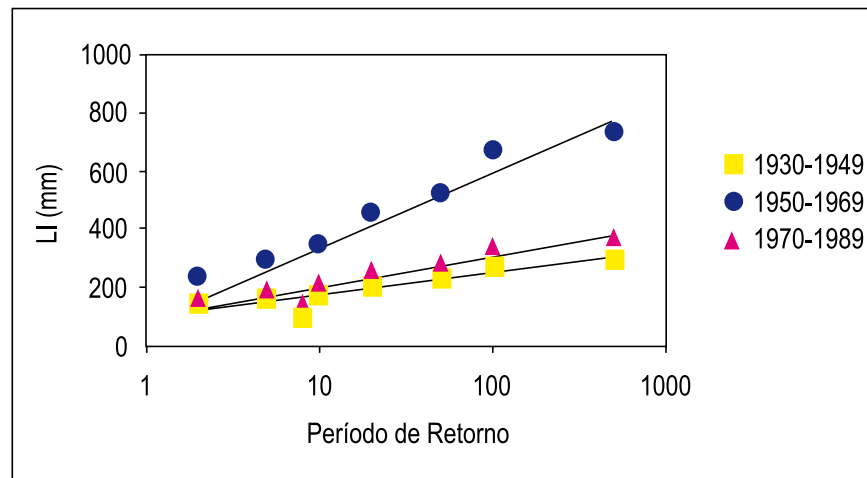


Figura 2.24. Curvas de distribución de probabilidades noreste Holguín

Planos *et al.*, (2005), concluyeron que los resultados presentados en la tabla 2.2 y las curvas de probabilidades no eran concluyentes, por varias razones. En primer lugar, porque los valores máximos absolutos están muy influidos por la forma como se haga el muestreo estadístico para construir las series. En segundo lugar, por los tipos de sistemas meteorológicos que en cada región son responsables de las láminas de lluvia máximas absolutas y como éstos interactúan con los factores físico geográficos, principalmente el relieve, y en tercer lugar, por la extensión de los registros, que frecuentemente no es suficiente para muestrear la variabilidad intrínseca de los valores máximos de los elementos climáticos. A tal efecto señalaron que en la tabla 2.2 se puede observar que las subseries 1930-1949 y 1970-1989 tenían comportamientos similares, por lo cual no era posible hablar a priori de cambios significativos en los últimos años.

Los resultados descritos con anterioridad, alcanzados a partir de diferentes enfoques, muestran la interconexión entre la variabilidad de los eventos de GP y los mecanismos de la circulación de la atmósfera y sus variaciones.

2.4.3. CONCLUSIONES

La serie de valores anuales de precipitación para Cuba del período 1961-2007, no muestra una tendencia significativa estadísticamente. Sin embargo, revela que desde finales de la década de los años 70, se ha producido un ligero pero continuo aumento de las anomalías positivas. Este comportamiento está condicionado por las variaciones en las regiones occidental y central del país, que manifiestan tendencias positivas.

La tendencia al aumento de las precipitaciones en el período estacional poco lluvioso, se relaciona con una disminución en la magnitud de las anomalías negativas desde mediados de la década del 70 hasta principio de los años 2000. Sin embargo, las diferencias entre los valores de la media y la mediana, reafirman el incremento de las anomalías extremas, principalmente en la parte occidental y central del país. Este hecho está asociado a una mayor frecuencia de afectación de los eventos ENOS en este período del año.

El aspecto más importante de las precipitaciones en el período lluvioso en Cuba, es el relacionado con la disminución en la región oriental, la que desde la década del '90 ha manifestado significativo déficit en los acumulados de precipitación. Esta variación es una de las más preocupantes variaciones observadas en el clima de Cuba en las últimas décadas. Por el contrario, se observó una tendencia al aumento de las anomalías positivas en las regiones occidental y central,

Las tendencias observadas, principalmente en el período lluvioso, se asocian con una reducción del rango de variación de los valores medios y sus anomalías, caracterizadas por el 25 y el 75 percentil. Sin embargo, la reducción de los acumulados de lluvia en la región oriental se corresponde en buena medida a la más frecuente ocurrencia de procesos de sequía meteorológica durante los últimos años en dicha región.

En lo referente a los eventos de grandes precipitaciones se ha confirmado la diferencia existente en las tendencias entre cada una de las configuraciones y las regiones del país. Al respecto lo más importantes resultan ser los incrementos asociados con las configuraciones relacionadas con la interacción trópico-latitudes medias y tropicales no ciclónicas, con la excepción de la región oriental; y que se demostró la influencia de estas precipitaciones en la pluviosidad de un período y no en la tendencia de las series.

2.5. LOS PROCESOS DE SEQUÍA

La sequía es uno de los eventos climáticos más nocivos que la humanidad ha enfrentado tradicionalmente. En los últimos decenios su acrecentada influencia ha dado lugar a que se le considere como uno de los mayores desastres naturales, el más frecuente y persistente, de mayores efectos negativos para la producción agrícola, dejando secuelas dramáticas en numerosos países. Aunque no existe una definición única para el fenómeno de la sequía, el Glosario Meteorológico Internacional (O.M.M., No. 182, 1992) la define como: *“un período de condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico”*.

El fenómeno de la sequía, también ejerce un papel determinante en el ciclo hidrológico y en particular sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos, la conservación de las reservas de agua y las características del manejo y explotación de este recurso. En Cuba, estos nocivos episodios climáticos han tenido consecuencias

muy perjudiciales para la producción agropecuaria y la conservación de los suelos, los que en zonas costeras y semiáridas experimentan importantes síntomas de salinidad y desertificación; lo cual ha obligado a tomar soluciones emergentes en las áreas afectadas, relacionadas con el abasto, el riego y la generación de energía.

2.5.1. SEQUÍAS EN CUBA

Los procesos atmosféricos que conducen a la sequía son sumamente complejos. Hare, 1993, muy acertadamente vincula sus orígenes más inmediatos a *“la escasez de humedad atmosférica, la insuficiencia de sistemas generadores de lluvia, la persistencia de una fuerte subsidencia, o bien la combinación de algunos de estos factores”*, cuyas causas deben ser estudiadas, sin dudas, en el contexto de la circulación general de la atmósfera.

En Cuba, como consecuencia de *“un elevado nivel de respuesta de la circulación atmosférica regional a los principales cambios del Sistema Climático ocurridos a escala global”* (Centella et al., 1997), se han detectado importantes alteraciones desde finales de los años 70, plenamente coincidentes con las significativas modificaciones de carácter global que se han producido en las temperaturas del aire y del mar en superficie, así como con una marcada polaridad en la frecuencia de ocurrencia de las fases cálidas y frías de los eventos ENOS antes y después de esos mismos años. En correspondencia con lo anterior, importantes variaciones en el régimen anticiclónico sobre la región, producto de la progresiva intensificación de la dorsal anticiclónica del Atlántico, han sido comprobadas por Brenes y Saborío, 1993, Naranjo y Centella, 1999 y Fonseca, 2002. Este es un proceso que desfavorece los mecanismos productores de precipitación, básicamente durante el período estacional lluvioso.

En los estudios realizados sobre la sequía en Cuba por Lapinel et al., 1993, utilizando como referencia 30 estaciones pluviométricas de largos registros, el examen de las normales climatológicas reglamentarias de las lluvias (1931-1960 y 1961-1990) mostró que la frecuencia de años con sequías moderadas y severas se duplicó en el segundo treinteno en relación con el primero. Así mismo, se pudo apreciar una disminución de los acumulados anuales del primer al segundo período en un orden del 10%, concentrándose básicamente, en los meses del período lluvioso.

Severos períodos de sequía afectaron distintas regiones del país durante el treinteno 1961-1990, destacándose los acaecidos entre los años 1960-1963, 1967-1969, 1974-1976 y 1983-1986. Dando continuidad a estos sucesos, los eventos de los veranos de 1993, 1994, 1998 y 2000 fueron muy notables, aunque en esta década lo más significativo se relacionó con los persistentes déficits ocurridos en las provincias orientales, que se desarrollaron y prolongaron hasta alcanzar el extraordinario evento de sequía sucedido entre el 2003 y 2005, progresivamente extendido por todo el país. Una representación gráfica de los principales déficits en los acumulados de las lluvias ocurridos en los períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso para cada una de las provincias del país se muestra en las figuras 2.25 y 2.26

Durante los años 2006, 2007 y 2008, la alta actividad ciclónica ocurrida en la región, favoreció de forma directa o indirecta el incremento de los totales anuales de lluvia en Cuba, incluyendo a la región oriental, que presentó en el año 2007 uno de los acumulados más altos desde 1961, como consecuencia del impacto de la tormenta tropical Noel. Sin embargo, estas circunstancias no impidieron la aparición de eventos de sequía de corta duración. En particular el país se vio sometido a una gran tensión

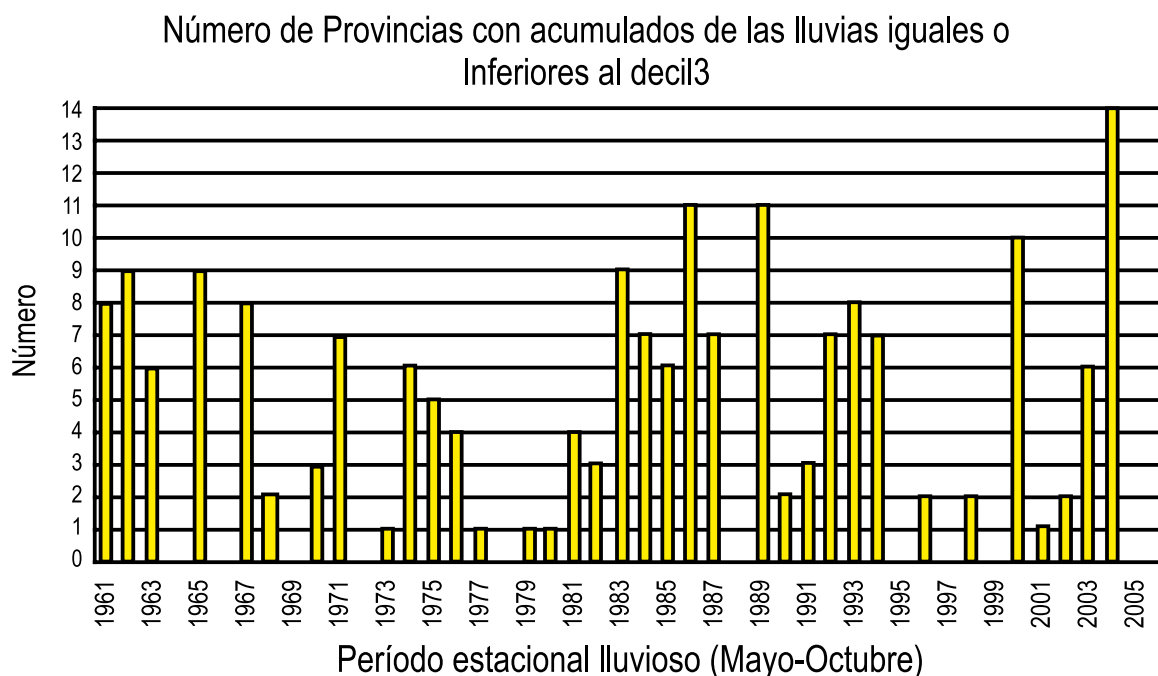


Figura 2.25. Número de provincias afectadas por déficit en los acumulados de las lluvias, iguales o inferiores al rango decil 3 en los períodos estacionales lluviosos (mayo-octubre) comprendidos entre 1961-2006

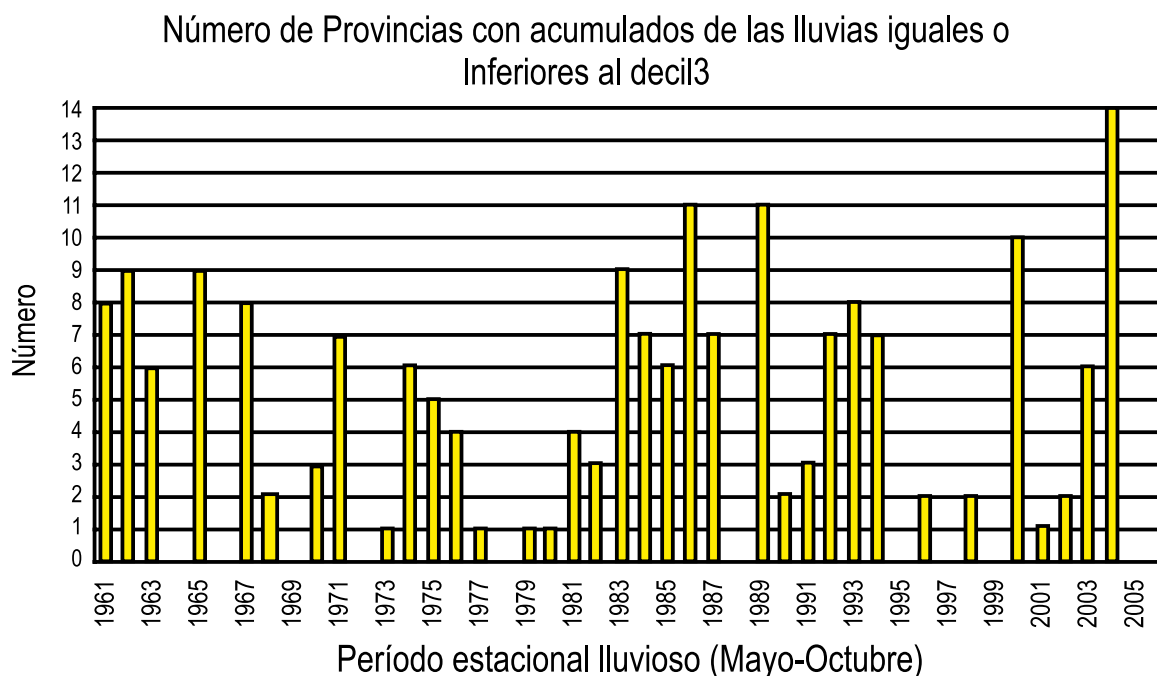


Figura 2.26. Número de provincias afectadas simultáneamente por déficit en los acumulados de las lluvias, iguales o inferiores al rango decil 3 en los períodos estacionales poco lluviosos (noviembre-abril) comprendidos entre 1961 y el 2007

durante el año 2008, hasta tanto se produjo el impacto del huracán Gustav, que provocó la interrupción de un importante suceso de sequía que se encontraba en evolución.

Estudiando las causas de los procesos de sequía más recientes, Lapinel *et al.*, (2006 y 2007 a y 2007 b), destacaron la persistente y progresiva influencia de condiciones anticiclónicas en la región, básicamente sobre los 700 hPa (tabla 2.3), circunstancias que propician un acentuado descenso de aire desde niveles troposféricos superiores y condiciones desfavorables para los procesos de lluvia. Las características de tales movimientos troposféricos verticales en los últimos treintenios (figura 2.27) y la estrecha relación entre el comportamiento de Omega y las lluvias sobre la mitad oriental de Cuba (figura 2.28), son confirmadas mediante los perfiles verticales correspondientes.

Tabla 2.3. Altura en metros geopotenciales de las superficies de presión en el área 20-25 ° N y 80-85 ° W

PERÍODOS	1000 hPa	925 hPa	850 hPa	700 hPa	500 hPa	300 hPa	200 hPa
51/80	132,354	816,098	1 545,01	3 176,47	5 877,37	9 671,68	12 395,20
61/90	135,455	819,10	1 547,86	3 179,25	5 880,06	9 674,57	12 398,20
71/00	136,064	819,997	1 549,08	3 181,25	5 883,20	9 679,18	12 403,80
81/09	134,984	819,383	1 548,99	3 182,57	5 886,56	9 686,23	12 413,50

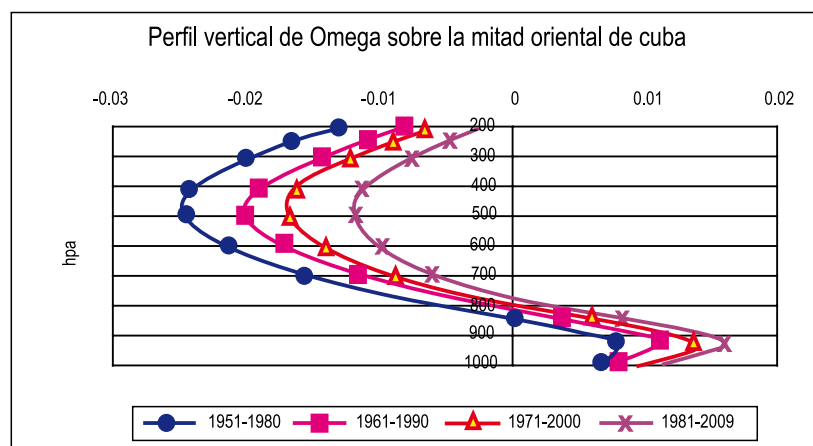
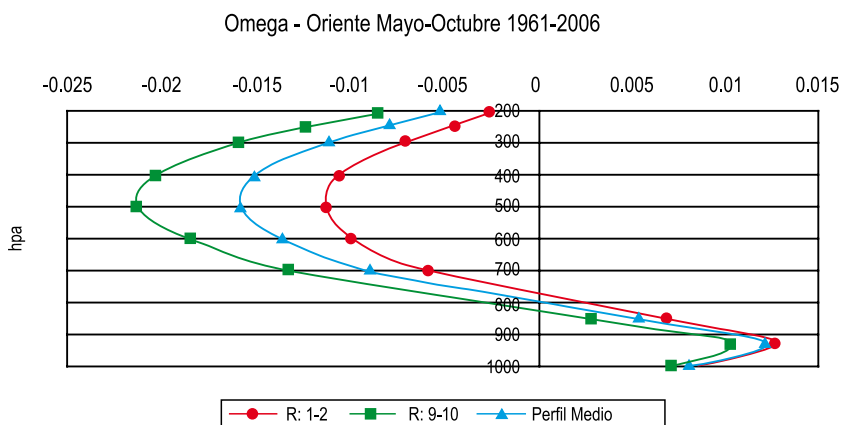


Figura 2.27. Variaciones de Omega (dp/dt) por treintenios en el área 20-25° N y 75-80° W. Período estacional lluvioso (mayo-octubre)

Figura 2.28. Perfil vertical de Omega (dp/dt) durante períodos estacionales lluviosos (mayo-octubre) con comportamientos extremos y medio (expresados en deciles) en el área 20-25° N y 75-80° W



Las tendencias de Omega anteriormente descritas, revela que las mismas son estadísticamente significativas y precisan que el proceso es más acentuado durante el período estacional lluvioso y sobre la mitad oriental de Cuba. Estas características de Omega en los años más recientes, sin dudas, reflejan las alteraciones ocurridas en los patrones de circulación atmosférica regional, las cuales como se ha expresado, son una respuesta a cambios en el sistema climático global. Al respecto, Lapinel *et al.*, (2006 y 2007 a y 2007 b), también señalaron que el incremento de las anomalías positivas observadas en las alturas de las superficies de presión, principalmente sobre la mitad oriental del país, han estado estrechamente asociadas al reforzamiento de la cuña anticiclónica oceánica en los niveles troposféricos bajos y medios, así como la mayor frecuencia y persistencia del anticiclón mexicano en la troposfera alta, en interacción con desplazamientos hacia el oeste de la vaguada superior de la troposfera tropical (TUTT). Estos procesos han favorecido una sensible y persistente disminución de los movimientos verticales ascendentes y un fortalecimiento de los descendentes sobre dicha área, según fue expresado con anterioridad. Es también de interés señalar la importancia de estos mismos procesos en el comportamiento de la llamada sequía intraestival.

En relación a la influencia de los ciclones tropicales sobre Cuba, Lapinel *et al.*, 2003 y 2006, señalaron que la gran variabilidad en frecuencia, trayectorias y características de la pluviosidad de los distintos sistemas ciclónicos que afectan el archipiélago cubano, hacen sumamente compleja la tarea de vincular los mismos al fenómeno de la sequía. No obstante, no cabe dudas que los procesos sinópticos relacionados con los ciclones tropicales juegan un gran rol en el aporte al acumulado anual de las lluvias, por lo que de no estar presentes, generan un déficit de consideración que puede contribuir con el desarrollo del fenómeno de la sequía en sus diferentes escalas y espacios-temporales. En este sentido, estos autores coinciden con Planos (1991).

Tal como se expresó en el epígrafe anterior, los valores anuales de precipitación para Cuba del período 1961-2007, no muestran una tendencia significativa estadísticamente, pero revelan que desde finales de la década de los '70, se ha producido un ligero aumento de las anomalías positivas. Sin embargo, este comportamiento no ha impedido el incremento de la frecuencia de los eventos de sequía. Aun más, el incremento de la frecuencia de la afectación de los ciclones tropicales sobre Cuba, y los eventos de grandes precipitaciones a ellos asociados, ha propiciado que la ocurrencia de importantes eventos de sequía coincida con eventos de grandes precipitaciones en un mismo año. Como ejemplo puede tomarse el año 2004, durante el cual transcurrió uno de los eventos de sequía más intenso y duradero que se conozca (mayo 2003-mayo 2005) mientras dos huracanes intensos afectaban al país. A su vez, dicha sequía finalizaba en junio del 2005 con el inicio de un temporal de lluvias abundantes, mientras en julio, un fuerte huracán afectaba al país.

2.5.2. CONCLUSIONES

Los eventos de sequía registraron un significativo incremento de su frecuencia de ocurrencia en el período 1961-1990 con respecto al 1931-1960. Tal incremento ha mantenido su continuidad en los persistentes eventos de sequía que afectaron la mitad oriental del país desde principios de los años 90 y hasta el presente, incluyendo el gravísimo evento acaecido desde mayo del 2003 a mayo del 2005.

Las sequías también registraron un aumento considerable en el número de casos extremos, incluyendo el extraordinario evento 2003-2005. Este comportamiento está

vinculado al reforzamiento de la influencia anticiclónica sobre Cuba en los niveles medios y altos, al que se vincula una fuerte tendencia al incremento de los movimientos verticales descendentes de la atmósfera.

Todos estos elementos confirman la imperiosa necesidad de prestar cuidadosa atención a los reiterados y nocivos eventos de sequía, que combinados con las altas tasas de evaporación originan el agotamiento de los suelos y la disminución de las reservas de agua subterráneas. Las fuertes tensiones que esto ocasiona sobre la vegetación y el medio ambiente en general, incluida la sociedad, se agravan mucho más cuando, en ocasiones, las sequías son interrumpidas por episodios de lluvias torrenciales.

2.6. TORMENTAS LOCALES SEVERAS

Las tormentas eléctricas intensas y destructoras se conocen desde un pasado remoto, existen evidencias de que los aborígenes cubanos nombraban indistintamente como Huracán a los Ciclones Tropicales y a los Tornados producidos por Tormentas Locales Severas (TLS). Estos sistemas tienen en general un carácter local y los daños que producen suelen ser cuantiosos en áreas reducidas, de modo que sus efectos sobre la economía se hacen más evidentes cuando se les analiza de conjunto. Su impacto puede ser muy significativo en todo el país.

En Cuba, una tormenta eléctrica se clasifica como TLS cuando presenta uno o varios de los siguientes fenómenos (Alfonso, 1994):

- Tornados.
- Rachas destructoras de más de 25 m/s.
- Granizos.
- Trombas Marinas.

Se considera un día con TLS cuando se reporta al menos una en el país, mientras que se considera Brote de TLS cuando se reportan tres o más tormentas en el mismo día.

Las investigaciones sistemáticas de las TLS se iniciaron por el Instituto de Meteorología en 1978. En la actualidad se cuenta con una amplia cronología que recoge los datos conocidos desde 1784 (Alfonso, 1994). No obstante, cuando se trata de analizar diferentes aspectos de la variabilidad climática de las TLS, es necesario restringirse al período posterior a 1980, debido a que es en éste donde se garantizan niveles adecuados de homogeneidad y calidad en las series.

2.6.1. TORMENTAS LOCALES SEVERAS

Alfonso *et al.*, (1997), al analizar las frecuencias anuales de las TLS, encontraron solo una pequeña tendencia al incremento en los años comprendidos entre 1982 y 1985. Estos autores afirmaron que dicha tendencia no era significativa y que estaba vinculada a la notable mejoría ocurrida en los sistemas de detección durante los últimos años. Para ellos, la mejor presunción era asumir que no se observaban tendencias importantes en dicho período. Más recientemente, Aguilar y Carnesoltas (2008), abordaron esta temática con diferentes fines a los de Alfonso (1994), pero actualizaron la cronología hasta el presente y obtuvieron resultados de interés para la presente evaluación.

La nueva base de datos de *TLS*, incluye los reportes validados desde 1980, con actualización sistemática. Con esta valiosa información se analizaron los días con reportes de cada localidad conjuntamente con las situaciones de los campos de las variables meteorológicas en los diferentes niveles de la troposfera a escala sinóptica. Aguilar y Carnesoltas (2008), analizaron la frecuencia anual de las *TLS* y no encontraron una tendencia significativa en los últimos 29 años (figura 2.29).

Total de TLS por años para el período 1980-2007.

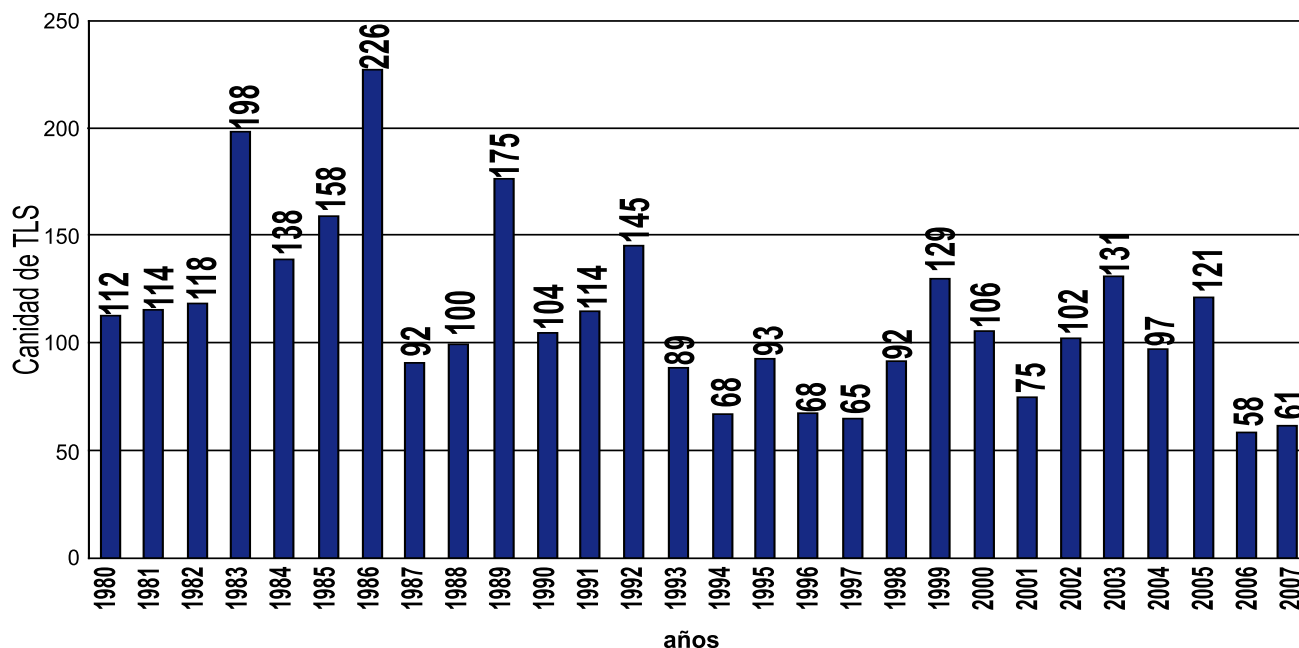


Figura 2.29. Distribución del total de las Tormentas Locales Severas por años en el periodo 1980-2007

2.6.2. CONCLUSIONES

Los análisis realizados hasta el presente no permiten establecer la existencia de una clara tendencia en la ocurrencia y magnitud de las tormentas locales severas en Cuba.

En la primera evaluación de la variabilidad y cambios del clima en Cuba, se afirmó que los brotes más intensos y destructivos habían ocurrido durante la década de los '80. La actualización realizada posteriormente indica una disminución de la actividad de *TLS* desde la década de los 90.

2.7. HURACANES

La forma más dramática en la que las variaciones climáticas afectan a la sociedad es a través de los eventos extremos. Los recientes y notables impactos de los ciclones tropicales alrededor de todo el mundo, entre los que se incluyen las temporadas ciclónicas del Océano Atlántico en los años 2004 y 2005, conmovieron a la opinión pública mundial y a la comunidad científica dedicada al estudio de dichas tormentas. Las recientes décadas han sido testigos del incremento de los daños económicos y de las pérdidas de vida debido al golpe de los ciclones tropicales. En parte, esta triste realidad es consecuencia del aumento de la vulnerabilidad y del incremento de la población, principalmente en zonas costeras.

Debido a lo antes expresado, durante los últimos años las investigaciones relativas a la variabilidad y la posible influencia del cambio climático sobre la actividad ciclónica se han incrementado notablemente. Sin embargo, la gran variabilidad multianual y la calidad de las series históricas de los ciclones tropicales, anteriores a la entrada en operaciones de los satélites meteorológicos, complican la detección de las tendencias a largo plazo. Numerosos esfuerzos se han realizado en la dirección de mejorar las series climáticas de los huracanes, entre los que sobresale el proyecto "*The Atlantic Hurricane Database Re-analysis*". Recientemente culminó un estudio, cuyo objetivo era confeccionar una nueva cronología de los ciclones tropicales que han afectado a Cuba (Pérez Suárez *et al.*, 2000 y 2006), que sirviera de base para actualizar los conocimientos sobre la climatología de los ciclones tropicales, su variabilidad y los factores que la regulan. Dicha cronología abarca el período 1791-2008 para los huracanes.

2.7.1. ACTIVIDAD CICLÓNICA EN EL OCÉANO ATLÁNTICO NORTE

Las condiciones de gran escala para la formación de los ciclones tropicales fueron bien establecidas tras décadas de investigación. Tales condiciones se pueden resumir en altas temperaturas del mar, bajos valores de la cizalladura vertical del viento y altos valores de la vorticidad relativa en la troposfera baja.

Los resultados de numerosos estudios indican que la gran variabilidad interanual de la actividad ciclónica en el Océano Atlántico obedece a la interacción de un conjunto de factores, entre los que se destacan: el movimiento del anticiclón subtropical y la zona intertropical de convergencia; las bajas presiones en superficie y las altas temperaturas superficiales del mar en el Atlántico, asociadas a un mayor número de CT; la ocurrencia de fuertes eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que inhiben la formación de ciclones tropicales en el Océano Atlántico y la existencia de la fase Oeste en la oscilación cuasibienal del Viento Ecuatorial Estratosférico (QBO), que se relaciona con temporadas más activas. También se conoce la existencia de una importante relación entre las lluvias por encima de lo normal en el África occidental y una mayor actividad ciclónica en el Océano Atlántico. Gray *et al.*, (1997), señaló que las variaciones multianuales de dicha actividad se deben fundamentalmente a las variaciones de la intensidad de la circulación termohalina, debidas a los procesos de retroalimentación dentro de la cuenca ártica.

Varios autores han señalado que la intensidad máxima potencial que los huracanes pueden alcanzar es una función de la temperatura superficial del mar y del entorno termodinámico de la atmósfera en un lugar dado. Afortunadamente, solo unos pocos huracanes se acercan a su intensidad máxima potencial. Las condiciones de la circulación atmosférica circundante impiden tal nivel de intensificación en la mayor parte de los casos.

La figura 2.30 muestra la frecuencia anual de la formación de huracanes en el Océano Atlántico. Según Ballester *et al.*, (2009), durante el primer cuarto del siglo XX, la ocurrencia de huracanes en el área tuvo un mínimo, después de un período muy activo entre 1870 y 1899. Otro período activo en ese siglo ocurrió entre los años 1930 y 1960, seguido por un período menos activo que duró hasta mediados de los años 90, en que se inició el nuevo período de alta actividad ciclónica. En toda la cuenca atlántica hay una tendencia al incremento de dicha actividad, dado fundamentalmente por el aumento continuado en el trimestre agosto-octubre, el más activo de la temporada ciclónica.

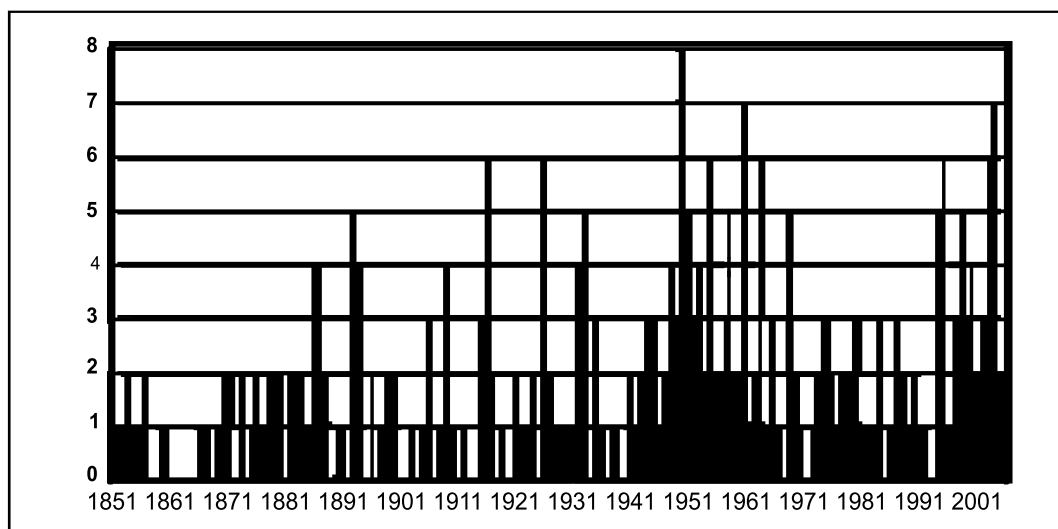


Figura 2.30. Número de huracanes formados en el Océano Atlántico (1851-2008)

Ballester *et al.*, (2004), determinaron que la actividad de los huracanes que se originan en el Caribe y que alcanzan esa categoría en la propia área, también experimenta oscilaciones multidecenales. En esta área se produjo una tendencia significativa al decrecimiento hacia los años 80, recuperándose después la actividad de huracanes y particularmente de los huracanes intensos desde los 90. Recientemente dichos autores han confirmado que tanto el número como la intensidad de los huracanes originados en el Caribe, y que alcanzaron esa categoría, continua incrementándose, con el desarrollo de 10 huracanes intensos en las últimas 11 temporadas (Ballester *et al.*, 2009).

Palacios y Ballester (2007), en un trabajo realizado sobre la variabilidad en la frecuencia de los huracanes originados en el Caribe y que se intensificaron en esa misma área en octubre; notaron, durante el período 1951-2005, la existencia de dos etapas activas: 1951 a 1969 y 1995 al 2005, así como un período inactivo de 1970 a 1994. El período inactivo estuvo dado por los bajos valores de la temperatura superficial del Mar Caribe, una troposfera superior menos fría, un predominio del viento del tercer cuadrante en los altos niveles de la troposfera y una cizalladura vertical del oeste, que inhibieron la formación de huracanes. También corroboraron la presencia del dipolo necesario para la formación de huracanes, con temperaturas inferiores a la media en la superficie isobárica de 100 hPa y temperaturas superficiales del mar cálidas durante los períodos activos. A su vez, comprobaron un notable incremento en la temperatura superficial del Mar Caribe desde 1970 hasta el 2005, con un punto de cambio en 1996. Tal calentamiento se ha mantenido hasta el presente.

Esos autores hallaron que el tránsito de los huracanes por el Caribe, provenientes del Atlántico, también presenta oscilaciones de bajas y altas frecuencias interdecenales. La década de 1890-1899 fue la más frecuentada y tuvo la mayor cantidad de años consecutivos de afectación, mientras que la del 1950-1959 fue la más relevante en cuanto a huracanes intensos. La tendencia a la disminución de estos fenómenos, ocurrida en los últimos 30 años del siglo XX, marcada por el mes de agosto, ha cesado con la notable influencia de huracanes intensos en el período 2000-2008. La actividad en agosto también se recupera, como respuesta en parte al restablecimiento relativo de las corrientes del Este en los niveles medios de la troposfera (Ballester *et al.*, 2009).

2.7.2. AFECTACIÓN DE LOS HURACANES A CUBA

La serie de los huracanes que han afectado a Cuba entre 1791 y 2008 (figura 2.31) refleja, una gran variabilidad. En la figura es posible apreciar una actividad muy alta entre 1871 y 1920, con un máximo de cuatro huracanes en los años 1886 y 1909; una baja actividad en los años comprendidos entre 1796-1820, 1846-1870, con siete huracanes en cada intervalo; y el período 1971-1995, con cuatro huracanes. Este último intervalo de tiempo fue seguido por un importante incremento que ha perdurado hasta el presente.

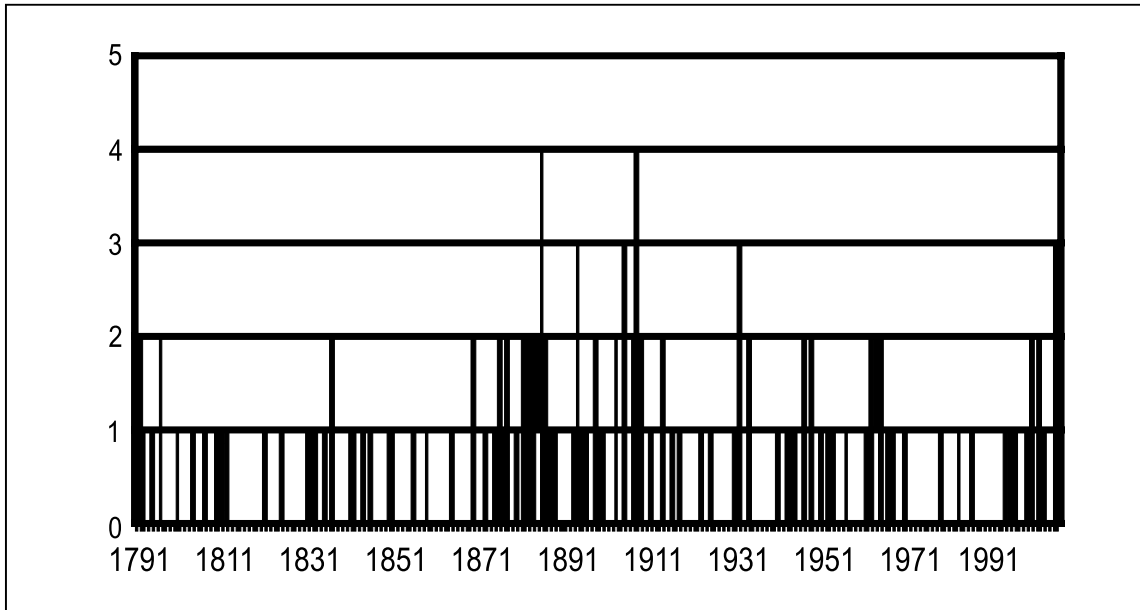


Figura 2.31. Número anual de los huracanes que han afectado a Cuba (1791-2008)

Limia *et al.*, (2000), expresaron que las variaciones interanuales y multianuales de la actividad de huracanes sobre Cuba está modulada por las variaciones de la temperatura del mar en la región del Océano Pacífico centro oriental y, principalmente, por las variaciones en la temperatura del mar en la franja tropical del Océano Atlántico. Posteriormente, Ballester *et al.*, (2006, 2009), confirmaron la importancia que poseen para Cuba los cambios que se producen en la temperatura del Mar Caribe. Es de destacar que el período muy activo, iniciado para Cuba en el año 1996, ha coincidido con un abrupto calentamiento de las aguas del Atlántico y del Mar Caribe, este último fundamentalmente desde 1998, y responde al incremento observado en el número de huracanes originados en el Mar Caribe y en la cantidad que penetran en esta región con origen en el Atlántico tropical, áreas fundamentales de procedencia de los organismos que afectan al país (Ballester *et al.*, 2009).

Pero, los huracanes que afectaron a Cuba presentan solo una tendencia ligeramente creciente a lo largo de esta serie de más de 200 años, que no es estadísticamente significativa (Limia *et al.*, 2000; González *et al.*, 2006; Ballester *et al.*, 2009). Basándose en un pormenorizado análisis de las tendencias para diferentes períodos de años, Limia *et al.*, (2000), expresaron que pudiera existir una oscilación de muy baja frecuencia en la actividad de huracanes sobre Cuba.

Los huracanes intensos (categorías 3, 4 ó 5 de la escala Saffir-Simpson) tienen una elevada capacidad destructiva. Según Landsea (1993) más del 70% de los daños

producidos por los ciclones tropicales en los Estados Unidos son debido a los huracanes intensos, mientras que estos solo representan el 20% de todos los ciclones tropicales que afectan directamente a ese país. En el caso de Cuba, siete de los nueve huracanes que produjeron 100 o más muertes desde 1791 hasta el presente, eran huracanes intensos (Limia *et al.*, 2000). Las experiencias vividas desde el año 2001 confirman lo antes expresado, principalmente si se tiene en cuenta la destrucción ocasionada por los huracanes Dennis, Gustav e Ike recientemente.

Desde 1791, un total de 31 huracanes han afectado como huracanes intensos a Cuba, lo que representa el 26% del total de los catalogados. Quince de estos huracanes afectaron con categorías 4 ó 5 de la escala Saffir-Simpson, los que pudieran catalogarse como huracanes de gran intensidad.

La serie de los huracanes intensos también refleja una gran variabilidad. El período de 83 años transcurrido entre 1870 y 1952 fue muy activo, en cuanto a los huracanes intensos, al afectar 19 de los 31 registrados en los 218 años estudiados. Sin embargo, es posible detectar un período de mayor actividad entre 1906 y 1952 (47 años) en el que 14 de estas importantes tormentas afectaron a Cuba, para un promedio de un huracán intenso cada 3,4 años (Limia *et al.*, 2000).

Desde el año 1952, ningún huracán intenso había afectado a Cuba hasta que Michelle cruzó sobre el territorio cubano en el año 2001, aunque Camille en 1969 y Flora en 1963 estuvieron muy cerca de serlo. Desde entonces, siete huracanes intensos han afectado al país, lo que no había ocurrido en década anterior alguna. Solo en 1948 se había producido la afectación de más de un huracán intenso en un mismo año, cuando dos huracanes categoría 3 cruzaron sobre el territorio cubano, apenas con 13 días de diferencia. Tal hecho se repitió en el año 2004, cuando Charley e Iván afectaron a Cuba, entonces con una combinación de un categoría 3 y categoría 4. Esto se repite cuando Gustav, Ike y Paloma afectan a Cuba e imponen un nuevo récord de tres huracanes intensos en un mismo año, dos categorías 4 y uno categoría 3.

Las provincias de Holguín y Guantánamo fueron afectadas por primera vez por un huracán de gran intensidad, cuando Ike cruzó por dichos territorios en el año 2008. En este mismo año una racha máxima de 340 kilómetros por hora fue medida en la estación meteorológica de Paso Real de San Diego, provincia de Pinar del Río, valor registrado por primera vez en Cuba. La mayor racha del viento medida con anterioridad se produjo durante el huracán Fox, en octubre de 1952, en la estación meteorológica de Cayo Guano del Este. Es de destacar que en la estación meteorológica de Casablanca, de La Habana, se midió una racha máxima de 262 kilómetros por hora, al paso del huracán de gran intensidad de octubre de 1944. Debe expresarse que rachas de viento similares, o aun superiores, pudieron ocurrir durante la afectación de otros huracanes de gran intensidad al territorio de Cuba. Tales son los casos del huracán de 1846, 1910, 1917, 1926 y 1932.

El incremento de la frecuencia anual de la actividad de huracanes sobre Cuba ha sido una característica de las épocas más activas, que se ha manifestado por primera vez con huracanes intensos. Otra cuestión de interés es que si históricamente los huracanes intensos representan un 26% del total de los huracanes que han afectado al país, durante la actual década esta proporción ha ascendido a la extraordinaria cifra del 78%, muy superior a la de cualquier década anterior. Por otra parte, la ocurrencia de Dennis en julio del 2005, representó un inicio más temprano de la "*temporada de los huracanes intensos*", ya que la distribución estacional de los mismos se iniciaba anteriormente con el mes de agosto (González *et al.*, 2006).

El récord establecido en la actividad de los huracanes intensos sobre Cuba durante la primera década del siglo XXI se asocia al incremento observado en toda la cuenca del Océano Atlántico, incluyendo el Mar Caribe, y puede estar condicionado, ante todo, a los muy altos valores de la temperatura del mar en el Caribe registrados desde 1998. Pero, tal incremento no ha condicionado la existencia de una tendencia creciente, estadísticamente significativa, de dicha actividad a lo largo de la serie de más de 200 años. No obstante, no deja por ello de ser sumamente importante ya que constituye una de las más peligrosas variaciones observadas en el clima de Cuba en los años recientes y guarda similitud con las proyecciones del clima futuro en lo referente a que los huracanes pudieran ser más intensos, siguiendo el aumento de la temperatura del mar.

2.7.3. CONCLUSIONES

El número anual de los huracanes que se forman en el Océano Atlántico posee una alta variabilidad interanual y multianual. Esta variabilidad se ha relacionado con los cambios que ocurren en la circulación atmosférica y oceánica.

Se ha observado un incremento en la formación de los huracanes en el Océano Atlántico, principalmente desde mediados de la última década del siglo pasado. Sin embargo, si se considera que las series cronológicas están sujetas a errores o a incertidumbres, debido a los cambios en los sistemas observacionales, tales resultados deben tomarse con gran precaución. También se ha encontrado una tendencia similar en el número de los huracanes intensos.

Los trabajos más recientes indican que tanto el número como la intensidad de los huracanes originados en el Caribe, y que alcanzaron esa categoría en dicha área, continúa incrementándose.

Los huracanes son parte indiscutible del clima en Cuba y han sido siempre una seria amenaza para la economía y la sociedad.

La serie de los huracanes que han afectado a Cuba a lo largo de más de dos siglos refleja una gran variabilidad, a través de la existencia de variaciones interanuales y multianuales. Períodos de mucha y poca actividad se suceden a través del tiempo.

Desde 1996 se inició un nuevo período de una gran actividad ciclónica sobre Cuba. Dicho período ha coincidido con un abrupto calentamiento de las aguas del Atlántico y del Mar Caribe, este último fundamentalmente desde 1998, y responde al incremento observado en el número de huracanes originados en el Mar Caribe y en la cantidad que penetran en esta región con origen en el Atlántico tropical. Entre el 2001 y el 2008, el país ha sido afectado por nueve huracanes.

No se ha detectado la existencia de una tendencia creciente a largo plazo, estadísticamente significativa, en la actividad de huracanes sobre Cuba, teniendo en cuenta una serie muy larga y confiable comprendida entre 1791 y 2008.

Una de las más peligrosas variaciones observadas en el clima de Cuba en los años recientes ha sido la ocurrencia de siete huracanes intensos desde el 2001, cifra que no se había registrado en década alguna desde 1791 hasta el presente. Tal récord se asocia al incremento observado en toda la cuenca del Océano Atlántico, incluyendo el Mar Caribe y puede estar condicionado, ante todo, a los muy altos valores de la temperatura del mar en el Caribe registrados desde 1998. Tal variación guarda similitud con las proyecciones del clima futuro en lo referente a que los huracanes pudieran ser más intensos, siguiendo el aumento de la temperatura del mar. Sin embargo, no se

encontró la existencia de una tendencia creciente, estadísticamente significativa, de dicha actividad a lo largo de la serie de más de 200 años.

Independientemente de la complejidad del tema tratado, la diversidad de opiniones y de los niveles de incertidumbre existentes, el posible incremento de la actividad ciclónica es una cuestión de suma importancia para el mundo, aun cuando esté relacionado con variaciones temporales o se comprueben tendencias crecientes a largo plazo. Se impone entonces la precaución. La idea general de la adaptación al cambio climático supone que, como primer paso, la sociedad debe adaptarse a la variabilidad natural del clima actual.

En lo referente a la actividad de los huracanes, los resultados alcanzados en los últimos años indican que es indispensable prepararse para enfrentar el peligro y atenuar los embates de los huracanes. Los cuales han causado tantas pérdidas de vidas humanas y daños materiales y ambientales, a lo largo de una etapa de gran actividad ciclónica en que se encuentra la cuenca atlántica en general y el Caribe en particular, la que podrá resultar más o menos larga.

2.8. INUNDACIONES COSTERAS

Las zonas costeras son las más afectadas por las variaciones y cambios del clima global, en especial las pequeñas islas. Ellas incluyen parte de los ecosistemas más productivos de la tierra y proveen más del 90% de los recursos pesqueros capturados mundialmente. Entre las principales comunidades biológicas se encuentran los arrecifes coralinos, los manglares y humedales. Además, las zonas costeras constituyen importantes zonas para el hábitat, la recreación y el transporte.

Los ecosistemas naturales que protegen las costas han sido generalmente degradados por la acción del hombre, ocasionando la pérdida de las arenas de las playas, la tala de los manglares y el deterioro o destrucción de los arrecifes coralinos, entre otros. Según IGBP (1993), la combinación del ascenso global del nivel del mar (1-2 mm/año) y las actividades humanas, han provocado la retirada de numerosas líneas costeras en el mundo, en los últimos 500 años. Las más recientes evaluaciones del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2007), indican un aumento del nivel del mar entre 15 y 65 cm para el año 2100 de continuar aumentando la concentración de los gases de invernadero en el planeta.

Entre las naciones más afectadas por el incremento del nivel del mar debido a los cambios globales previstos se encuentra Cuba, tomando en cuenta su condición insular, su configuración físico-geográfica y la existencia de zonas bajas en gran parte de su perímetro costero. El país cuenta con más de 5 000 Km de costas, además de los cayos existentes. La mayoría de sus municipios poseen costas y en ellas se desarrollan importantes actividades portuarias, industriales, pesqueras y turísticas. Más del 10% de la población vive a una distancia entre 0 y 1 000 m de la línea costera, en asentamientos localizados fundamentalmente en zonas bajas, sujetos a los efectos de los eventos meteorológicos incidentes en las costas y que pueden incrementar su frecuencia e intensidad debido a los cambios climáticos globales. Importantes ciudades, con más de 20 000 habitantes, también estarían afectadas por el aumento del nivel del mar (Moreno *et al.*, 1998, Mitrani *et al.*, 2001).

De lo antes expuesto, se aprecia la necesidad de observar el comportamiento de estas inundaciones a través del tiempo, sus variaciones y tendencias.

2.8.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS INUNDACIONES COSTERAS EN CUBA

Habitualmente, las inundaciones costeras en Cuba son causadas por eventos meteorológicos severos. Aunque se conoce la existencia de una zona sísmica activa en la región oriental del país, en toda la historia de la nación cubana no se cuenta con testimonios de ocurrencia de inundaciones significativas por *tsunamis*. Todos los casos de inundaciones de gran severidad de que se tiene noticia y se han generado bajo la influencia de factores meteorológicos.

Mitrani *et al.*; (inédito), realizaron un extenso análisis de las variaciones y tendencias de las inundaciones costeras en Cuba.

Las inundaciones costeras de mayor significación son producidas por los ciclones tropicales, los sistemas frontales y los vientos de región sur asociados a las bajas extra tropicales (Mitrani *et al.*, 1997, Moreno *et al.*, 1998, Mitrani *et al.*, 2000, Mitrani *et al.*, 2001). Estos fenómenos generan los vientos más intensos de la región y las mayores alteraciones del nivel del mar en la zona costera (Vega *et al.*, 1990, Mitrani *et al.* 2000, Mitrani *et al.*, 2001). Por otra parte, ocasionalmente la acción combinada de centros de altas y bajas presiones genera vientos del primer cuadrante que provocan inundaciones en la zona correspondiente al norte de las provincias orientales, en el tramo costero comprendido entre Gibara y Baracoa (Hernández *et al.*, 1998, Hernández 2003, Hidalgo 2010).

La sobreelevación del nivel del mar por factores meteorológicos, que produce inundaciones costeras por entrada del mar, está condicionada por el evento meteorológico que las genera y su movimiento con respecto a la línea costera, pero también por las particularidades geográficas del área afectada.

Uno de los aspectos geográficos más importantes es la batimetría local. Las aguas poco profundas y de pendiente suave, favorecen al aumento del nivel del mar con acumulación de masa en la zona costera, sea por movimientos lineales u ondulatorios. En los movimientos ondulatorios (*tsunamis*, oleaje, surgencia de huracán), la tendencia a conservar la energía interna hace que aumente la altura cuando disminuye la profundidad del mar, como compensación por la pérdida de velocidad y disminución de su longitud de onda por la fricción del fondo. Este efecto es conocido por su nombre en inglés de *shoaling* (CEM, 2006).

La sobreelevación del nivel del mar por factores meteorológicos, se clasifica en tres tipos: por arrastre del viento, por rompiente de oleaje y por surgencia de tormenta. En la naturaleza, aparecen siempre juntas las dos primeras y en circulaciones ciclónicas, las tres a la vez, solo que predomina una u otra en dependencia de las condiciones físico-geográficas. La surgencia generada por los ciclones tropicales es particularmente peligrosa para las costas cubanas, dada la relativa frecuencia con que Cuba es afectada por estos eventos.

2.8.1.1. LAS INUNDACIONES GENERADAS POR CICLONES TROPICALES

En Cuba, las inundaciones costeras más severas de que se tiene noticia, han sido las producidas al paso de los ciclones tropicales, no solo por el efecto de la surgencia cuando han tocado tierra, sino también por el arrastre del viento y la rompiente de oleaje, al desplazarse por los mares aledaños al territorio nacional. La intensidad, frecuencia y localización geográfica de estas inundaciones, se manifiestan en correspondencia con las particularidades de la temporada.

Por otra parte, los oleajes más intensos observados en el litoral habanero, con alturas de más de 7 m, han sido generados por huracanes que han pasado por la Ciudad de La Habana, entre los que se destacan los de 1926 y 1944 (Mitrani y Pérez Parrado, 1998), mientras que la inundación más prolongada, con más de 72 horas de duración, la generó el huracán Juan en 1985 por el mar de leva, al estacionarse al noroeste del Golfo de México.

Mención aparte merece el caso del huracán Wilma, que nunca tocó tierra cubana, pero tanto por el norte como por el sur de la región occidental, causó inundaciones de gran intensidad. Dada la cercanía a la zona costera, generó inundaciones por arrastre del viento, por oleaje y en considerable medida, también por la presencia de la onda de surgencia, que ocasionaron serios daños a la ciudad de La Habana.

2.8.1.2. LAS INUNDACIONES GENERADAS POR LOS SISTEMAS FRONTALES

Los sistemas frontales que afectan a Cuba, se caracterizan por el avance de una masa de aire seco continental con vientos de región norte, que pueden ser muy fuertes, llegando a huracanados en algunas ocasiones, acompañados de lluvias y marejadas.

Los meses de temporadas de frentes fríos son los comprendidos de octubre a abril, aunque se han registrado casos en septiembre y mayo, pero la mayor afectación al territorio cubano ocurre desde la segunda quincena de diciembre a la primera quincena de marzo (Rodríguez *et al.*, 1984).

Si bien los mayores oleajes en las costas habaneras han sido ocasionados por los ciclones tropicales, las inundaciones por sistemas frontales han causado un mayor volumen de daños porque son más frecuentes. Aunque las inundaciones por wave y wind set up afectan a todo el tramo costero de la ciudad, es en la zona del Malecón Habanero donde ocurren las entradas del mar en tierra con el mayor alcance. La pendiente brusca de esta costa acantilada, favorece el predominio de la sobre elevación del nivel del mar por rompiente de oleaje, cuando la velocidad del viento sobrepasa los 10 m/s, que corresponde a los frentes de moderada intensidad.

En la cronología elaborada por Rodríguez *et al.*, (1984), entre 1916 y 1983 se registraron al menos cinco frentes fríos que afectaron a la ciudad de La Habana, con vientos superiores a los 23 m/s. Si se le añade el de marzo de 1993, en 95 años suman al menos seis casos de sistemas frontales muy intensos que han generado olas con alturas de 6 m o más en las aguas profundas aledañas a la capital. Esto indica que al menos una vez en 15 años es posible la ocurrencia de una inundación de gran intensidad, al paso de sistemas frontales.

2.8.1.3. LAS INUNDACIONES GENERADAS POR SURES

Los eventos conocidos como "sures", afectan la costa sur de Cuba y con mayor fuerza a las provincias occidentales del país (Pinar del Río, La Habana, Matanzas e Isla de la Juventud) durante la temporada de frentes fríos. Presentan rumbos de región sur y velocidades que pueden ser mayores de 18 m/s. Se asocian al paso de bajas extratropicales que se desplazan sobre el Golfo de México o territorios adyacentes de los Estados Unidos, precediendo a los frentes clásicos.

Contribuye a la intensificación de los sures, la presencia de altas presiones asociadas al anticiclón de las Azores y se considera que comienza el evento "sur",

cuando en la estación Casablanca el viento se orienta del sur-sudeste al sur. A medida que avanza el sistema frontal, el viento gira hasta orientarse del sur-suroeste. Rara vez llega a la dirección suroeste (Ballester, 1997).

En las cronologías de Rodríguez y Ballester (1991) y Ballester (1997), se incluyen los casos de moderados y fuertes, considerando que no son de interés los sures clasificados como débiles al no comportarse como eventos peligrosos. En el trabajo de Ballester (1997), además de los registros de viento de la estación Casablanca, se consultaron los mapas del tiempo procedentes de los archivos del INSMET, para las temporadas entre 1918-1919 y 1995-1996. El promedio de ocurrencia es de cinco casos por temporada, siendo el mes de marzo el de mayor afectación; le siguen en orden los meses de febrero y abril. En la estación Casablanca, para el período estudiado (desde 1916 hasta 1997) se han registrado al menos once casos con vientos mayores de 28 m/s.

Los sures producen inundaciones con predominio del arrastre del viento en las áreas de amplia plataforma localizadas en la costa sur del país, siendo muy significativas en el tramo correspondiente al Golfo de Batabanó. La peculiaridad de ser un área abierta hacia el sur, de presentar pendientes suaves y aguas poco profundas, favorece las inundaciones costeras por arrastre, que según testimonios de los vecinos del lugar ocurren al menos una vez al año (comunicación personal de la Lic. Fara Carreras, investigadora del Instituto de Planificación Física). Con velocidad del viento, de al menos 7 m/s, ya se produce una inundación de alguna importancia, con una sobre elevación del nivel del mar de al menos 30 cm (Mitrani *et al.*, 2001).

2.8.1.4. LAS INUNDACIONES GENERADAS POR ACCIÓN COMBINADA DE ALTAS Y BAJAS PRESIONES

En la costa norte de las provincias orientales, además de los daños que provocan los huracanes, con alguna frecuencia se producen inundaciones costeras bajo la influencia de sistemas de altas presiones combinados con bajas extratropicales, que generan intensos vientos y fuerte oleaje. Según lo señalado por Moreno *et al.*, (1998), Hernández (1998) e Hidalgo (2010), se pueden identificar los siguientes patrones sinópticos:

- a) El centro de altas presiones se localiza sobre el continente y el de bajas presiones en las cercanías de las costas continentales, en latitudes medias sobre el Atlántico. La inundación es generada por los vientos de la periferia del anticiclón continental.
- b) El centro de altas presiones se localiza sobre tierra y el de bajas presiones sobre el Atlántico; en la periferia de ambos centros el gradiente bórico aumenta, por lo cual el viento se intensifica. La inundación costera es generada por los vientos de región norte, asociados de regía un frente frío.
- c) Un centro de altas presiones se localiza sobre el océano, en las cercanías de la costa oeste de los Estados Unidos y otro de bajas presiones en la zona central del Atlántico, ambos entre los 30 y los 40° N. El territorio cubano se encuentra por completo bajo la influencia de la circulación anticiclónica. La inundación costera es generada por los vientos de la periferia del anticiclón.

2.8.1.5. REPORTES DE INUNDACIONES COSTERAS EN CUBA

Moreno *et al.* (1998), realizó una encuesta para detectar los asentamientos poblacionales que habían sido afectados por inundaciones costeras y elaboró una primera

versión del mapa de asentamientos poblacionales que reportaron inundaciones. Posteriormente, este mapa fue actualizado durante la ejecución de dos proyectos (Mitrani *et al.*, 2001 y 2007). La última actualización se puede apreciar en la figura 2.32, e incluye todo el período 1901-2006.

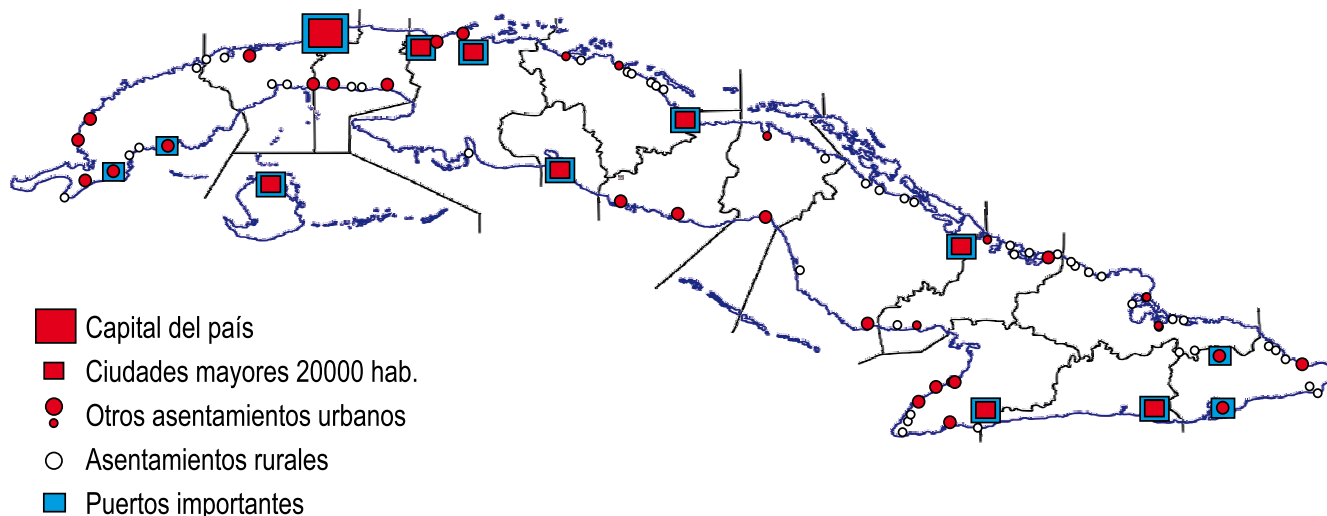


Figura 2.32. Localidades donde se han reportado inundaciones costeras en Cuba, desde 1901 hasta el 2006. Tomado de Mitrani *et al.*, 2007

Según datos recopilados en las oficinas del Instituto de Planificación Física (Moreno *et al.*, 1998), los efectos de las penetraciones del mar en Cuba se incrementan debido a los siguientes factores:

- Predominio de costas bajas acumulativas.
- El 5,2% del área total de Cuba está ocupada por zonas bajas y pantanosas.
- El 100% de las 14 provincias tienen costas.
- El 65% de los municipios tienen costas.
- El 10% de la población habita en las mismas, distribuida en 232 asentamientos.

El desarrollo de las inundaciones depende de varios factores: la velocidad y permanencia del viento, su distribución espacial, el movimiento del fenómeno que lo está generando, las particularidades del campo bórico y la configuración geográfica de la zona costera, atendiendo a orientación, profundidad, pendiente de fondo y dimensiones de la plataforma. Acorde con las características antes expuestas y tomando en cuenta las condiciones físico-geográficas descritas por ICH (1989), así como las particularidades de afectación por factores meteorológicos, señaladas por Mitrani *et al.*, (1994), Moreno *et al.*, (1998), Hernández *et al.*, (1998), Mitrani *et al.*, (2001), Mitrani *et al.*, (2007) e Hidalgo (2010), en las costas de Cuba se diferenciaron los tramos que reciben mayor o menor afectación por los distintos tipos de sobreelevación del nivel del mar.

Según Mitrani *et al.*, (2011), salvo el tramo costero aledaño al Golfo de Casilda-Cazones, el sur de las provincias orientales (Cabo Cruz-Punta de Maisí) y el comprendido entre Punta Maternillos y Gibara, en todo el perímetro costero cubano el peligro por inundaciones es de moderado a alto, siendo muy alto en el Golfo de Batabanó, en el tramo Cabo Cruz-Punta María Aguilar y en el litoral de la ciudad de La Habana.

2.8.2. VARIACIONES Y TENDENCIAS EN EL RÉGIMEN DE INUNDACIONES COSTERAS

La información histórica acerca de la ocurrencia de inundaciones costeras, muestra una marcada variabilidad, en dependencia del régimen de los fenómenos que las generan. De modo que en unos períodos se manifiesta una gran actividad de ciclones tropicales y entonces las inundaciones ocurren en el período lluvioso (verano y otoño del hemisferio norte), pero en otros períodos se inhibe la actividad de los huracanes y entonces ocurren inundaciones en el período poco lluvioso, coincidente con el invierno del hemisferio norte.

2.8.2.1. VARIACIONES Y TENDENCIAS EN EL RÉGIMEN DE INUNDACIONES POR SISTEMAS FRONTALES

Se ha manifestado la existencia de un enlace entre las inundaciones costeras y la ocurrencia del evento ENOS, destacándose una correspondencia entre el aumento de intensidad registrado para este fenómeno en las últimas décadas del siglo XX y un incremento en la frecuencia e intensidad de las inundaciones en la temporada invernal. En presencia del evento ENOS, las bajas extratropicales se desplazan hacia latitudes menores, acercándose el área de vientos máximos al territorio nacional. En las cercanías de las costas cubanas se intensifica la acción del viento y del oleaje peligroso, aumentando significativamente las inundaciones por entrada del mar en tierra, en las costas occidentales (Pérez Parrado *et al.*, 1995).

La zona costera más castigada por estos eventos, es la correspondiente a La Habana y en especial, al Malecón Habanero. El ejemplo más típico se tuvo en marzo de 1993, bajo la influencia del sistema conocido como "*Tormenta del Siglo*", que trajo inundaciones por arrastre del viento sur en la costa sur-occidental antes del paso del frente frío e inundaciones por la costa norte al girar los vientos al noroeste. Las inundaciones en la ciudad de La Habana y en particular, en la zona correspondiente al Malecón Habanero fueron realmente notables, con oleaje significativo de más de 6 m, graves pérdidas económicas y deterioro de importantes objetos urbanísticos.

Utilizando la cronología de inundaciones costeras en el Malecón Habanero, confeccionada por el MSc. Evelio García a partir de los archivos del INSMET y de datos disponibles en la bibliografía consultada se ha elaborado la figura 2.33, donde se refleja la ocurrencia de todos los casos generados por sistemas frontales de que se tiene noticia, desde 1901 hasta la temporada invernal 2010-2011. Con la elaboración de estos datos y aplicando diversas pruebas estadísticas, Hernández y García (2011), sitúan un punto de cambio en 1976 referido al comportamiento de las inundaciones por sistemas frontales.

Obsérvese en la figura 2.33 a, que las inundaciones débiles solo aparecen después de 1976 y esto es atribuible a que antes del año en cuestión, no se documentaban las inundaciones de poca importancia. Es muy posible que antes de este año, solo se documentasen las moderadas y fuertes; incluso, pudo haber ocurrido que alguna considerada como moderada, tampoco se registrase. Lo cierto es que a partir de entonces, las inundaciones de todas las categorías están registradas tanto en los Archivos del INSMET como en los testimonios de prensa. Téngase en cuenta que el Departamento de Meteorología Marina se organizó justamente en 1975-1976. Para confirmar si realmente ha habido cambio en la frecuencia de las inundaciones, en la figura 2.33 b, solo se incluyen las moderadas y fuertes.

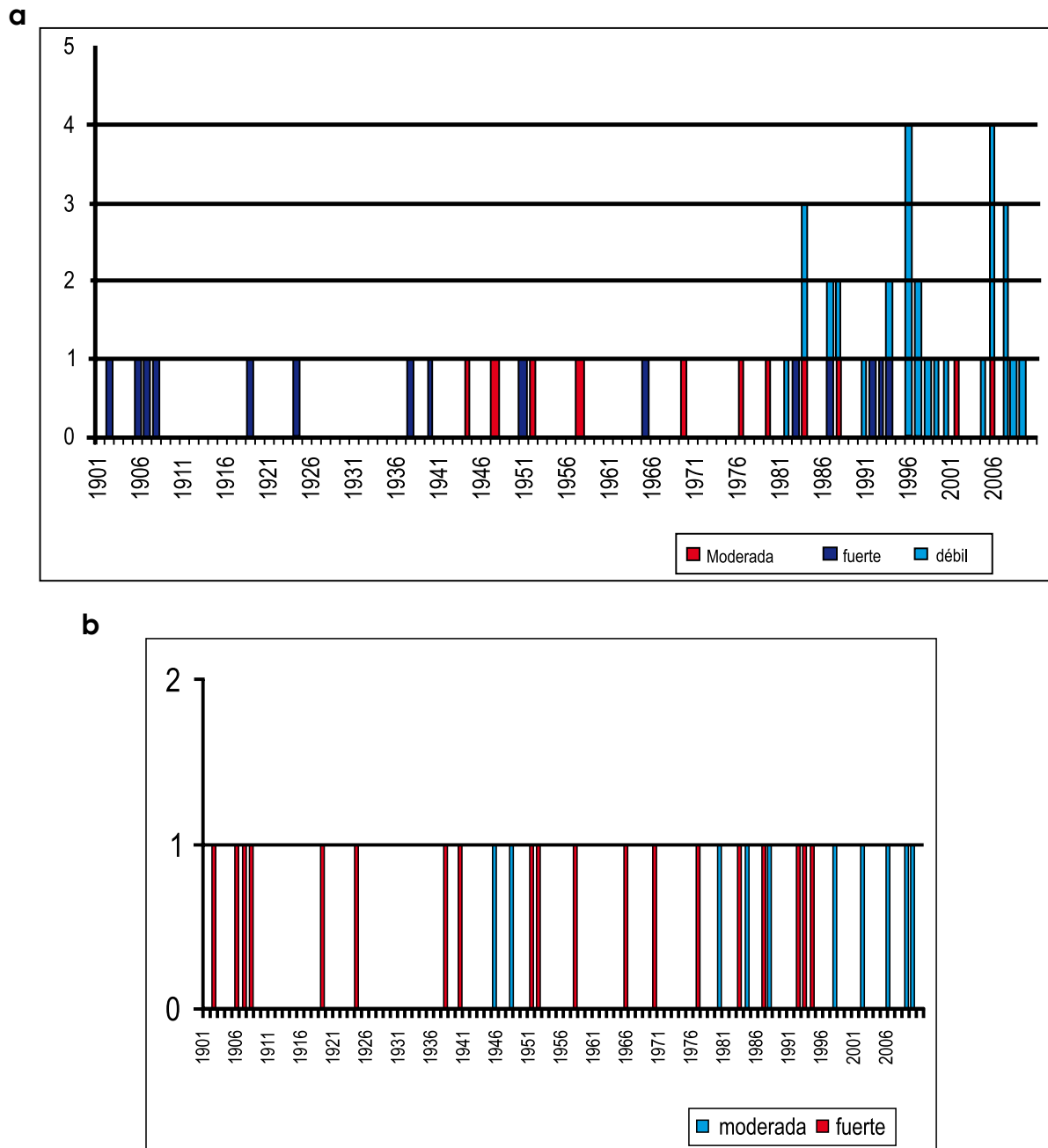


Figura 2.33. Inundaciones por sistemas frontales ocurridas entre 1901 y 1911
a) Todas las inundaciones b) Solo moderadas y fuertes

PérezParrado *et al.* (1995) demostraron la existencia de un enlace entre la ocurrencia del evento ENOS y la ocurrencia de las inundaciones costeras producidas por los sistemas frontales.

Por otra parte se evidencia una alternancia entre períodos de inundaciones más frecuentes e intensas y otros donde la actividad está debilitada, con la mayor concentración en años posteriores al año 1976.

Al organizar por décadas la ocurrencia de las inundaciones moderadas y fuertes por sistemas frontales (figura 2.34), se aprecia una variabilidad ondulatoria, donde la tendencia ajustada a una poligonal muestra períodos en el entorno de 40 años en la alternancia de etapas de máxima o mínima actividad. La tendencia general lineal es hacia el aumento.

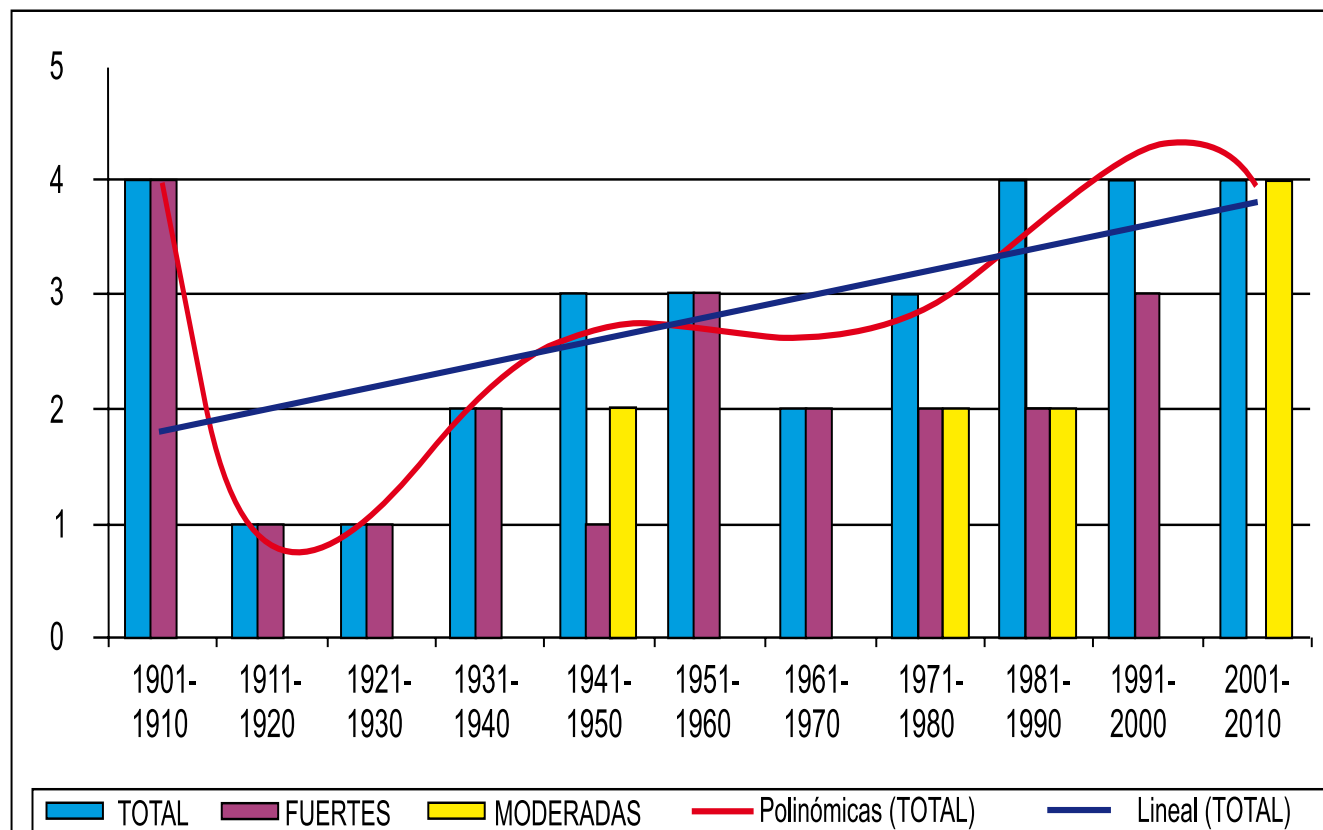


Figura 2.34. Ocurrencia de inundaciones moderadas y fuertes por décadas, con inclusión de la tendencia lineal y una aproximación polinómica

De lo antes expuesto se deduce que un incremento en la frecuencia e intensidad del evento ENOS, significaría un aumento en la frecuencia de inundaciones severas en ambas costas de la región occidental, en el período invernal.

2.8.2.2. VARIABILIDAD Y TENDENCIAS EN EL RÉGIMEN DE INUNDACIONES POR CICLONES TROPICALES

Con respecto a las inundaciones por huracanes, el nivel de información de que se dispone en la actualidad no permite prever una variación en la frecuencia de ocurrencia de los ciclones tropicales por el cambio climático previsto. Sin embargo, el aumento de la temperatura de la superficie marina conduce al aumento de su poder destructivo, al incrementarse la intensidad de los vientos que lo acompañan (Knutson *et al.*, 2010) y estos a su vez, contribuyen al aumento de la frecuencia e intensidad de las inundaciones costeras.

El comportamiento del régimen de inundaciones costeras en el territorio cubano responde a las variaciones de la actividad ciclónica sobre Cuba y las afectaciones más serias corresponden a los huracanes. Las dos inundaciones costeras por surgencia de huracán, más intensas del siglo XX ocurrieron entre 1910 y 1944. La primera en 1932, al paso de un huracán por Santa Cruz del Sur, categoría 5, el que borró totalmente el poblado con más de 3 000 víctimas mortales; este ha sido el mayor desastre natural que ha ocurrido en Cuba, desde el punto de vista de pérdidas humanas. La segunda ocurrió en 1944, al paso de un huracán categoría 4; en el Golfo de Batabanó que penetró por Playa Majana y barrió varios asentamientos costeros situados a la derecha de su trayectoria. En Playa Guanímar el mar se adentró hasta 12 km, tierra adentro. Ambos eventos presentaron una sobre elevación estimada en más de 6 m (Ortiz, 1980; García y Pérez Parrado, 1998). En cuanto al oleaje, también los casos más intensos se registran en la primera mitad del siglo XX, y se corresponden con tres huracanes que afectaron a La Habana en 1919, 1926 y 1944, generando olas de más de 7 m de altura significativa (Mitrani *et al.*, 1997; Mitrani y Pérez Parrado, 1998).

Para analizar la variabilidad y tendencia de las inundaciones costeras por ciclones tropicales, se utilizó en primer lugar, la misma cronología elaborada para el Malecón Habanero, elaborada por el MSc. Evelio García, para el período 1901-2011. Dado que con los casos de inundaciones ligeras, ocurre lo mismo que para las inundaciones por sistemas frontales, se decidió omitirlas.

En la figura 2.35 se asentaron las cantidades de inundaciones moderadas y fuertes entre 1901-2011, así como la suma de ambas, la tendencia lineal y polinomial, que indican un ligero incremento hacia el final de la serie de tiempo estudiada, con alternancia de etapas de mayor o menor frecuencia e intensidad de las inundaciones por huracanes con períodos de entre 30 y 40 años.

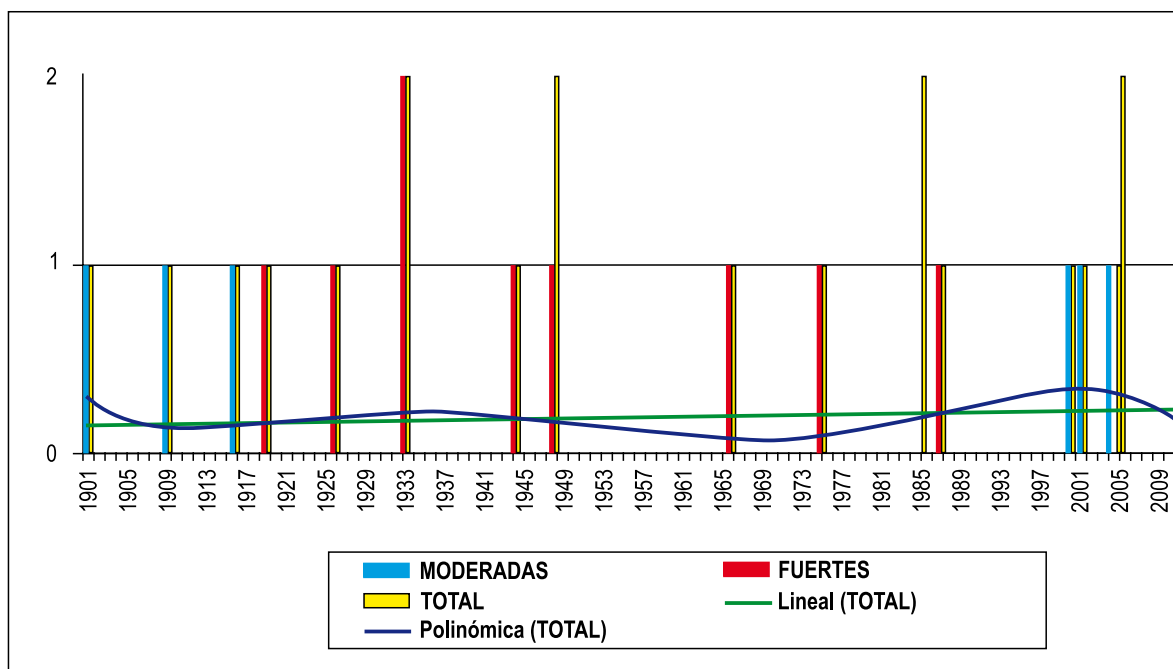


Figura 2.35. Inundaciones moderadas y fuertes, generadas en La Habana por ciclones tropicales en 1901-2011. Se incluyen las tendencias lineal y polinomial para la cantidad total de inundaciones

Organizadas por décadas, en la figura 2.36 se aprecia mejor la ligera tendencia lineal hacia el incremento, mientras que el ajuste poligonal confirma una periodicidad en el entorno de los 30 a 40 años.

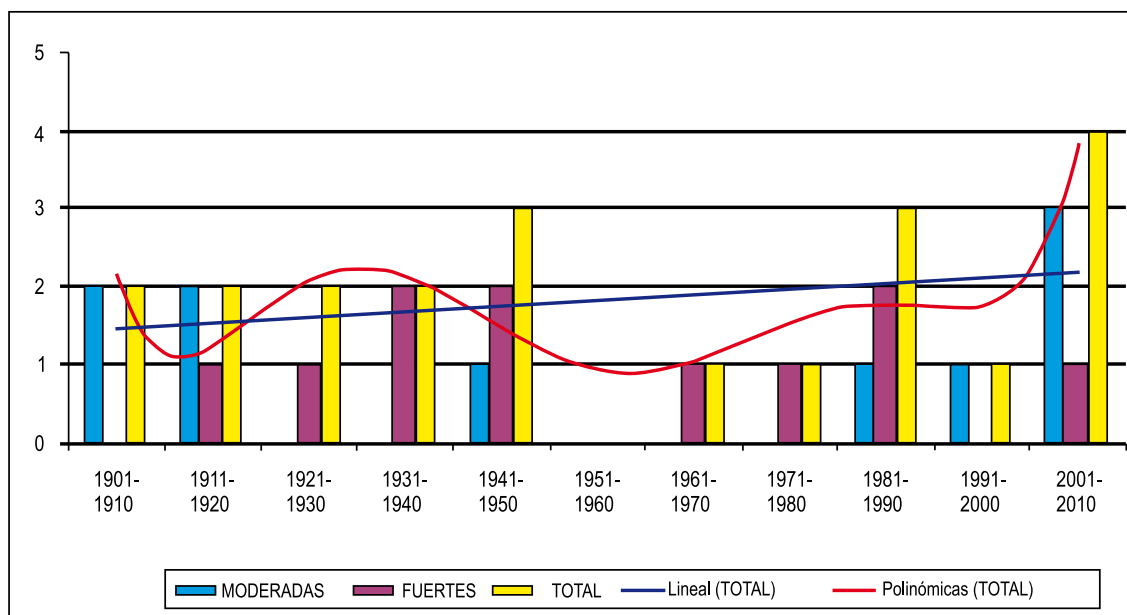


Figura 2.36. Las inundaciones moderadas y fuertes por décadas, generadas por ciclones tropicales en La Habana, 1901-2011. Se incluyen las tendencias lineal y polinomial en la cantidad total de inundaciones

A continuación, en representación de los eventos de la costa sur, se muestra la ocurrencia de inundaciones en el Golfo de Batabanó, a partir de la información publicada por Moreno *et al.*, (1998), Mitrani *et al.*, (2000) y Mitrani y Díaz. (2005), con inclusión de los eventos registrados en el 2008. Los testimonios recopilados muestran que en el área ocurre al menos una inundación de cierta importancia al año, sea por huracanes o sures, pero es muy imprecisa la información, sobre todo la anterior a 1945, por lo que en la figura 2.37 solo se incluyeron las muy intensas, generadas por huracanes. Obsérvese la tendencia hacia el aumento.

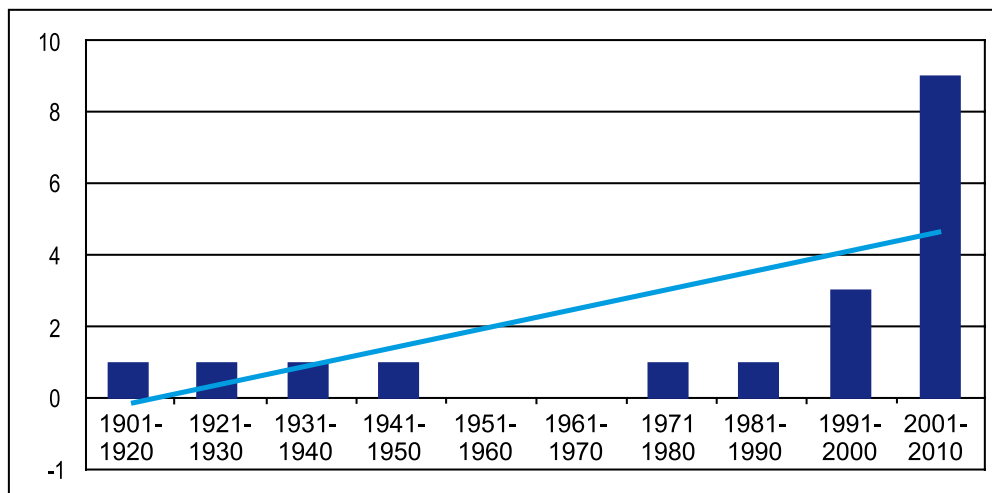


Figura 2.37. Ocurrencia de inundaciones muy intensas en las costas aledañas al Golfo de Batabanó, por huracanes

Como tercer ejemplo, se incluye la ocurrencia de inundaciones en el tramo Gibara-Guardalavaca, en representación de las provincias nororientales, con la información tomada de las investigaciones realizadas por Hidalgo (2010), asentada en la figura 2.38.

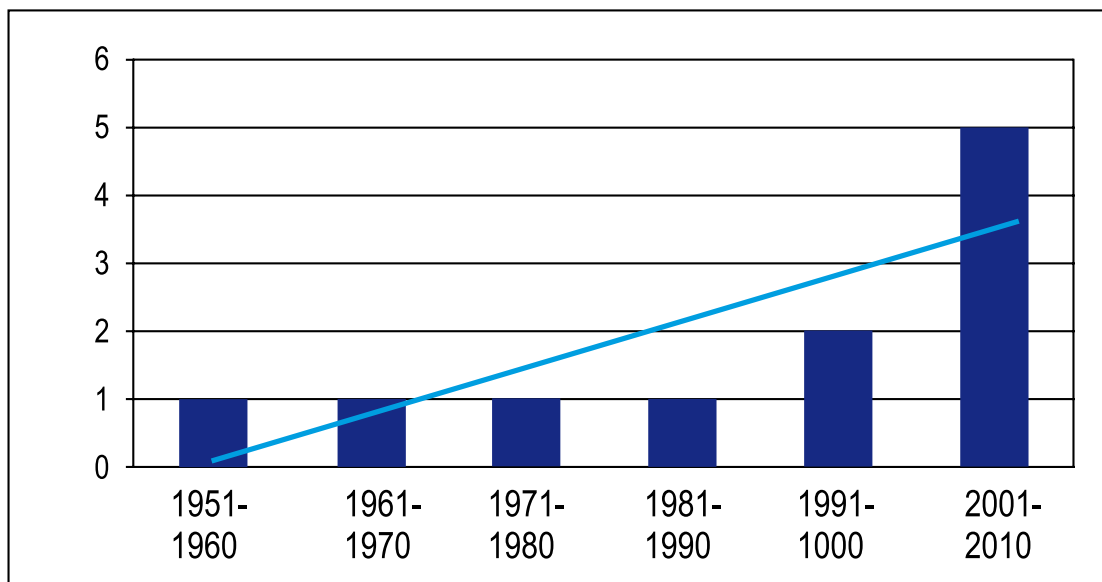


Figura 2.38. Ocurrencia de inundaciones intensas en Gibara-Guardalavaca, por huracanes

Antes de 1960, el autor solo encontró un testimonio, correspondiente a 1933, que debió ser una inundación muy intensa. Entre 1951 y el 2010, los datos apuntan hacia un aumento en la frecuencia de las inundaciones. En opinión del autor, no se tienen argumentos suficientes para esta afirmación y expresa que dicha tendencia puede estar vinculada con el hecho de que la información localizada está incompleta, porque las fuentes son muy limitadas, así como a que la magnitud de los daños ha ido aumentando paulatinamente con los años, ocupando de esta manera una mayor atención en los medios de prensa. En esta situación intervienen los factores antrópicos tales como: mayor densidad poblacional en la zona, urbanización y el crecimiento económico por la actividad turística. No obstante, se observa una correspondencia con las dos series antes analizadas.

2.8.2.3. VARIACIONES Y TENDENCIAS EN EL RÉGIMEN DE INUNDACIONES POR SURES Y POR COMBINACIÓN DE CENTROS DE ALTAS Y BAJAS PRESIONES

El área más afectada por los sures, es la correspondiente al Golfo de Batabanó. Según comunicación personal de la Lic. Fara Carreras, investigadora del Instituto de Planificación Física (IPF), por testimonios recopilados entre los pobladores, en la zona se registran inundaciones de dos a tres veces en el año y en ocasiones hasta cuatro, en dependencia de la frecuencia de los sures y del paso de ciclones tropicales.

En la cronología que aparece en los trabajos de Moreno *et al.*, (1998), Mitrani *et al.*, (2000) y Mitrani y Díaz. (2005), así como en los registros del INSMET, se reportan dos inundaciones por sures, de la misma intensidad que las ocasionadas por huracanes y ambas en la década de los 90 (1993 y 1998). Por otra parte, los sures están asociados

al paso de sistemas frontales por el Golfo de México y la cronología de inundaciones en La Habana por esta causa, apunta hacia el aumento, por lo que es evidente que las inundaciones por sures muestran también una tendencia hacia el aumento en intensidad y frecuencia.

Con respecto a las inundaciones por combinación de centros de altas y bajas presiones, la información es aun más escasa. En el tramo Gibara-Guardalavaca se cuenta con dos testimonios de inundaciones por esta causa, con la misma intensidad que al paso de los huracanes. Ambas en las dos últimas décadas del siglo XX (1982 y 1994) más un caso bajo la influencia de un frente frío en 1998, lo cual hace un total de tres inundaciones por sistemas extratropicales y como también estos eventos se relacionan con el paso de los sistemas frontales por el Golfo de México, es de esperar que la ocurrencia de este tipo de inundación también aumente.

2.8.2.4. LA OCURRENCIA DE TODAS LAS INUNDACIONES

Las causas de las inundaciones costeras en Cuba se dividen en dos grandes grupos: por ciclones tropicales y por sistemas extratropicales a los que se asocian los frentes fríos, sures y combinación de centros de altas y bajas, cuya frecuencia está enlazada con el paso de las bajas extratropicales por el sur de los Estados Unidos y el norte del Golfo de México. Esto significa que la alternancia de ocurrencia de inundaciones por sistemas frontales o ciclones tropicales, que se observa en La Habana, es extensiva a todo el país.

Como se analizaron solo las inundaciones moderadas, intensas y muy intensas, por ser la información más confiable, y estas ocurren entre uno y dos casos cada cierto número de años, se agruparon por décadas para poder valorar mejor sus tendencias (figura 2.39). Se observa que la tendencia lineal es hacia el aumento, mientras que la polinómica permite apreciar mejor la sucesión de etapas de alta y baja actividad de todas las inundaciones.

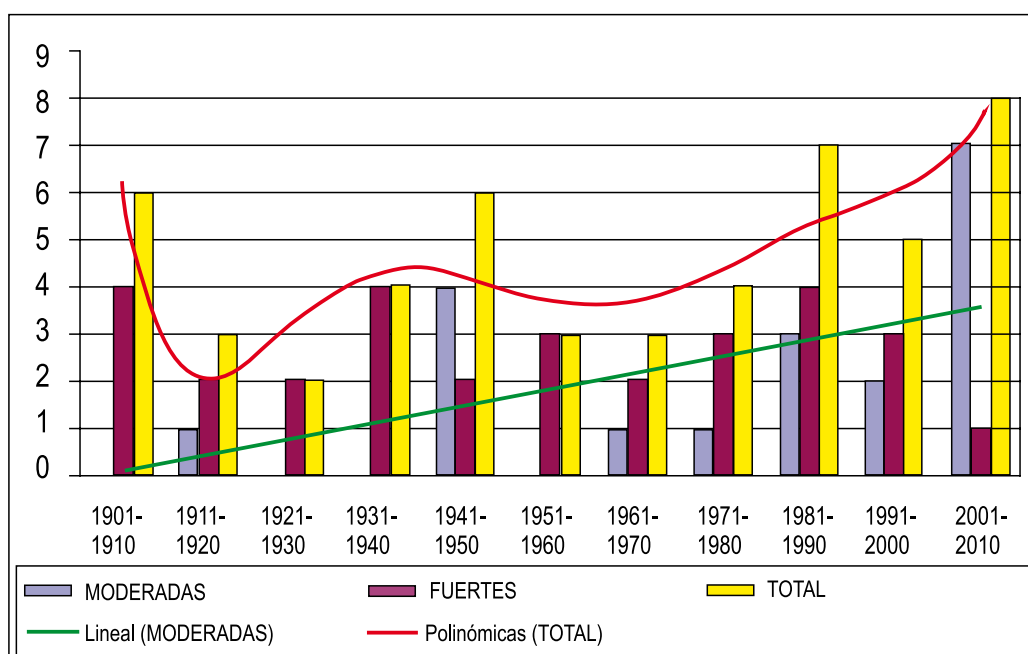


Figura 2.39. Ocurrencia de inundaciones moderadas y fuertes en La Habana entre 1901 y 2011, por décadas

En la figura 2.40 se asentaron las inundaciones intensas y muy intensas de que se tiene noticia en el tramo costero aledaño al Golfo de Batabanó. El vacío entre los años entre 1951 y 1970 no significa ausencia de inundaciones, sino que fueron menos intensas.

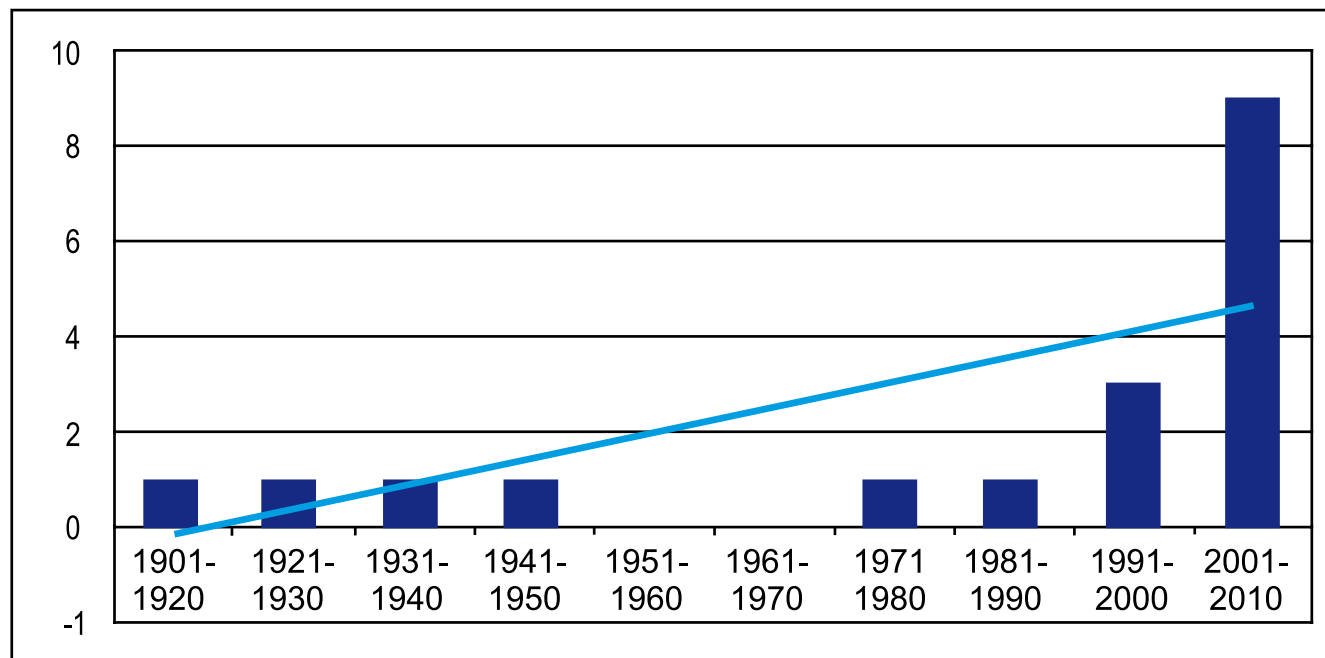


Figura 2.40. Todas las inundaciones costeras muy intensas en el tramo costero aledaño al Golfo de Batabanó entre 1901 y 2011

En la figura 2.41 se reflejan también todas las inundaciones intensas, desde 1960 por Gibara-Guardalavaca.

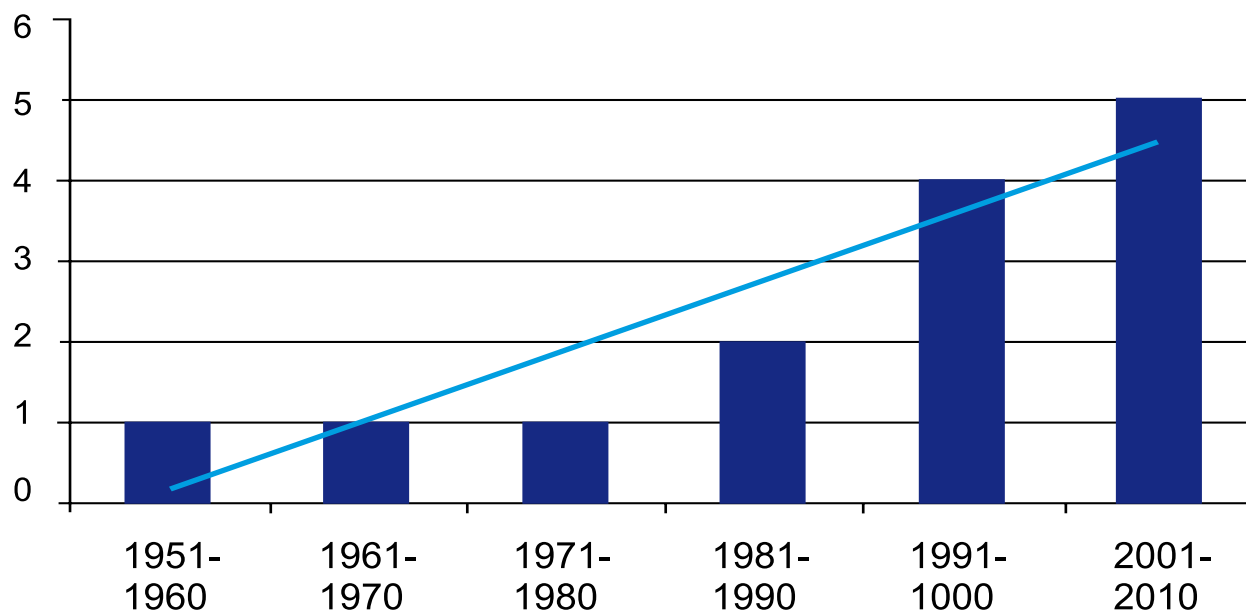


Figura 2.41. Todas las inundaciones intensas ocurridas en el tramo Gibara-Guardalavaca entre 1960 y 2010

Las figuras 2.40 y 2.41 corroboran el aumento en frecuencia de las inundaciones costeras moderadas y fuertes hacia finales del siglo XX y principios del XXI, sea cual fuere el evento que las genera.

A continuación, se muestran las inundaciones moderadas y fuertes por sistemas frontales y por huracanes, para la ciudad de La Habana, para confirmar cómo se alternan (figura 2.42).

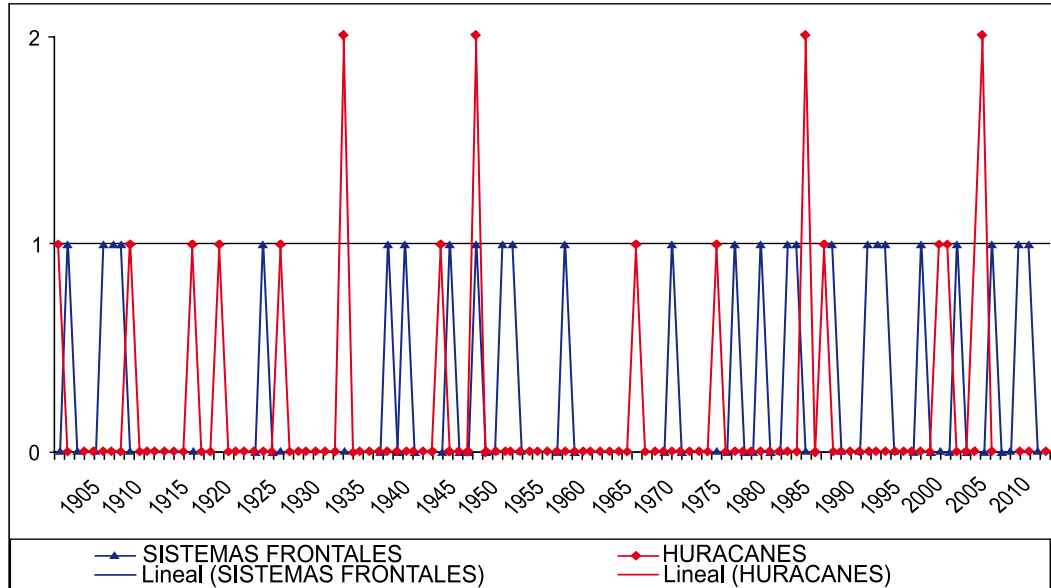


Figura 2.42. Inundaciones moderadas y fuertes en el Malecón Habanero (1901-2011), con inclusión de las tendencia lineales

En la figura 2.42 se aprecia que en general, la ocurrencia de inundaciones significativas por sistemas frontales, se alternan con las generadas por huracanes, que suelen ser menos frecuentes pero más intensas. En esta forma de alternar, está presente la influencia del evento ENOS, que en su fase positiva favorece a las inundaciones por sistemas extratropicales e inhibe a la actividad ciclónica y viceversa. La duración de cada fase de uno u otro tipo de actividad es muy irregular, de entre 5 y 15 años como promedio.

Las tendencias de ambos tipos de inundación van hacia el aumento al final del período analizado, aunque la de los huracanes es muy débil.

Se aprecia que el régimen de inundaciones costeras varía a mediano y largo plazo en lo referente a intensidad y frecuencia de ocurrencia. En unos períodos las inundaciones dependen más de los ciclones tropicales y entonces son menos frecuentes pero de mayor intensidad, mientras que en otros la dependencia del comportamiento de sistemas extratropicales es mayor y por tanto las inundaciones son menos intensas pero más frecuentes.

2.8.3. CONCLUSIONES

Las causas de las inundaciones costeras en Cuba se dividen en dos grandes grupos: por ciclones tropicales y por sistemas extratropicales.

Se ha podido apreciar la existencia de una irregular alternancia entre la ocurrencia de inundaciones por sistemas extratropicales y por huracanes, en dependencia en

primer lugar del comportamiento del evento ENOS, de manera que en su fase activa se incrementan las inundaciones por eventos extratropicales y se inhiben las ocasionadas por huracanes, y viceversa.

Se aprecia una oscilación multianual en la ocurrencia de las inundaciones, con períodos de 30 a 40 años, más marcada en las ocasionadas por los sistemas frontales en las costas de La Habana.

Hacia las últimas tres décadas del período analizado, para las costas de Cuba se observa un incremento en la ocurrencia de inundaciones moderadas y fuertes, independientemente de los eventos meteorológicos que las generan, aunque para los ciclones tropicales la tendencia es menos pronunciada.

Para las inundaciones por sistemas extratropicales, la tendencia hacia el aumento es atribuible al incremento en frecuencia e intensidad del evento ENOS.

Las tendencias en la frecuencia de ocurrencia de las inundaciones durante el período 1901-2011, resultan ser una de las más importantes y peligrosas entre aquellas observadas en el clima de Cuba.

El incremento del nivel del mar previsto, asociado al cambio climático, aunque no influya de forma notable en la dimensión vertical de la sobreelevación del nivel del mar, pudiera conducir al incremento del alcance de la entrada del mar en tierra, en el orden de los kilómetros para las costas bajas, y al acercamiento de la línea de rompiente del oleaje. De este modo, las inundaciones que hasta el presente son consideradas como de moderado alcance, pudieran pasar a ser intensas.

2.9. PRINCIPALES RESULTADOS

A partir de los análisis, apreciaciones y conclusiones descritos en este capítulo, se opina con seguridad que:

- Se ha observado un incremento en la temperatura superficial del aire (0,9 °C) desde mediados del pasado siglo. No obstante dicho incremento, y que las últimas dos décadas han sido las más cálidas de los registros, se ha producido un ligero descenso de la temperatura superficial desde comienzos de los años 90, lo que se considera una estabilización alrededor de un valor medio muy alto.
- El incremento antes descrito, está condicionado por el aumento de la temperatura mínima promedio, calculado en 1,9 °C.
- Se ha producido una disminución en el rango diurno de la temperatura superficial.
- Es poco probable que el calentamiento observado (principalmente después de los años 70) se pueda atribuir, en una medida importante, a los efectos de la urbanización. Además, el incremento registrado en la temperatura de la superficie del mar y el calentamiento de la capa baja de la troposfera, son aspectos que se relacionan con el calentamiento reciente y que se observan en una escala espacial mucho mayor.
- Los totales anuales de precipitación no muestran una tendencia significativa estadísticamente, pero revelan que desde finales de la década de los años 70, se ha producido un ligero aumento de las anomalías positivas. Las lluvias del período poco lluvioso han aumentado, acompañadas de un incremento de las anomalías extremas. Sin embargo, la variación más importante de este elemento climático

se relaciona con la tendencia a la disminución en la región oriental, que desde la década de los '90 ha manifestado significativos déficits en los acumulados de precipitación.

- El significativo incremento que los eventos de sequía registraron en el período 1961-1990 con respecto al 1931-1960, ha mantenido su continuidad en los persistentes eventos que afectaron la mitad oriental del país desde principios de los años 90, acentuándose hasta culminar con el gravísimo proceso acaecido desde mayo del 2003 a mayo del 2005, el cual progresivamente se extendió a todo el país.
- Desde 1996 se inició un nuevo período muy activo de la actividad de huracanes sobre Cuba, principalmente desde el año 2001, de tal forma que, entre el 2001 y el 2008, el país ha sido afectado por nueve huracanes. Sin embargo, si bien existe una ligera tendencia creciente a largo plazo en la frecuencia de huracanes sobre Cuba (1791-2008), esta no es estadísticamente significativa.
- Es de suma importancia la ocurrencia de siete huracanes intensos desde el 2001, cifra que no se había registrado en década alguna desde 1791 hasta el presente. Tal récord se asocia al incremento observado en toda la cuenca del Océano Atlántico, incluyendo el Mar Caribe, y puede estar condicionado, ante todo, a los muy altos valores de la temperatura del mar en el Caribe registrados desde 1998. Sin embargo, no se encontró la existencia de una tendencia creciente, estadísticamente significativa, de dicha actividad a lo largo de la serie de más de 200 años. No deja por ello de ser sumamente importante dicho comportamiento, ya que constituye una de las más peligrosas variaciones observadas en el clima de Cuba en los años recientes.
- Durante las últimas tres décadas se ha observado un incremento en la ocurrencia de inundaciones moderadas y fuertes para las costas de Cuba, independientemente de los eventos meteorológicos que las generan, aunque para los ciclones tropicales la tendencia es menos pronunciada.
- Se ha producido un incremento de la influencia anticiclónica sobre el área, lo que implica a su vez el gradual predominio de las corrientes zonales del este y movimientos verticales descendentes.

Es probable que:

- Exista una estrecha vinculación entre las variaciones del dorsal anticiclónico, las variaciones observadas en los patrones de teleconexión del Pacífico-Norte América (PNA), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y Atlántico Este (EA) con las fluctuaciones observadas en las temperaturas y las precipitaciones. De hecho, los incrementos en la frecuencia e intensidad de las sequías parecen vincularse con esos procesos.
- La mayor frecuencia de los eventos de sequía y de los huracanes que afectan al país han contribuido a hacer más extremo el clima. Este aspecto de las variaciones observadas es uno de los más importantes a tener en cuenta en materia de adaptación a la variabilidad y el cambio climático en Cuba.
- El incremento de la actividad ciclónica sobre Cuba ha implicado un aumento de los eventos de las grandes precipitaciones.

Hay incertidumbres sobre:

- La relación existente entre el incremento de la temperatura superficial del mar en el Caribe, los patrones de la circulación atmosférica y las variaciones observadas en la temperatura y la precipitación en Cuba, principalmente en lo referente a los eventos de grandes precipitaciones y las sequías.
- Los nexos entre los eventos severos, incluyendo ciclones tropicales, y el incremento de las temperaturas sobre Cuba.

2.10. CONCLUSIONES GENERALES

El examen de las variaciones observadas y el nivel de coherencia existente entre ellas, permiten adelantar la hipótesis de que el clima en Cuba está transitando hacia un estado climático con características similares a las proyectadas por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) para un efecto invernadero intensificado en la atmósfera terrestre. En particular, el incremento de la temperatura superficial del aire; la reducción del rango diurno de la temperatura; la mayor frecuencia de sequías largas y severas, especialmente en verano; y el aumento de los totales de lluvia asociados a eventos de grandes precipitaciones en invierno, son aspectos inherentes a esas proyecciones que muestran un apreciable nivel de coincidencia con los resultados de esta evaluación.

Debe notarse, sin embargo, que aun existen incertidumbres asociadas a la ausencia de un adecuado conocimiento de múltiples componentes del clima en Cuba y sus relaciones, incluyendo aquellos que no han sido objeto de atención en esta evaluación. Así se hace evidente la necesidad de que las investigaciones futuras concentren sus esfuerzos en el estudio de aquellos aspectos que hoy resultan más oscuros. El reto no es simple.

BIBLIOGRAFÍA

1. Centella, A., L. Naranjo y L. Paz Castro (1997): Variaciones y cambios del clima en Cuba. Instituto de Meteorología. 57 pp.
2. Vega, R., V. Cutié y A. Centella (1987): Análisis del comportamiento de los totales de lluvia caída en Cuba sobre la base de una clasificación de sequía. Informe Técnico. Instituto de Meteorología, Cuba. 25 pp.
3. Ballester, M.; C. González y R. Pérez (1995): Variabilidad de la ciclogénesis tropical en el Atlántico Norte. Instituto de Meteorología. 88 pp.
4. Ballester M., (1997), "Los sures en la mitad occidental de Cuba: cronología actualizada, potencial de daños y tendencias". Boletín SOMETCUBA, vol. 3, no. 2, julio/97 <http://www.met.inf.cu/>.
5. Cárdenas, P. y M. Pérez (1991): Eventos ENOS y anomalías de lluvia en Cuba. Instituto de Meteorología. 24 pp.
6. Cárdenas, P. A. A. Centella y L. Naranjo (1995): Teleconnection Pacific Caribbean ENSO and QBO as forcing climate variability elements. Proceeding Sixth Interannual Meeting of Statistical Climatology. Galway. Ireland.
7. Díaz H. F. (1986): An analysis of Twentieth Century Climate fluctuations in Northern North America. Journ. App. Met. 25 (11) 1625-1657.
8. Fonseca C., (2008): La Oscilación del Atlántico Norte, los Índices de Circulación Atmosféricas y la lluvia en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Meteorológicas. Instituto de Meteorología. 125 pp.

9. Goldenberg, S. B., C. W. Landsea y G. D. Bell (1999): Summary of the 1999 Atlantic Hurricane Season: A Climate Perspective. Proceedings of the Twenty-Fourth Annual Climate Diagnostics and Prediction Workshop, Tucson, Arizona. Noviembre 1-5 de 1999.
10. Gray, W. M., J. D. Sheaffer y C. W. Landsea (1997): Climate trend associated with Multidecadal variability of Atlantic Hurricane Activity. En "Hurricanes: Climate and Socioeconomics Impacts", capítulo 2, Springer 15-55pp.
11. Kawamura R., M. Sugi and N. Sato (1995): Interdecadal and interannual variability in the Northern Extratropical Circulation Simulated with the JMA Global Model. Part I: Wintertime leading mode. *J. Climate*, 8 (11), 3020-3027.
12. Lapinel, B., A. Centella, C. Fonseca, V. Cutié y R. Báez, (2006): Predicción a largo plazo de la sequía agrícola y evaluación científica de los riesgos asociados a la ocurrencia de la sequía meteorológica y agrícola en Cuba. PRCT 4072: Análisis y Pronóstico del tiempo y el clima y sus implicaciones socio económicas. Parte I: Sequía Meteorológica. 100 pp.
13. Cárdenas P., L. Naranjo y A. Centella (1994): Pronósticos mensuales de totales de lluvias y temperaturas extremas en Cuba. Elementos de variabilidad climática. Reporte Científico Técnico, Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba.
14. Centella A., L. Naranjo y P. Cárdenas (1995): Variations of the air surface temperatures in Cuba during the period 1951-90. Reporte Científico, Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, Cuba.
15. Centella A. (1997): Variaciones y cambios del clima en Cuba. Instituto de Meteorología, Cuba.
16. IPCC (2007): Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. edit. J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums. Cambridge University Press, Cambridge.
17. Kawamura R., M. Sugi y N. Sato (1995): Interdecadal and interannual variability in the Northern Extratropical Circulation simulated with the JMA Global Model. Part II: Summertime Leading Mode. *Jour. of Climate*, 8, 3020-3027.
18. Nicholls N., G. V. Gruza, J. Jouzel, T. R. Karl, L. A. Ogallo and D. E. Parker (1995): Observed climate variability and change. In *Climate Change 1995. The Science of Climate Change*. edit by J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, Cambridge University Press, Cambridge.
19. Limia, M., R. Pérez y R. Vega. (2000): Climatología de los ciclones tropicales que han afectado a Cuba. En "Los ciclones tropicales de Cuba, su variabilidad y su posible vinculación con los cambios globales". Informe científico. Instituto de Meteorología. La Habana. 100 pp.
20. Meulenert, A. R. (1991): Efecto del evento El Niño-Oscilación del Sur sobre el estado del tiempo en Cuba. Instituto de Meteorología.
21. Naranjo D. L. (1994): Uso de los índices de circulación para la caracterización de las condiciones atmosféricas en las inmediaciones de Cuba. Instituto de Meteorología. 52 pp.
22. Naranjo D. L., A. Centella (1996): Variaciones internacionales de los campos meteorológicos sobre el Caribe y el Golfo de México. Parte I: presión al nivel medio del mar y altura en 500 hPa. Propuesto para publicación en *Inter. Journ. of Clim.* 20 pp.
23. Naranjo D. L., M. Ballester, A. Alfonso y M. Sosa (1997): Circulación atmosférica sobre Cuba. En *Variaciones y cambios del clima en Cuba*. Instituto de Meteorología, Cuba.
24. Parrado, R., J. Rego y O. García (1995): Efectos del evento ENOS durante la temporada invernal en Cuba. Instituto de Meteorología.
25. Alfonso, A. y A. Florido. (1992): Las grandes precipitaciones en Cuba, aspectos fundamentales. 3er Congreso Internacional de Desastres, La Habana, Cuba.
26. Alfonso P. A., B. Braulio y L. R. Naranjo (1997): Tormentas locales severas, grandes precipitaciones y sequías. En *Variaciones y cambios del clima en Cuba*. Instituto de Meteorología, Cuba.

27. Centella A., (1997): Variaciones y cambios del clima en Cuba. Instituto de Meteorología, Cuba.
28. Fonseca C., (2008): La Oscilación del Atlántico Norte, los Índices de Circulación Atmosféricas y la lluvia en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Meteorológicas. Instituto de Meteorología. 125 pp.
29. Kawamura R., M. Sugi y N. Sato (1995): Interdecadal and interannual variability in the Northern Extratropical Circulation simulated with the JMA Global Model. Part II: Summertime Leading Mode. *Jour. of Climate*, 8, 3020-3027.
30. Naranjo D. L., A. Centella (1996): variaciones interanuales de los campos meteorológicos sobre el Caribe y el Golfo de México. Parte I: presión al nivel medio del mar y altura en 500 hPa. Propuesto para publicación en *Inter. Journ. of Clim.* 20 pp.
31. Planos E. (1991): Caracterización hidrológica de las lluvias torrenciales. Caso de estudio: Pinar del Río. Centro de Investigaciones de Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
32. Planos E. (1997): Influencia de las lluvias torrenciales en el régimen hidrológico de Cuba. I Congreso Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, La Habana, Cuba.
33. Planos, E. (2000): Análisis Hidrológico de las grandes precipitaciones: Distritos físico-geográficos Pinar del Río, Habana-Matanzas y Centro, Tesis en opción el grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas, Ministerio de Educación Superior, La Habana.
34. Planos, E.; M. Limia y R. Vega. (2005): Intensidad de las precipitaciones en Cuba. Resultado Científico Técnico del "Programa Ramal Análisis y Pronóstico del Tiempo y el Clima Terrestre y espacial", Agencia de Medio Ambiente. CITMA.
35. Trenberth, K. (1990): Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. *Bull. Am. Met. Soc.*, 71, 988-993.
36. Wang, B. (1995): Interdecadal changes in El Niño onset in the last four decades. *J. Climate*, 8, 267-285.
37. Brenes, A., V. Saborío (1993): Cambios de la Circulación general y su influencia en la tendencia de la precipitación en América Latina. Departamento de Información, Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica.
38. Centella, A., L. Naranjo y L. R. Paz (1997): Variaciones y cambios del clima en Cuba, Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, La Habana.
39. Lapinel B., R.E. Rivero y V. Cutié (1993): "La Sequía en Cuba: Análisis del período 1931-1990". Informe científico-técnico. Centro Meteorológico Territorial, Camagüey, 40 pp.
40. CEM (2006) Coastal Engineering Manual, USACE WES CHI, Part II, pp. 612. <http://www.chl.erdc.usace.army.mil/media>.
41. Fonseca, C. F. (2001): Cambios en la posición e intensidad del Anticiclón del Atlántico y modificación del régimen de las lluvias en la región del Caribe. Tesis en opción al título de Master en Ciencias Meteorológicas, Cuba. 48 páginas.
42. Hare, F. K. y J. A. Ogallo (1993): Climate Variations, drought and desertification. WMO No. 653, Ginebra, 45 pp.
43. Lapinel B., Fonseca, C., Cutié, V., Pérez, D., Aroche, R., Báez, R., Rivero, R., Rivero, I., Pérez, R., (2003): La sequía en Cuba. Monografía. Centro del Clima, Instituto de Meteorología, La Habana Cuba. 243 pp.
44. Lapinel B., R. Rivero, V. Cutié, R. Rivero, N. Varela y M. Sardiñas (1993): Sistema para la vigilancia de la sequía. Análisis para el período 1931-1990. Informe Científico Técnico Oficina Territorial de Camagüey.
45. Lapinel B., A. Centella, C. Fonseca, V. Cutié, e I. González, (2006): Causas de la reciente sequía acaecida en la región oriental de Cuba. *Climate Variability and Change-Hydrological Impacts* (proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, Cuba, November 2006). IAHS Publication 308 ISSN 0144-7815
46. Lapinel B., A. Centella, C. Fonseca, V. Cutié y R. Báez, (2006): Predicción a largo plazo de la sequía agrícola y evaluación científica de los riesgos asociados a la ocurrencia de la

- sequía meteorológica y agrícola en Cuba. PRCT 4072: Análisis y Pronóstico del tiempo y el clima y sus implicaciones socio económicas. Parte I: Sequía Meteorológica. 100 pp.
47. Lapinel B., A. Centella, C. Fonseca, V. Cutié y R. Báez (2007a): Monografía de la Sequía en Cuba. Componente Meteorológico. Proyecto. No. 4072 Programa Ramal de Ciencia y Técnica: "Análisis y pronóstico del tiempo y el clima terrestre y espacial", Instituto de Meteorología, Ciudad de La Habana, Cuba.
 48. Lapinel B., C. Fonseca, V. Cutié y Dagne Boudet (2007b): Movimientos troposféricos verticales sobre Cuba y sus características en condiciones de lluvias medias y extremas durante el período estacional lluvioso. Centro del Clima, Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Ciudad de La Habana, Cuba. CP: 11 700,
 49. Organización Meteorológica Mundial (1992): Vocabulario Meteorológico Internacional. OMM/No 182.
 50. Planos E.. (1991): Caracterización hidrológica de las lluvias torrenciales. Caso de estudio: Pinar del Río. Centro de Investigaciones de Recursos Hidráulicos. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos.
 51. Alfonso A. (1994): Climatología de las tormentas locales severas. Cronología. Editorial Academia. La Habana, 168 pp.
 52. Alfonso A., B. Braulio y L. R. Naranjo. (1997): Tormentas locales severas, grandes precipitaciones y sequías. En Variaciones y cambios del clima en Cuba. Instituto de Meteorología, Cuba.
 53. Aguilar, G. y M. Carnesolta (2007): Condiciones sinópticas favorables para la ocurrencia de tormentas locales severas en Cuba. Un esquema para su predicción. Informe científico. Instituto de Meteorología. 50 pp.
 54. Ballester, M., González, C. y Pérez, R. (2004): Actividad ciclónica en las áreas del Océano Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Cuba durante el período 1886 – 2002. Informe Científico: Pronóstico de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte, con énfasis en el Caribe y Cuba. Instituto de Meteorología. 31 pp.
 55. Ballester, M., González, C. y Pérez, R. (2006): "Verificación del pronóstico de la temporada ciclónica en el Atlántico Norte para el 2005". Revista Cubana de Meteorología, vol. 13, no. 2.
 56. Ballester, M., González, C. y Pérez, R. (2009): Actividad ciclónica en las áreas del Océano Atlántico, Golfo de México, Mar Caribe y Cuba durante el período 1886- 2008. Informe Final del Resultado 415.512. Instituto de Meteorología, CITMA. 88 pp.
 57. González, I., R. Vega, R. Pérez y M. Limia. (2006): "Climatología de los ciclones tropicales de Cuba". Informe científico. Instituto de Meteorología. La Habana. 100 pp.
 58. Gray, W., W. M., J. D. Sheaffer y C. W. Landsea (1997): Climate trend associated with Multidecadal variability of Atlantic Hurricane Activity. En " Hurricanes: Climate and Socioeconomics Impacts", capítulo 2, Springer 15-55pp.
 59. Hernández N., O. Alvarez, R. Casals, P. Beauballet (1998) Cálculo de algunos parámetros del oleaje que ha afectado a Baracoa por ciclones tropicales Conferencia Científica sobre Ciclones Tropicales "Rodríguez in Memoriam" (Memorias). WMO, SOMETCUBA, INSMET, La Habana, 185:191.
 60. Hernández, N. (2003) Estudios Hidrometeorológicos de los Mares Adyacentes a Baracoa en Guantánamo, Tesis de Maestría en Ciencias Meteorológicas. INSTEC, CITMA, La Habana, Cuba, pp. 66.
 61. Hernández I., E. García (2011) "Inundaciones en la Ciudad de La Habana por sistemas frontales y su relacion con ENOS. Influencia sobre la costa", Memorias del V Congreso de Meteorología, SOMETCUBA -2011, en soporte digital, INSMET, La Habana.
 62. Hidalgo A. (2010) 'Características de las inundaciones costeras en el área Gibara- Playa Guardalavaca, Revista trimestral Ciencias, Holguín, Revista Trimestral, año 15, enero-marzo 2010, 1:9.

63. IGBP (1993) Land Ocean Interaction in the Coastal Zone, Science Plan. Global Change, Report No. 25, Edited by P M Holligan and H de Boois, Stockholm, 53 pp.
64. IPCC (2007) Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104.
65. Knutson T. R., J. L. McBride, J.Chan, K. Enmanuel, G.Holland, C. Landsea, I.Held, J.P. Kossin, A. K. Srisvastava, M. Sugi (2010) "Tropical cyclones and climate change", *Nature geoscience*, vol. 3, DOI:10.1038/NGEO779, 157-163, www.nature.com/naturegeoscience.
66. Landsea, C.W., (1993): The climatology of intense (or major) Atlantic hurricanes. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 1703-1713.
67. Limia M., R. Pérez y R. Vega. (2000): Climatología de los ciclones tropicales que han afectado a Cuba. En "Los ciclones tropicales de Cuba, su variabilidad y su posible vinculación con los cambios globales". Informe científico. Instituto de Meteorología. La Habana. 100 pp.
68. Mitrani I. (1997) "Application of the Meteorological Information on Coastal Management in the Havana Mole" *Boletín SOMETCUBA*. vol. 3, no. 2, INSMET, La Habana. <http://www.met.inf.cu/>.
69. Mitrani I., Díaz L., P. Pérez (1994): "Características hidrometeorológicas generales de la zona costera correspondiente al Malecón Habanero" Informe Final de Resultado Científico, Biblioteca INSMET, La Habana, 71 pp.
70. Mitrani I., R. Pérez Parrado (1998) "Influencia de los ciclones tropicales del régimen de oleaje en el litoral habanero". Conferencia Científica sobre Ciclones Tropicales "Rodríguez in Memoriam" (Memorias). WMO, SOMETCUBA, INSMET, La Habana, 138:144.
71. Mitrani I.; I. Salas; M. Ballester; Y. Juantorena (2000) "Penetraciones del mar en la zona costera del Golfo de Batabanó por afectación de sures, con escenario actual y previstos por posible incremento del nivel medio del mar". *Boletín SOMETCUBA*, vol. 6, no. 1. Publicación Electrónica; <http://www.met.inf.cu>.
72. Mitrani, I., R. Pérez, O. García, I. Salas, Y. Juantorena, M. Ballester y P. Beauballet, (2000): "Las zonas más expuestas a las inundaciones costeras en el territorio cubano y su sensibilidad al posible incremento del nivel medio del mar por cambio climático". *Revista Cubana de Meteorología*, vol.7, no.1. 45:50.
73. Mitrani, I., R. Pérez, O. García, I. Salas, Y. Juantorena, M. Ballester y P. Beauballet, (2001) : "The coastal floods in the Cuban territory, the most sensitive areas and the possible impact of the climate change" *Proceeding of the 2001 Open Meeting of the Human Dimensions of Global Environmental Change Research Community*, Río de Janeiro, Brasil, 6-8 octubre 2001, <http://sedac.ciesin.columbia.edu/open-meeting/1mtg/01info.html>.
74. Mitrani I., Díaz O. (2005): Influencia de los factores hidrometeorológicos en el medio marino de la zona suroccidental de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 12, no.2, La Habana, 94:100.
75. Mitrani I. y Colectivo de Autores (2007): "Atlas oceanográfico de las aguas cubanas" , Compendio de Resultados Científicos del PRCT "Análisis y pronóstico del tiempo y el clima terrestre y espacial", años 2000-2008, UNESCO/CITMA/AMA, La Habana, en soporte digital.
76. Moreno A., I. Salas, R. Pérez Parrado, O. García, I. Mitrani, C. Rodríguez, A. L. Pérez, M. A. Portela (1998): "Desarrollo de la técnicas de predicción y las inundaciones costeras, prevención y reducción de su acción destructiva" Informe Técnico, PNUD/Defensa Civil, La Habana, Editora del Instituto de Planificación Física. 1998, 200 pp
77. Mitrani, I. O. Díaz, A. Vichot, A. Pérez, R. Cangas, L. Alvarez, O. Pérez, J. A. Rodríguez, A. Morales, J. Viamontes, J. Pérez. (inédito): La estructura termohalina y sus tendencias climáticas en aguas cubanas. Instituto de Meteorología. La Habana. 64 pp.

78. Mitrani, I., E. García, A. Hidalgo, I. Hernández, I. Salas, R. Pérez, C. Rodríguez, A. Pérez (inédito).
79. Ortiz R. (1980) "Huracanes notables" Reporte de Investigación, Biblioteca INSMET, ACC, La Habana, 92 pp.
80. Pérez Parrado R., García O., Salas I. (1995) "Marea de tormenta en Cuba. Su amplitud y perfil." (Inédito) Informe Técnico, vol. 2, Biblioteca del INSMET, 28 Pág.
81. Palacios, J., M. Ballester (2007): Variabilidad en la frecuencia de los huracanes del caribe en octubre durante el período 1951 - 2005. IV Congreso Cubano de Meteorología. 4-8 diciembre 2007, Ciudad de La Habana, Cuba. ISBN 978-959-7167-12-9.
82. Pérez, R., R. Vega, y M. Limia. (2000): Cronología de los ciclones tropicales de Cuba. En "Los ciclones tropicales de Cuba, su variabilidad y su posible vinculación con los cambios globales". Informe científico. Instituto de Meteorología. La Habana. 100 pp.
83. Pérez, R., R. Vega, I. González y M. Limia. (2006): Reanálisis de las tormentas tropicales que afectaron a Cuba en el siglo XIX y de los huracanes que afectaron a La Habana en el siglo XVIII. En "Climatología de los ciclones tropicales de Cuba". Informe científico. Instituto de Meteorología. La Habana. 100 pp.
84. Vega R., M. E. Sardiñas, M. E. Nieves, A. Centella (1990) "Análisis estadístico - climatológico del régimen de la velocidad máxima del viento en Cuba" Informe Final de Resultado Científico, INSMET, 60 pp.



Escenario geográfico en la región oriental
Foto: Richard Molina

CAPÍTULO 3

ESCENARIOS CLIMÁTICOS

3.1. MODELACIÓN DEL CLIMA

Es reconocido que los Modelos de Circulación General Acoplados de la Atmósfera y el Océano (MCGAO) constituyen la herramienta básica para simular el cambio climático bajo la influencia del incremento del forzamiento de los Gases de Efecto de Invernadero (GEI). Los más avanzados incluyen varios componentes totalmente acoplados (atmósfera, océano, hielos marinos, vegetación terrestre e hidrología); otros también representan los efectos de los aerosoles atmosféricos, en particular los sulfatos y carbonatados; mientras que un conjunto menor incluyen explícitamente el ciclo del carbono y las retroalimentaciones sobre los GEI atmosféricos (Friedlingstein *et al.*, 2006). En realidad, durante los últimos 10 a 15 años, la comunidad de modelación internacional se ha movido con rapidez hacia el desarrollo de modelos del sistema terrestre, que incluyen además: las interacciones de la biosfera, la biogeoquímica y la química de los componentes atmosféricos (Giorgi y Diffenbaugh, 2008).

Existen retos grandes y parcialmente conflictivos para la modelación del cambio climático (Räisänen *et al.*, 2004). Por una parte, se requiere de información a escalas espaciales relativamente pequeñas, obligando al empleo de técnicas conocidas como reducción de escala*, debido a que la resolución espacial de los modelos globales (del orden de cientos de kilómetros), es insuficiente para muchos estudios de evaluación de impactos. Por otra parte, también es necesario que los estudios de impacto consideren la llamada incertidumbre de escenarios (Jenkins and Lowe, 2003) y la denominada incertidumbre de modelación (Murphy *et al.*, 2004). La primera está asociada con las futuras emisiones de gases de efecto invernadero, la política económica y ambiental, así como el crecimiento poblacional; mientras que la segunda se vincula a las incertidumbres de los procesos de modelación del clima, las cuales provocan que diferentes modelos produzcan diferentes resultados (incluyendo el signo de los cambios esperados) en regiones particulares (Rivington *et al.*, 2008, Murphy *et al.*, 2004). Los retos y conflictos se relacionan entonces con las posibilidades reales de generar proyecciones espacialmente detalladas incorporando las incertidumbres mencionadas. Esto solo puede lograrse realizando un conjunto de múltiples simulaciones de largo período, las cuales solo se han desarrollado en pocas regiones, ubicadas mayoritariamente en el Hemisferio Norte, mediante la realización coordinada de proyectos como el proyecto europeo PRUDENCE (Christensen *et al.*, 2006) o el de América del Norte NARCCAP (Mears, 2004).

Los primeros escenarios de cambio climático elaborados en muchos países del Caribe (Centella *et al.*, 1999) se desarrollaron sobre la base de un modelo climático simple de balance de energía/difusión a floramiento, denominado como MAGICC (Wigley y Raper, 1992). MAGICC fue combinado con la base de escenarios climáticos SCENGEN, que en ese momento conformaban la versión 2.4 de la herramienta

* El término proviene del inglés Downscaling. En la literatura internacional se puede encontrar también asociado con el término regionalización. Sin embargo, los autores prefieren utilizar el término "reducción de escala" para dar una idea más precisa de esa técnica y su finalidad.

MAGICC/SCENGEN (Hulme *et al.*, 2000). La posibilidad de utilizar MAGICC/SCENGEN en sus diferentes versiones facilitó el análisis de proyecciones futuras sobre un espectro amplio de forzamientos radiativos, al considerar varios escenarios de emisiones, y de patrones climáticos de respuesta, al tomar en cuenta varios modelos climáticos (incertidumbres de escenarios y modelos, respectivamente). A pesar de esos rasgos positivos y útiles, la baja resolución espacial de los resultados se convirtió en una limitante importante para la realización de evaluaciones de impactos espacialmente detalladas y por lo tanto, redujo la posibilidad de considerar o identificar impactos y medidas de adaptación que tomen en cuenta las características particulares de las localidades y provincias. Se limitó, por tanto, el necesario enfoque local de la adaptación al cambio climático.

En atención a las limitaciones anteriores, diferentes países de la región se unieron en una especie de marco de cooperación para enfrentar el tema de la reducción de escala por medios dinámicos, sobre la base de la asimilación y empleo del modelo climático regional HadRM3P encapsulado dentro del sistema de modelado regional PRECIS* (Jones *et al.*, 2004). Conceptualmente, la reducción de escala se asocia a las técnicas de generar información en una resolución espacial más baja que la ofrecida por los modelos globales y requieren del uso de métodos dinámicos o estadísticos (Mears *et al.*, 2003 y Wilby *et al.*, 2004, respectivamente). El hecho de que los Modelos Climáticos Regionales (MCR) dejen de ser un “juguete” utilizado por los países desarrollados y se hayan desarrollado con la flexibilidad de ser empleados con mayor facilidad por centros de investigación en países menos desarrollados, es una indudable coyuntura favorable al nacimiento y desarrollo de la iniciativa caribeña (Taylor *et al.*, 2007).

En este acápite se documenta brevemente los escenarios climáticos que serán utilizados en la evaluación de impactos y adaptación, en el marco del proyecto de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático. Las proyecciones climáticas futuras, referidas básicamente para el período 2071-2099, fueron obtenidas a partir de la ejecución del Proyecto de Investigación “Simulación Numérica de Escenarios Climáticos para los Mares Interamericanos y Territorios Adyacentes”.

3.2. EL SISTEMA DE MODELADO PRECIS

PRECIS es un sistema de modelación climática regional desarrollado por el Centro Hadley del Reino Unido, que puede ser ejecutado en computadoras personales. El sistema está compuesto por: a) un modelo atmosférico y de la superficie terrestre (HadRM3P), que puede ser aplicado a cualquier área del globo terrestre para generar proyecciones detalladas del cambio climático; b) una interfase simple para fijar los parámetros y ejecutar el modelo; y c) un paquete de visualización y procesamiento de datos que permite mostrar y manipular los resultados del MCR. (Jones *et al.*, 2004). El modelo HadRM3P encapsulado dentro de PRECIS tiene 19 niveles en la vertical y permite escoger entre dos resoluciones espaciales: 50 km, como se utiliza en esta investigación y es el estándar para grandes áreas (Marengo *et al.*, 2009) y 25 km para áreas más pequeñas donde la mayor resolución es particularmente importante.

* Del Inglés *Providing Regional Climates for Impacts Study*.

Como puede suceder con otros MCR, el diseño de los experimentos en PRECIS consideró diferentes aspectos que pueden ser resumidos en los tres elementos siguientes: a) el dominio o región geográfica sobre la cual el MCR es corrido; b) la fuente de donde provienen los datos de las condiciones de contorno; y c) los datos sobre las emisiones/concentraciones de gases de efecto invernadero.

3.2.1. EL DOMINIO

El dominio para el cual se desarrollaron los experimentos realizados con PRECIS puede apreciarse en la figura 3.1. Este dominio fue el resultado de análisis y discusiones sostenidas en un taller de expertos realizado en el año 2003 y fue diseñado como un dominio preliminarmente óptimo, considerando que el mismo era lo suficientemente reducido como para poder realizar los diferentes experimentos con los recursos computacionales disponibles, y lo suficientemente grande como captar la influencia de las señales extratropicales, así como la que proviene de las regiones atlántica y pacífica, la cual tiene un impacto reconocido en el comportamiento de las variables y procesos meteorológicos de la región interna del dominio.



Figura 3.1. Dominio del modelo PRECIS fijado para la realización de los experimentos. El área comprendida entre el límite exterior e interior del dominio se corresponde con la zona “buffer”, cuyos datos no son considerados

3.2.2. CONDICIONES DE CONTORNO Y EMISIONES

Las condiciones de contorno utilizadas y los datos asociados sobre las emisiones de GEI, aparecen descritas en Centella *et al.*, (2009). Aquí se mencionaran únicamente las que se consideran necesarias para la adecuada interpretación de los escenarios futuros y no aquellas que esos autores emplearon en el análisis de la evaluación de PRECIS. Por condiciones de contorno debe entenderse aquella información que alimenta al modelo en sus fronteras, para que el mismo pueda generar información en su interior. En sentido general, esas condiciones pueden provenir de datos observados (reanálisis globales) o de simulaciones con modelos globales (pueden ser simulaciones del clima actual o del clima futuro). La información que sirva de “alimento” al Modelo Regional, dependerán los resultados que el mismo produzca.

Experimentos de “rebanadas temporales” (time slices) del modelo atmosférico

HadAM3P: agrupan dos tipos de las condiciones de contorno; una para el período 1961-1990 y otra para el 2071-2100. Sin embargo, por simplicidad, se describirán bajo este mismo marco. Ambos tipos de condiciones de contorno se basan en los datos proporcionados por las salidas del modelo HadAM3P, el cual es una versión mejorada del modelo atmosférico de alta resolución (150 km) HadAM3H, derivado de la componente atmosférica del modelo completamente acoplado océano-atmósfera HadCM3 (Gordon *et al.*, 2000), el cual posee una resolución horizontal de 3,75 de latitud por 2,5 de longitud. En este caso, las salidas de PRECIS se asocian a un calendario idealizado de 360 días.

- a) 1960-1990: estas condiciones de contorno consideran tres integraciones de 31 años del modelo HadAM3P. Cada una es inicializada bajo diferentes condiciones iniciales (las tres integraciones* forman un conjunto o “ensemble”), pero en los tres casos se utilizan las series observadas de los campos de temperatura superficial del mar y fracción de hielo-mar provenientes de la base de datos HadISST1 (Rayner *et al.*, 2002). La información sobre la composición de la atmósfera proviene de la evolución observada de las concentraciones de GEI en este período.
- b) 2070-2100: las condiciones de contorno disponibles para forzar al PRECIS están conformadas por cuatro integraciones de 31 años del modelo atmosférico HadAM3P. Tres de esas integraciones representan un conjunto de simulaciones diferentes del período 2070-2100, basadas en el escenario de emisiones SRESA2 y una integración considerando en escenario SRESB2 (Nakicenovic *et al.*, 2000, para una explicación de los escenarios de emisiones SRES). En este caso, las condiciones de borde asociadas a la temperatura superficial del mar y los hielos marinos son representadas por la combinación de las anomalías obtenidas en las integraciones del modelo acoplado océano atmósfera HadCM3 (utilizando los mismos escenarios de emisiones y condiciones iniciales que se emplean en el HadAM3P) con las observadas durante el período 1960-1990, obtenidas de la base de datos HadISST1. La evolución de las concentraciones de GEI prescrita en PRECIS para este período de tiempo (calculada fuera del modelo según los datos de los escenarios de emisiones SRES) es la misma que en el correspondiente experimento del HadCM3. De forma similar al período 1960-1990 los resultados analizados en esta investigación se refieren solamente a una de las tres integraciones bajo el SRESA2 y la otra asociada al SRESB2.

Experimentos de clima transitorio para el período 1960-2100, a partir del modelo

acoplado ECHAM4: con estas condiciones se desarrollaron integraciones continuas con el PRECIS para un largo período de tiempo. Así fue posible obtener resultados para períodos intermedios como el 2050, sin la necesidad de utilizar otros artificios como el escalamiento de patrones (Mitchell, 2003), lo cual es necesario en el caso de los asociados al HadAM3P. Aquí, las condiciones de contorno provienen de las salidas de dos integraciones de 141 años del modelo de circulación general acoplado océano atmósfera ECHAM4, del Instituto Max Plank, mientras que las relativas a la superficie del mar se toman directamente del modelo OPYC3, que es el componente oceánico del modelo ECHAM4. Cada una de las dos integraciones se corresponde con los escenarios SRESA2 y SRESB2, respectivamente y antes de 1991 ambas son idénticas.

* Los resultados objeto de atención en este informe solo se refieren a una de las tres integraciones mencionadas.

Tabla 3.1. Resumen descriptivo de los experimentos realizados con PRECIS

NÚMERO Y NOMBRE DEL EXPERIMENTO	CONDICIÓN DE BORDE		PERÍODO
	EMISIONES GEI	DATOS	
3HCT	Observado	HadAM3P	1961-1990
4HA2	SRES A2	HadAM3P	2071-2100
5HB2	SRES B2	HadAM3P	2071-2100
6ECT/EA2	Obs/SRES A2	ECHAM4	1961-2100
7ECT/EB2	Obs/SRES B2	ECHAM4	1961-2100

Según señalan Centella *et al.*, (2009), al momento de iniciar las corridas de los experimentos anteriormente descritos, existían importantes limitaciones tecnológicas asociadas a la velocidad de procesamiento y a la capacidad de almacenamiento de los resultados. Estas limitaciones obligaron a desarrollar una estrategia de simulación que permitiera la obtención de resultados válidos y útiles en un tiempo prudencial. Por este motivo se decidió:

1. Archivar la información para plazos diarios (medias o valores absolutos) y superiores, sin tomar en consideración los plazos horarios.
2. Generar resultados solo para superficie y los niveles correspondientes a 850, 700, 500, 250 y 50 hPa, en lugar de los 17 niveles posibles.
3. Fijar la resolución espacial a 50 x 50 km con la finalidad de poder utilizar el dominio antes prefijado (simulaciones a 25 km con el mismo dominio son prácticamente imposibles, aun con los recursos disponibles actualmente).
4. Realizar solamente simulaciones incluyendo el ciclo del azufre, a pesar de que existía la posibilidad de realizar experimentos sin incluir este efecto y explorar el la influencia de los patrones regionales de los aerosoles de sulfato.

Si bien la estrategia adoptada resultaba adecuada *a priori*, las decisiones tomadas podrían tener un impacto en el análisis de los resultados alcanzados, limitando la posibilidad de obtener conclusiones más "sólidas" como resultado de análisis más completos.

3.2.3. SIMULACIÓN DE PATRONES CLIMÁTICOS OBSERVADOS

Centella *et al.*, (2009), demuestran que las simulaciones con PRECIS reflejan la existencia de sesgos asociados principalmente al campo de las precipitaciones, con una tendencia a reflejar menos precipitaciones que las observadas. Los errores tienden a ser mayores sobre América Central. Estos autores demuestran, sin embargo, que el Modelo Climático Regional capta más detalles del clima de la región a la misma vez que es capaz de reproducir con mejor habilidad (menor error) el comportamiento de la temperatura y la precipitación, tanto en la meso escala como a gran escala. Debe notarse, que existen varios aspectos que complican el proceso de evaluación de la habilidad de los modelos. La identificación de errores en los modelos es un proceso difícil, debido a la compleja, y a veces poco comprendida, naturaleza del clima (asociada al complejo funcionamiento del sistema climático), razón por la que es difícil definir cuál de los muchos elementos del clima es más importante para concluir que se tiene una buena simulación. Uno de los aspectos que hace complejo este ejercicio,

se relaciona con el hecho de que los resultados de los modelos climáticos deben ser comparados con observaciones presentes o pasadas. Pero, las observaciones presentes no constituyen en sí mismas una muestra independiente, dado que ellas son utilizadas en el desarrollo propio de los modelos y en la afinación de los mismos.

Otro elemento importante es la necesaria existencia de datos observados fiables y consistentes del clima actual, los cuales deben ser utilizados como patrón de comparación. En tal sentido, a veces las diferencias entre las bases de datos observados son notables y reflejan la existencia de significativas incertidumbres en el clima observado, que en ocasiones son superiores a los sesgos de los resultados de los modelos. En este contexto es importante resaltar que la evaluación de un buen desempeño para las condiciones actuales no garantiza una realización de una predicción adecuada para el futuro.

3.3. PRECIS: PATRONES CLIMÁTICOS FUTUROS

3.3.1. REGIÓN DEL CARIBE

La figura 3.2 muestra el patrón de cambio de la temperatura anual para el período 2071-2099, de acuerdo con los experimentos perturbados, según los escenarios de emisiones A2 y B2. Se aprecia un sustancial calentamiento en toda la región de estudio, con incrementos de temperatura superiores sobre zonas terrestres respecto a los mares adyacentes. Ese incremento es el resultado de una menor pérdida de calor por evaporación sobre tierra, así como a la mayor inercia térmica del océano (IPCC 2001). El calentamiento observado sobre áreas terrestres es del orden de 4,5 °C para el escenario A2 y 2,8 °C para el B2.

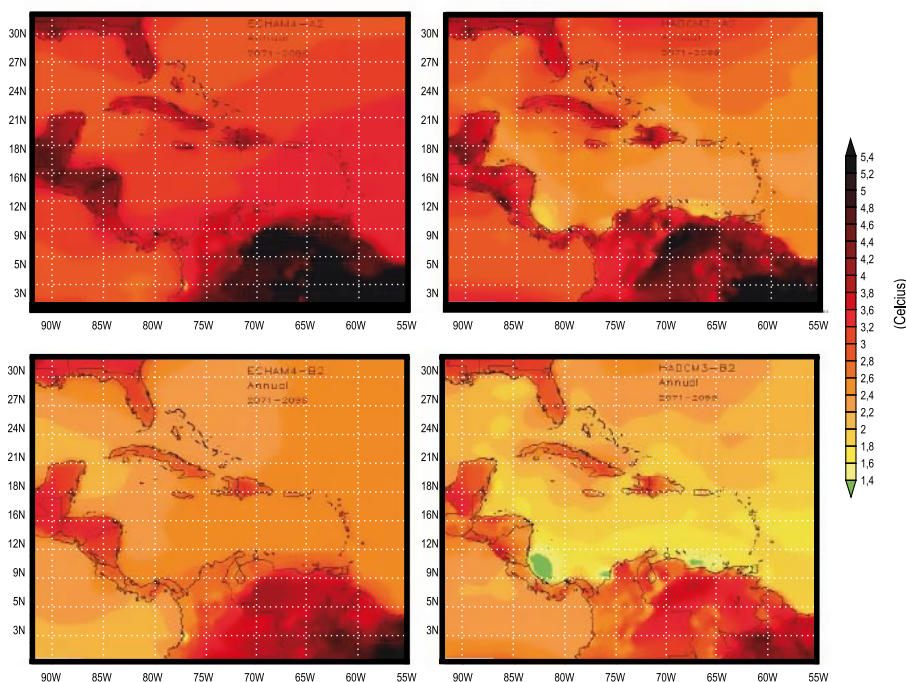


Figura 3.2. Patrones de cambio de la temperatura media anual para el período 2071-2099 con respecto a 1961-1989. EA2 y EB2 se corresponden con los paneles izquierdos (superior e inferior, respectivamente), mientras que HA2 y HB2 se asocian con los de la derecha

El calentamiento es sustancialmente superior en los resultados asociados al forzamiento del MCG ECHAM4, principalmente sobre áreas de América Central y América del Sur. También se puede apreciar con bastante claridad que la respuesta del patrón de temperatura parece tener una relación lineal con respecto al escenario de emisiones. En buena medida, esta relación casi lineal ha servido de fundamento en el desarrollo de la técnica de escalamiento de patrones propuesta por Santer (1990) y explicada por Mitchell (2003). La distribución de los gradientes de temperatura entre una y otra simulación, también resulta diferente y mientras las simulaciones HA2 y HB2 presentan un gradiente norte-sur, los resultados asociados con el modelo ECHAM4 reflejan un gradiente este-oeste en la distribución de las anomalías.

Los patrones de cambio de las precipitaciones (figura 3.3) muestran un futuro más seco en varias áreas del Caribe, con una significativa reducción de las precipitaciones en la banda latitudinal (entre el 10 y 50%), que comprende el Mar Caribe, Centro América y el noroeste de América del Sur. Las simulaciones asociadas al MCG HadA presentan zonas de incremento de las lluvias en el área que se encuentra por encima de los 24°N (10% y 30%), así como sobre Costa Rica, Panamá y partes de Colombia (10% y 70%). En el período lluvioso las áreas de reducción de las precipitaciones aparecen más expandidas (figura 3.4), tanto en espacio como en magnitud.

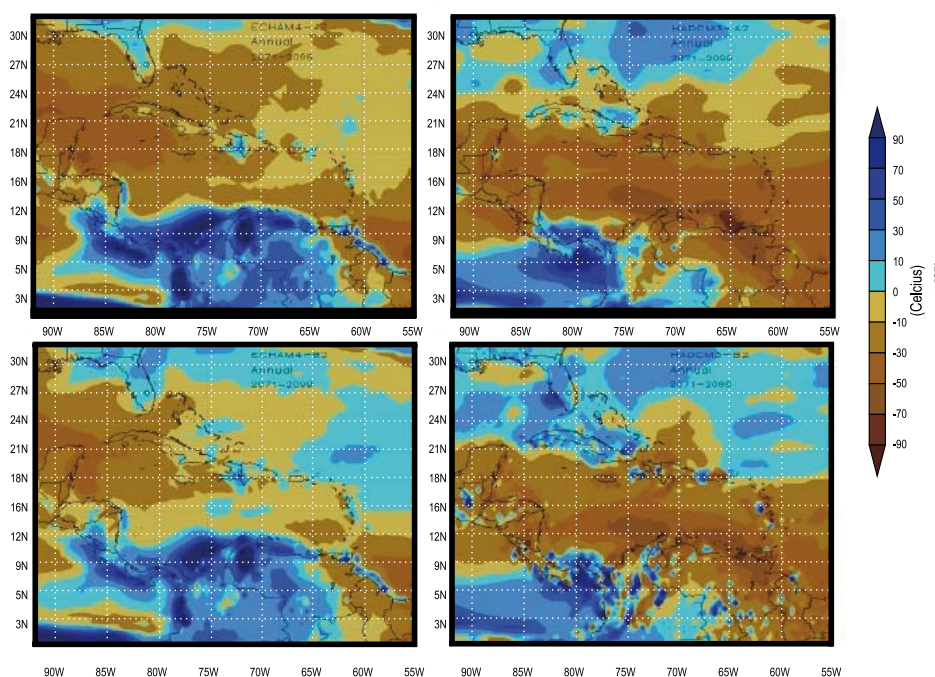


Figura 3.3. Patrones de cambio de la precipitación anual (%) para el período 2071-2099 con respecto a 1961-1989. EA2 y EB2 se corresponden con los paneles izquierdos (superior e inferior, respectivamente), mientras que HA2 y HB2 se asocian con los de la derecha

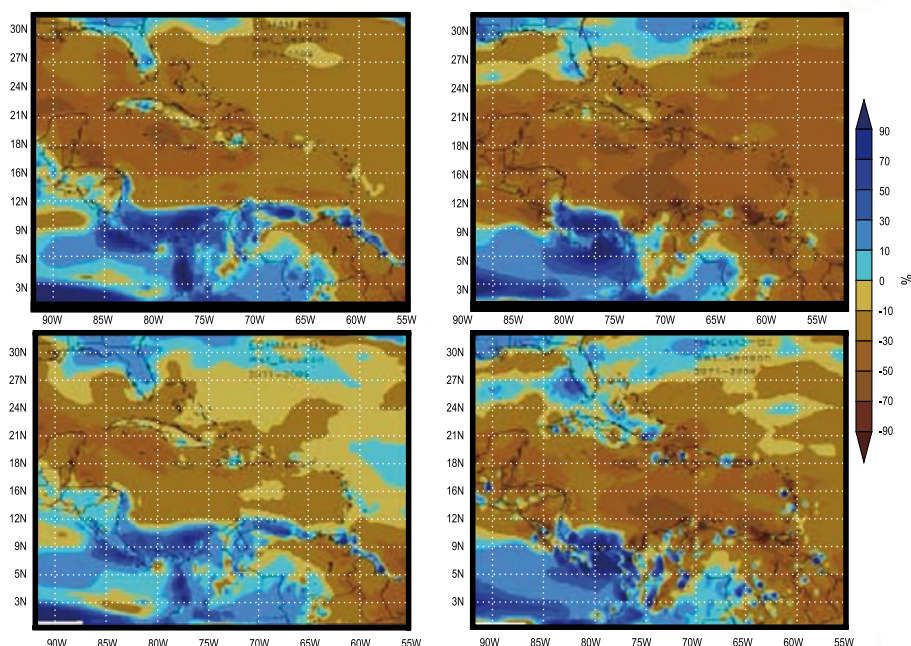


Figura 3.4. Patrones de cambio de la precipitación (%) en el período lluvioso (mayo-octubre) para el período 2071-2099 con respecto a 1961-1989. EA2 y EB2 se corresponden con los paneles izquierdos (superior e inferior, respectivamente), mientras que HA2 y HB2 se asocian con los de la derecha

3.3.2. CUBA

Sobre Cuba la temperatura superficial del aire para el período 2071-2099 tendrá una tasa de incremento superior en los meses de verano (período lluvioso), en comparación con la del período poco lluvioso (figura 3.5). En el primer caso, los mayores incrementos se asocian a las estimaciones con el forzamiento del modelo ECHAM4, mientras que en el segundo se vinculan con las del HadAM3P. Se observa también la clara coincidencia en la señal de incremento de la temperatura en todas las zonas y la respuesta directa de la misma al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero que reflejan ambos escenarios.

En términos generales, durante el período seco, los incrementos de temperatura sobre la región del sur de La Habana oscilarán entre 2,6 °C y 3,6 °C, siendo relativamente menores para EB2. Para los meses de mayo a octubre los incrementos de temperatura proyectados son superiores llegando a alcanzar magnitudes de 4,2 °C (en la simulación EA2).

A diferencia de la elevada coherencia que existe entre las estimaciones futuras de la temperatura del aire, los resultados de la precipitación muestran una mayor dispersión de valores tanto en magnitud como en signo (figura 3.6). Esto se aprecia principalmente, en los estimados correspondientes al período poco lluvioso sobre la región occidental. Considerando las cuatro simulaciones, los valores oscilan entre el -30% y 30% sobre el sur de La Habana y las mayores diferencias se aprecian entre los modelos y no entre los escenarios de emisiones. Para el período lluvioso, el nivel de coincidencia es mayor sobre casi todo el país y los resultados indican que sobre la región del estudio de caso, la precipitación podrá disminuir entre un 10 y un 20%, y solo en una proyección se estiman incrementos marginales del 10%, muy cerca de la costa sur de la llanura Habana-Matanzas.

El incremento de la temperatura y la reducción predominante de la precipitación en el período lluvioso sobre la región de La Habana, son coherentes con la disminución de la humedad relativa del aire. Este hecho parece indicar que como en otras regiones del país, la región de las provincias Mayabeque y Artemisa, presentará condiciones más secas que las actuales y que el efecto combinado del intenso calentamiento futuro y la reducción de las precipitaciones, principalmente durante el período lluvioso, producirá una merma de los recursos hídricos disponibles. Este hecho debe ser comprobado y cuantificado a partir de las estimaciones de otras variables como el viento y la radiación solar, para poder evaluar adecuadamente sus implicaciones. En el caso de la velocidad del viento puede mencionarse que sus magnitudes no presentarán variaciones sustanciales, aunque en términos generales sus valores indican una ligera reducción en el futuro.

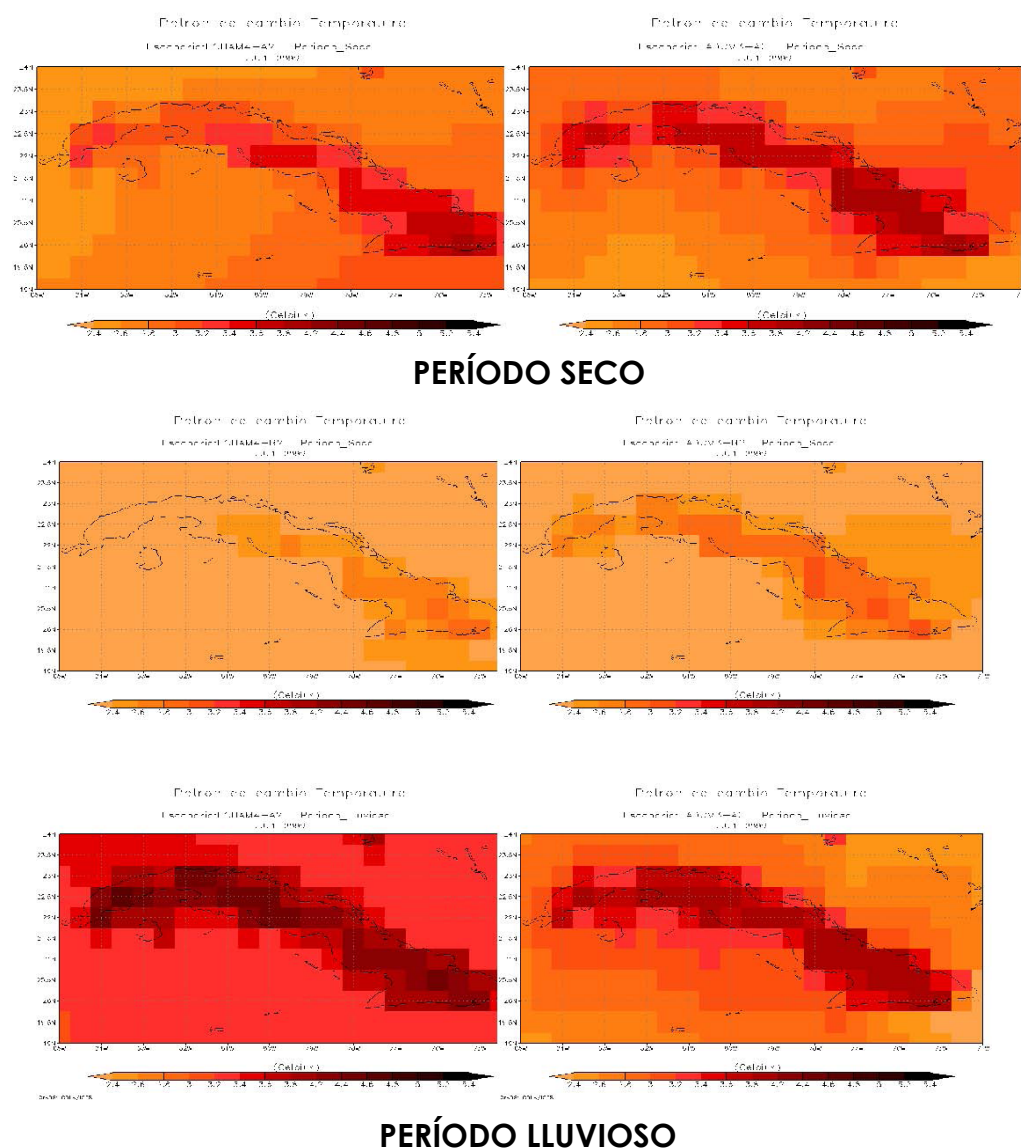


Figura 3.5. Patrones de cambio de la temperatura media estacional para el período 2071-2099 con respecto a 1961-1989. Las columnas izquierda y derecha se asocian con las simulaciones ECHAM4 y HadAM3P

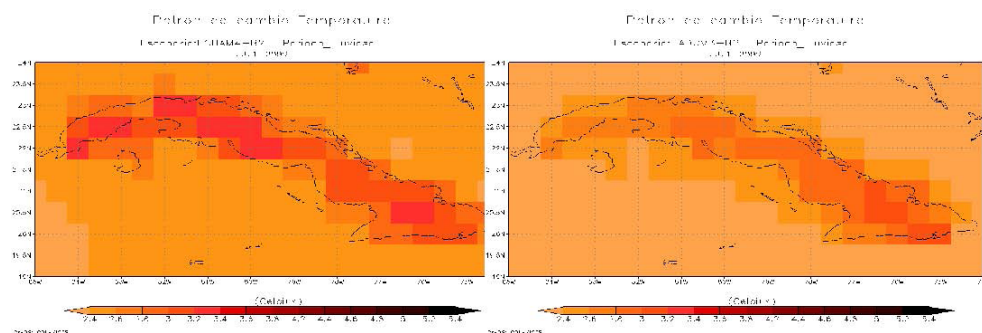


Figura 3.5. Patrones de cambio de la temperatura media estacional para el período 2071-2099 con respecto a 1961-1989. Las columnas izquierda y derecha se asocian con las simulaciones ECHAM4 y HadAM3P

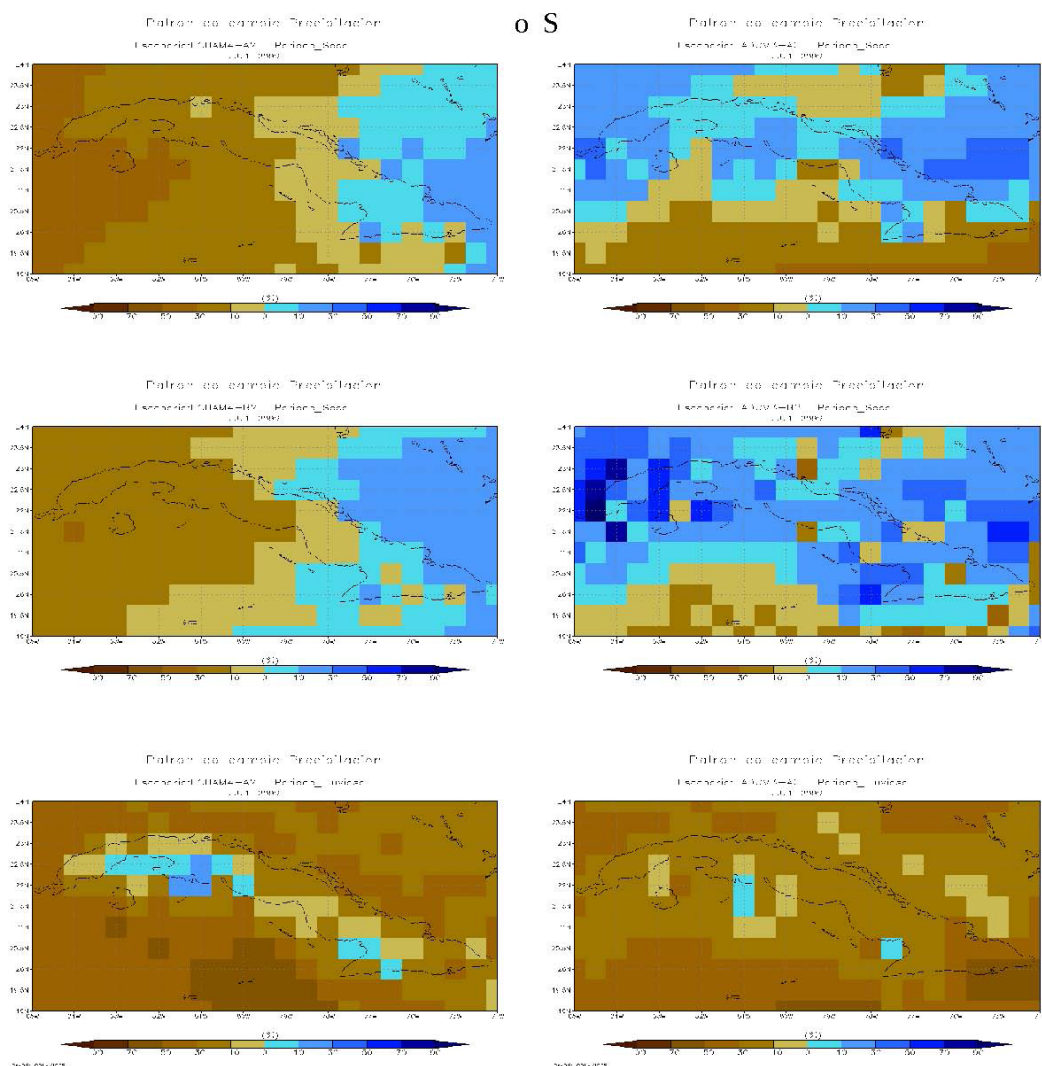


Figura 3.6. Patrones de cambio de la precipitación estacional para el período 2071-2099 con respecto a 1961-1989. Las columnas izquierda y derecha se asocian con las simulaciones ECHAM4 y HadAM3P

3.3.3. ANÁLISIS DE LAS INCERTIDUMBRES

Las predicciones realizadas presentan rasgos comunes en dependencia de la zona geográfica que se considere. Este nivel de coincidencia, que es alto en el caso de la temperatura, donde todas las estimaciones indican un calentamiento notable, no es tan claro para la precipitación. En la figura 3.7 se puede apreciar que existen grandes zonas del Mar Caribe donde la señal de reducción de las precipitaciones es bastante clara y el nivel de incertidumbre es relativamente bajo. Lo mismo sucede en otras zonas donde el incremento de las precipitaciones tiene una alta coincidencia en los resultados. No obstante, hay otras regiones donde la incertidumbre es alta, pues unos experimentos indican incrementos, mientras que otros producen reducciones en las precipitaciones para el período 2071-2099.

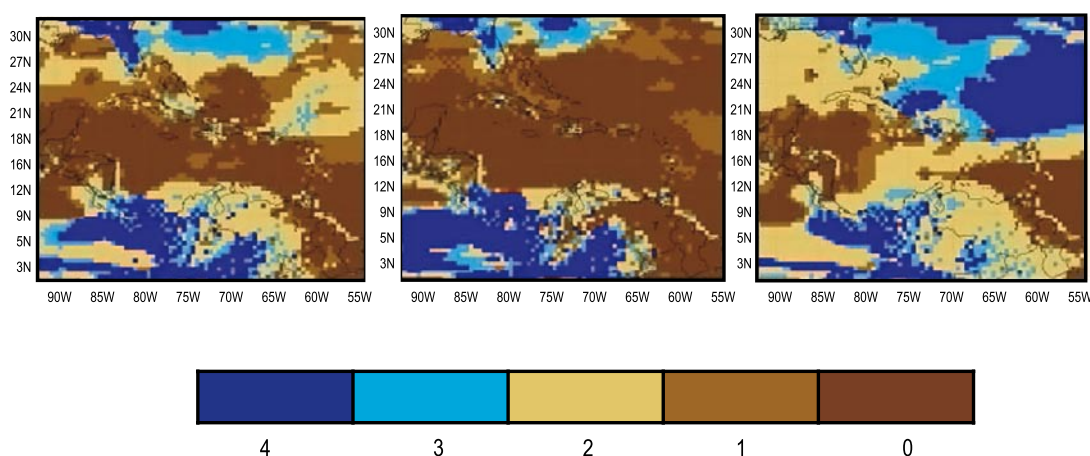


Figura 3.7. Número de simulaciones que proyectan un incremento de las precipitaciones para el período 2071-2099. Las zonas en carmelita indican una elevada coincidencia en la reducción de las lluvias

Sobre Cuba se aprecian zonas donde la incertidumbre no parece mostrar los rasgos generales que caracterizan la zona del Mar Caribe. Por esa razón, en la figura 3.8 se ofrece una visión más detallada de esta evaluación sobre Cuba, donde es posible apreciar que la reducción de las precipitaciones tiene una baja incertidumbre en el período donde una reducción de las lluvias tiene un peso e importancia mayor. En el período poco lluvioso la incertidumbre es mayor, pudiéndose interpretar que el cambio proyectado entre -30 y 30% es altamente incierto.

Como es conocido, los resultados que ofrecen los Modelos Climáticos Regionales (MCR), dependen en gran medida de las condiciones de contorno con los que son forzados, por esa razón un mismo modelo puede brindar proyecciones distintas si es alimentado con las salidas de diferentes modelos globales. En este caso, PRECIS fue forzado únicamente por dos modelos globales (ECHAM4 y HadAM3P) y por ende, la posibilidad de abarcar un amplio rango de la incertidumbre asociada a la modelación regional es relativamente reducida. Para abarcar un mayor rango de esa incertidumbre sería necesario realizar las correspondientes simulaciones con PRECIS alimentadas con otros Modelos Climáticos Globales (MCG). Al margen de que esa es una aspiración

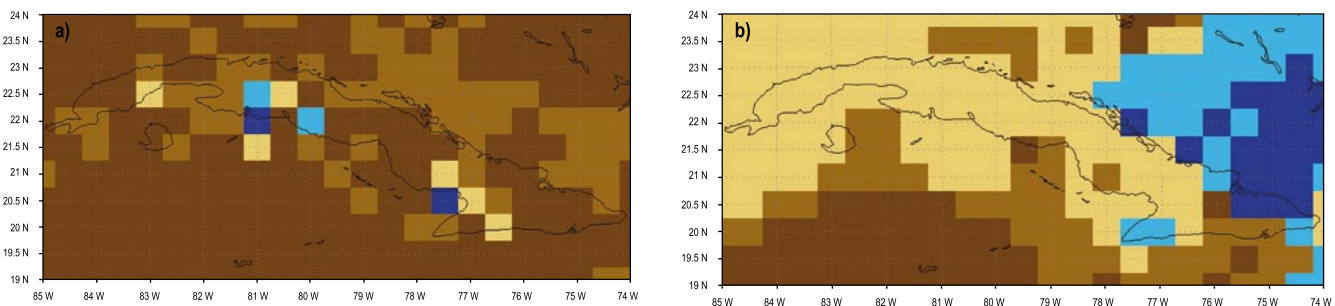


Figura 3.8. Similar a la figura 3.7, pero con mayor detalle sobre Cuba y considerando solo los períodos lluvioso (a) y seco (b)

dentro del desarrollo futuro, existen limitaciones tecnológicas actuales que impiden su realización. Por demás, las condiciones de frontera necesarias para tal ejercicio no están disponibles.

Una manera de reflejar cuán diferentes pueden ser las estimaciones realizadas con PRECIS, de aquellas que podrían desarrollarse con otros MCG, es poner los resultados del primero en el contexto de los segundos. Para esto, los datos del MCR fueron agregados a la rejilla de los MCG, para permitir su comparación. El marco de comparación de los MCG fue creado a partir de las salidas de varios MCG, empleando el sistema MAGICC/SCENGEN 3.1 (Wigley, 2004). Esta herramienta combina los resultados de un modelo climático simple con las salidas de los MCG, mediante la técnica de escalamiento de patrones (Santer, 1990), con la finalidad de poner las salidas de estos últimos en función de una variada diversidad de parámetros diferentes, como pueden ser: la sensibilidad climática, los escenarios de emisiones, el forzamiento de los aerosoles, el ciclo del carbono (Hulme *et al.*, 2000). MAGICC/SCENGEN fue la herramienta utilizada para generar los primeros escenarios de cambio climático sobre Cuba (Centella *et al.*, 1999), aunque en una versión más antigua.

En este trabajo se procedió de la manera siguiente:

Primero, se seleccionó el conjunto de MCG con mejor desempeño en la simulación del clima del área de estudio, utilizando los criterios de habilidad y convergencia propuestos por Giorgi y Mears (2002). En síntesis, el criterio de habilidad se basa en el desempeño que los MCG muestran en simular el clima actual, mientras que la convergencia se relaciona con el grado de coincidencia en representar el clima futuro. Para ello se utilizan diferentes estadígrafos, que incluyen: la correlación espacial, el error medio cuadrático, el sesgo y el error medio cuadrático con el sesgo removido (Wigley, 2004), así como el índice desarrollado por Reichler y Kim (2008), que considera el desempeño de los MCG en la representación del comportamiento de varias variables meteorológicas, en una dirección similar al Índice de Predictabilidad Climática desarrollado por Murphy *et al.*, (2004). Todos estos indicadores son calculados explícitamente por MAGICC/SCENGEN.

Segundo, se utilizaron los valores de los diferentes estadígrafos para ordenar los modelos (18 de los modelos considerados en el Cuarto Informe de Evaluación Científica del IPCC, IPCC (2007), siguiendo un sistema semi cuantitativo que se

basó en premiar a los modelos con mejor desempeño y penalizar a los peores. Las estadísticas utilizadas consideran el desempeño de los modelos a nivel global y sobre Cuba. El mayor puntaje lo alcanzan aquellos modelos con mejor desempeño a nivel global/regional (en función del valor de los estadígrafos). Como los estadígrafos utilizados son cinco y cada uno se evalúa a nivel global y regional, el máximo de puntos que puede obtener un modelo es 10 y el más bajo es -10.

La tabla 3.2 muestra los resultados de la evaluación realizada. Aquí se consideran los mejores 14 modelos, desechando los cuatro que mostraron un peor desempeño. La comparación de los resultados del subconjunto de estos 14 modelos (se realizan solo para la precipitación), con los obtenidos con PRECIS (figura 3.9), puede brindar una idea sobre el nivel de coincidencia entre las estimaciones futuras del MCR y un conjunto amplio de MCG. Ese acuerdo puede permitir la obtención de conclusiones más o menos robustas en relación con las estimaciones realizadas del futuro comportamiento de las precipitaciones en Cuba.

Para hacer viables las comparaciones, las proyecciones generadas con MAGICC/SCENGEN se realizaron considerando el período de 30 años centrado en el año 2085, el cual se corresponde con el utilizado en PRECIS. De igual forma se usó el escenario de emisiones SRESA2 y se consideró el efecto de los aerosoles de sulfato como uno de los parámetros para la corrida del modelo simple.

Los resultados obtenidos con PRECIS y los que reflejan los MCG son consistentes en indicar un patrón de menos precipitaciones durante los meses más lluviosos en Cuba. La coincidencia mostrada entre las diferentes simulaciones brinda mayor robustez a la idea de que el patrón de precipitaciones futuro indica una reducción de las lluvias sobre la región del Caribe y, particularmente, sobre Cuba.

En el caso de la temperatura superficial del aire, las proyecciones del MCR tienden a reflejar incrementos bastante superiores a los que se derivan del conjunto de MCG. Los mayores incrementos se vinculan a los resultados de la simulación EA2. Las mayores discrepancias se producen en las cuadrículas ubicadas sobre las áreas terrestres, pudiendo indicar que el mayor calentamiento proyectado por el modelo regional se relaciona con la mejor representación de las áreas terrestres. La mayor resolución espacial de los modelos regionales permite representar mejor las zonas terrestres y reproducir mejor las diferencias que se producen en el calentamiento, debido a la menor pérdida de calor por evaporación sobre tierra y a la mayor inercia térmica del océano. Cuando el MCG reproduce un menor calentamiento de la superficie al considerarla mayormente como superficie oceánica, el MCR puede incorporar de forma más realista zonas terrestres y por ende, producir valores de temperatura superiores.

El patrón de lluvias proyectado por PRECIS puede estar conectado con cambios en el futuro comportamiento de los eventos de precipitaciones extremas. Por esta razón, se realiza un análisis relacionado con las modificaciones futuras en el comportamiento de tres indicadores asociados con la ocurrencia de eventos extremos de las precipitaciones. Estos indicadores se describen en la tabla 3.3, siguiendo las descripciones de Frich *et al.*, (2002).

Tabla 3.2. Estadísticas de validación utilizadas para ordenar/seleccionar los MCG utilizados en la comparación con las salidas de PRECIS

NO.	PTO.	A.F.	MODELO	r2 ESPACIAL		RMSE mm/día		SESGO mm/día		CORR. mm
1	10	SI	CCCMA-31	0,89	0,85	0,95	0,72	- 0,01	0	0,95
2	8	SI	MRI-232A	0,89	0,71	0,97	1,16	- 0,08	- 0,53	0,96
3	7		GFDLCM20	0,87	0,76	1,10	1,24	0,09	- 0,03	1,10
4	5	SI	ECHO-G	0,91	0,74	0,86	1,15	0,13	0,59	0,85
5	4		GFDLCM21	0,86	0,69	1,15	1,27	0,22	- 0,86	1,13
6	1		MPIECH-5	0,81	0,7	1,35	0,95	0,25	-0,01	1,33
7	1		UKHADGEM	0,80	0,8	1,61	1,10	0,39	-0,19	1,57
8	1		MIROCMED	0,83	0,64	1,16	1,88	0,04	- 1,65	1,16
9	0		UKHADCM3	0,86	0,55	1,26	1,29	0,23	- 0,55	1,24
10	- 1		GISS-EH	0,73	0,66	1,51	0,88	0,34	0,21	1,47
11	- 1		CNRM-CM3	0,77	0,62	1,44	0,94	0,54	0,25	1,33
12	- 2		BCCRBCM2	0,79	0,63	1,31	1,09	0,31	0,53	1,28
13	- 3		MIROC-HI	0,80	0,72	1,34	1,60	0,28	- 1,26	1,31
14	- 4		IPSL_CM4	0,81	0,48	1,27	2,11	- 0,09	- 1,80	1,27
15	- 4		CSIRO-30	0,81	- 0,13	1,21	2,55	- 0,16	- 1,99	1,20
16	- 6		CCSM-30	0,80	0,06	1,33	2,32	0,16	- 1,56	1,32
17	- 8		NCARPCM1	0,67	0,28	1,72	1,74	0,34	- 1,03	1,68
18	- 8	SI	INMCM-30	0,70	0,08	1,61	1,96	0,12	- 1,28	1,60
PROMEDIO TODOS				0,810	0,546	1,285	1,441	0,171	-0,665	1,263
PROMEDIO 14 GCMS				0,829	0,681	1,234	1,240	0,187	-0,436	1,210

Nota: para cada estadígrafo la primera columna refleja los resultados a nivel global, mientras que la segunda se relaciona con los estimados para la región del Caribe. La columna AF refleja aquellos modelos con ajuste de flujo, mientras que la Pto representa el puntaje de premiación/penalización obtenido a partir de los valores de los diferentes estadígrafos

Tabla 3.3. Descripción de los índices extremos de la precipitación

ÍNDICE	UNIDADES	DEFINICIÓN
CW D	días	Número de días consecutivos húmedos: es el número máximo de días consecutivos en el año donde la precipitación es superior a 1 mm
R5 d	mm	Máxima cantidad de precipitación acumulada en 5 días consecutivos
SDI I	mm/día	Indicador simplificado de la intensidad de las precipitaciones. Se obtiene dividiendo el acumulado anual de las precipitaciones entre en número de días con lluvias superiores a 1 mm

La distribución espacial de los diferentes indicadores, muestra en general poca coincidencia como se puede apreciar en la figura 3.9, la cual está más asociada a las diferencias en el forzamiento de los dos MCG, que a las asociadas al producido por diferentes escenarios de emisiones. En el caso del número de días consecutivos húmedos en el año, la dispersión de los patrones espaciales es menor, reflejando una reducción más o menos marcada en todas las áreas, excepto sobre Panamá. En los otros indicadores, donde la dispersión es mayor, existe poca incertidumbre en zonas de América del Sur y el Istmo de Panamá.

Sobre Cuba se aprecia un predominio a la reducción del número de días consecutivos húmedos, el cual es más generalizado sobre las provincias de Mayabeque y Artemisa. Sin embargo, el cambio de este indicador de un período a otro resulta relativamente bajo del orden de uno a cuatro días menos. En el caso de la intensidad anual de las precipitaciones el cambio proyectado, aun cuando refleja incertidumbre en cuanto al signo del cambio, las magnitudes oscilan por lo general entre -0,5 y 0,5 mm/día, sugiriendo un futuro comportamiento similar al actual. En el caso del indicador R5D, el cual se asocia a procesos lluviosos, la incertidumbre de las proyecciones es evidente, ofreciendo una imagen menos clara del futuro comportamiento asociado a este tipo de evento extremo del régimen de precipitaciones.

Debe notarse, que los resultados relacionados con los eventos extremos descritos, requieren de un análisis más profundo que el realizado en este estudio, con el fin de comprender la naturaleza de los cambios que se producirán en los procesos atmosféricos que generan dichos extremos. Solo así podrá llegarse a conclusiones más apropiadas y sólidas respecto a los cambios aquí analizados.

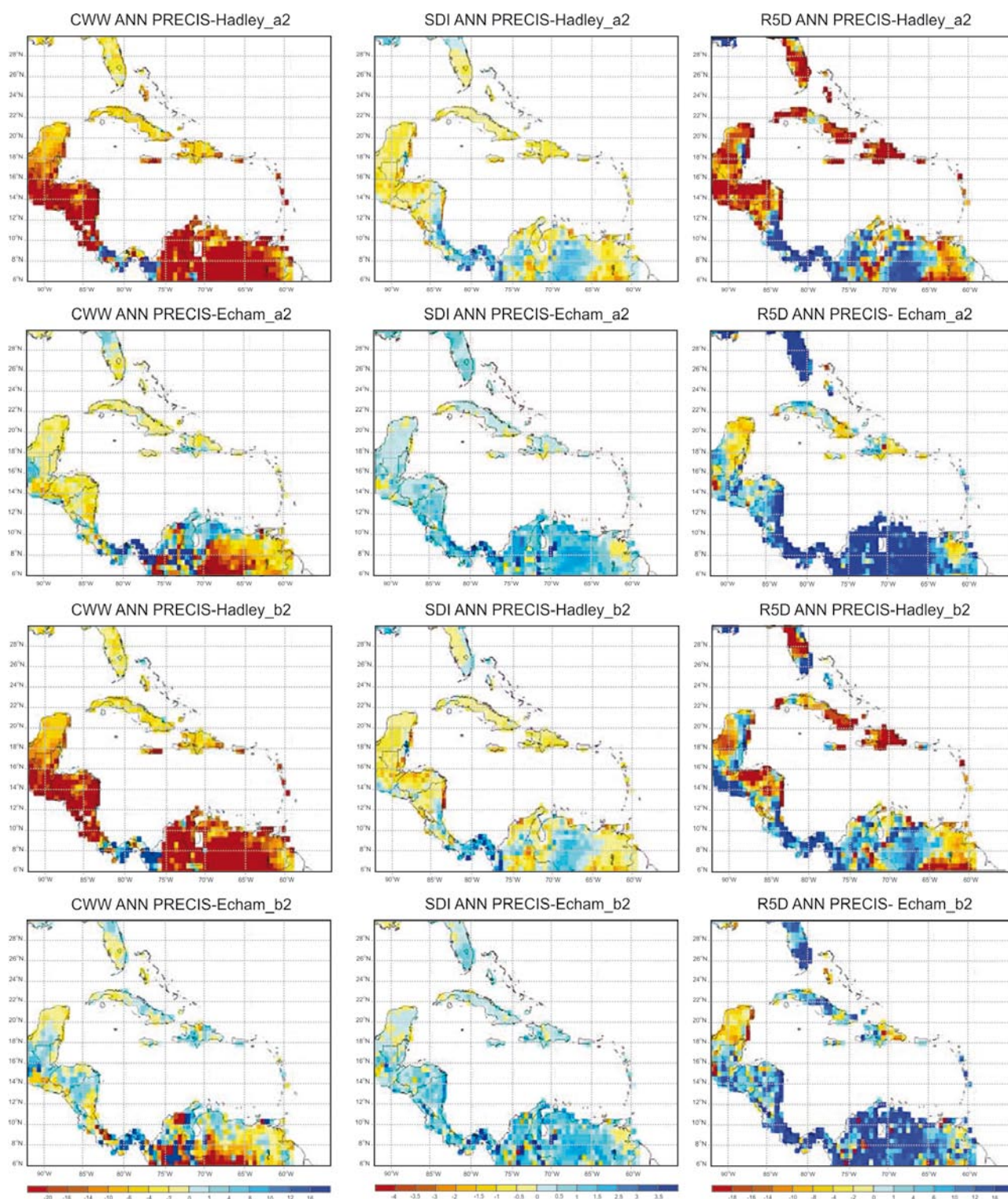


Figura 3.9. Cambios en los índices extremos de la precipitación proyectados para el período 2071-2099 con respecto a 1961-1989. Las dos primeras filas se asocian con los experimentos HA2 y HB2, mientras que las dos últimas se relacionan con EA2 y EB2, respectivamente

BIBLIOGRAFÍA

1. Angeles, M.E., J.E. Gonzalez, D.J. Erickson, and J.L. Hernández, (2007): Predictions of change in the Caribbean region using global general circulation models *Int. J. Climatol.*, 27, 555-569, doi:10.1002/joc.1416.
2. Centella A., T. Gutiérrez, M. Limia and R. Rivero-Jaspe (1999): Climate Change scenarios for impact studies in Cuba. *Climate Research*, 12, 223-230.
3. Centella A., A. Bezanilla and K. Leslie (2008): A Study of the Uncertainty in Future Caribbean Climate Using the PRECIS Regional Climate Model. Technical Report, Community Caribbean Climate Change Center, Belmopan, 16pp.
4. Claussen, M. *et al.*, (2002): Earth system models of intermediate complexity: closing the gap in the spectrum of climate system models. *Clim. Dyn.*, 18, 579-586.
5. Collins, M., Ben B. Booth, Glen R. Harris James M. Murphy, David M. H. Sexton Mark J. Webb (2006): Towards quantifying uncertainty in transient climate change. *Clim. Dyn.*, 27, 127-147.
6. Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Raisanen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton (2007): Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and 32 New York, NY, USA.
7. Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G. and Peterson, T. (2002): Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.*, 19, 193-212.
8. Friedlingstein, P., Cox, P., Betts, R., Bopp, L., von Bloh, W. and coauthors (2006): Climate – carbon cycle feedback analysis: results from the C4MIP model intercomparison. *J. Climate* 19, 3337-3353.
9. Giorgi, F. y N. Diffenbaugh, 2008: Developing regional climate change scenarios for use in assessment of effects on human health and disease. *Climate Research*. 36, 141-151.
10. Giorgi, F. and Mearns, L. O. (2002). Calculation of average, uncertainty range, and reliability of regional climate changes from AOGCM simulations via the "reliability ensemble averaging" (REA) method. *J. Climate* 15, 1141-1158.
11. Gordon, C., C. Cooper, C. A. Senior, H. Banks, J. M. Gregory, T. C. Johns, J. F. B. Mitchell and R. A. Wood (2000): The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Clim. Dyn.*, 16:147-168.
12. Haites, E., D. Pantin, M. Attzs, J. Bruce and J. MacKinnon (2002): Assessment of the Impact of Climate Change on CARICOM Countries. Environmentally and Socially Sustainable Development-Latin America and Caribbean Region, the World Bank.
13. Harvey, D. *et al.*, (1997): An Introduction to Simple Climate Models Used in the IPCC Second Assessment Report. IPCC Technical Paper 2 [Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, D.J. Griggs, and K. Maskell (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 51 pp.
14. Hewitt, C. D., and D. J. Griggs (2004): Ensembles-Based Predictions of Climate Changes and Their Impacts, *Eos Trans. AGU*, 85(52), doi: 10.1029/2004EO520005.
15. Hulme, M., T.M.L. Wigley, E.M. Barrow, S.C.B. Raper, A. Centella, S. Smith and A.C. Chipanshi (2000): Using a Climate Scenario Generator for Vulnerability and Adaptation Assessments: MAGICC and SCENGEN Version 2.4 Workbook, Climatic Research Unit, Norwich, UK, 52 pp.
16. Hudson D., and Jones R (2002): Regional climate model simulations of present day and future climates of southern Africa. Hadley Center Technical Note 39, Hadley Center for Climate Prediction and Research, Met Office, Bracknell, U. K.

17. Hulme, M., Jenkins, G. J., Lu, X., Turnpenny, J. R., Mitchell, T. D., Jones, R. G., Lowe, J., Murphy, J. M., Hassell, D., Boorman, P., McDonald, R. and Hill, S. (2002): *Climate Change Scenarios for the United Kingdom: The UKCIP02 Scientific Report*, Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, UK. 120 pp.
18. IPCC, (2007): *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
19. Jenkins G., J. Lowe (2003): *Handling uncertainties in the UKCIP02 scenarios of climate change* Hadley Center Tech Note 44.
20. Jones, R. G., Murphy, J. M. and Noguer, M. (1995): *Simulation of climate change over Europe using a nested regional-climate model. I: Assessment of control climate, including sensitivity to location of lateral boundaries*. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 121, 1413-1449.
21. Jones R. G., Noguer M., Hassell D. C., Hudson D., Wilson S., Jenkins G., and Mitchell, J. (2004): *Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS*. Met Office Hadley Center, Exeter, UK, 40 pp.
22. Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell, Saha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Leetmaa A, Reynolds B, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo KC, Ropelewski C, Wang J, Jenne R, Joseph D. (1996): *The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project*. *Bull Am Meteorol. Soc* 77:437-47.
23. Kumar, K. R., A. K. Sahai, K. Krishna Kumar, S. K. Patwardhan, P. K. Mishra, J. V. Revadekar, K. Kamala and G. B. Pant (2006): *High-resolution climate change scenarios for India for the 21st century*. *CURRENT SCIENCE*, vol. 90, NO. 3, 10, 334-345 p.
24. Leggett, J (edit) 1992: *"Emissions Scenarios for the IPCC: an Update"*, *Climate Change (1992): The Supplementary Report to The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, UK, pp. 68-95
25. Marengo J., R Jones, L. Alves., C. Malverde (2009): *Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from 34 35 the PRECIS regional climate modeling system*. *Int J Climatol*. DOI: 10.1002/joc.
26. Martinez D., R. Porfirio da Rocha, A. Bezanilla-Morlot, L. Alvarez-Escudero, J. P. Reyes-Fernández, Y. Silva-Vidal and R. W. Arritt (2006): *Sensitivity studies of the RegCM3 simulation of summer precipitation, temperature and local wind field in the Caribbean Region*, *Theoretical and Applied Climatology*, volume 86, 5-22.
27. Mearns, L. O., F. Giorgi, P. Whetton, D. Pabon, M. Hulme and M. Lal (2003): *Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments*, IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis, 38 pp.
28. Mearns L. (2004): *NARCCAP North American regional climate change assessment program A multiple AOGCM and RCM climate scenario project over North America*. AGU Fall Meeting. 12/17/2004. San Francisco.
29. Mitchell, T. D. (2000): *An investigation of the pattern scaling technique for describing future climate*. PhD Thesis, University of East Anglia, 2001.
30. Mitchell T. D. (2003): *Pattern scaling: an examination of the accuracy of the technique for describing future climates*. *Clim Change* 60: 217-242.
31. Murphy, J. M., D. M. H. Sexton, D. N. Barnett, G. S. Jones, M. J. Webb, M. Collins, and D. A. Stainforth (2004): *Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations*. *Nature*, 430, 768-772.
32. Moss R, Jae Edmonds, Kathy Hibbard, Tim Carter, Seita Emori, Mikiko Kainuma, Tom Kram, Martin Manning, Jerry Meehl, John Mitchell, Nebojsa Nakicenovic, Keywan Riahi, Steven Rose, Steve Smith, Ron Stouffer, Allison Thomson, Detlef van Vuuren, John Weyant, and

- Tom Willbanks (2008): Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 25 pp. ISBN: 978-92-9169-124-1.
33. Nakicenovic, N., and R. Swart (eds.), (2000): Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
 34. Nuñez M., Solman S, Cabre MF. (2008): Regional climate change experiments over southern South America. II: Climate change scenarios in the late twenty-first century. *Climate Dynamics* 30: 533–552, DOI: 10.1007/s00382-007-0304-3.
 35. Raisanen J. (2007): How reliable are climate models? *Tellus A*, vol: 59, no. 1: 2-29
 36. Rausher S., F. Giorgi, N. Diffenbaughy A. Seth (2008): Extension and Intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century, *Clim Dyn*, DOI 10.1007/s00382-007-0359-1.
 37. Rayner, N.A., Parker, D.E., Horton, E.B., Folland, C.K., Alexander, L.V., Rowell, D.P., Kent, E.C. and Kaplan, A. (2002). Global analyses of SST, sea ice and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geographical Research*.
 38. Reichler, T. and Kim, J. (2008): How well do coupled models simulate today's climate? *Bull. Amer. Met. Soc.* 89, 303–11.
 39. Rivington M, Miller D, Matthews K B, Russell G, Buchan K. (2008): Evaluating Regional Climate Model estimates against site-specific observed data in the UK. *Climatic Change* 88(2):157-185.
 40. Sanchez-Gómez *et al.*, (2008): Ability of an ensemble of regional climate models to reproduce weather regimes over Europe-Atlantic during the period 1961–2000. *Clim Dyn* 33, 723-736.
 41. Santer BD, Wigley TML, Schlesinger ME, Mitchell JFB. (1990): Developing climate scenarios from equilibrium GCM results. Report nNo. 47, Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg.
 42. Solomon S. Gian-Kasper Plattner, Reto Knutti, and Pierre Friedlingstein (2009): Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions. *Proc Natl Acad Sci USA* No. 106: 1704-1709.
 43. Taylor, M. A., Centella, A., Charlery, J., Borrajeró, I., Bezanilla, A., Campbell, J. D. *et al.*, (2007): Glimpses of the future: A briefing from the PRECIS Caribbean climate change project, Caribbean Community Climate Change Centre, Belmopan, Belize. 24 pp.
 44. Wang C, Lee SK (2007): Atlantic warm pool, Caribbean low-level jet, and their potential impact on Atlantic hurricanes. *Geophys Res Lett* 34. doi:10.1029/2006GL028579.
 45. Whetton, P.H. *et al.*, (2001): Developing scenarios of climate change for Southeastern Australia: An example using regional climate model output. *Clim. Res.*, 16(3), 181–201.
 46. Wigley, T.M.L. and Raper, S.C.B. (1992): Implications for climate and sea level of revised IPCC emissions scenarios. *Nature* 357, 293-300.
 47. Wilby, R.L., C.W. Dawson, and E.M. Barrow (2002): SDSM – A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environ Model. Software*, 17, 147–159.
 48. Wilby, R.L, S.P. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton and L.O. Mearns (2004): Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods, IPCC Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis, 27 pp.
 49. Wilson, S. S., D. C. Hassell, D. Hein, R. G. Jones and R. B. E. Taylor (2006): Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system PRECIS. Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
 50. Xie, P. and Arkin, P.A. (1997): Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates and numerical model outputs. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78: 2539-2558.



Comunidad Las Terrazas en Pinar del Río
Foto: Richard Molina

CAPÍTULO 4

RECURSOS HÍDRICOS

4.1. EL AGUA EN CUBA

La ubicación y las características físico-geográficas del archipiélago cubano, con un relieve caracterizado por la sucesión de extensas llanuras y montañas, que por su disposición se interponen al paso de las masas de aire húmedo, influyen significativamente en el régimen hidrológico. En las regiones Occidental y Central predominan las llanuras y alturas bajas, aunque esta regularidad es interrumpida por la Cordillera de Guaniguanico, en la provincia de Pinar del Río y el grupo montañoso Guamuhaya, al sur de las provincias centrales; mientras que la región oriental es dominada por un relieve montañoso y llanuras que sufren intensamente el efecto de la barrera orográfica. Otra característica notable es la apreciable acción reguladora del carso sobre el escurrimiento superficial en las regiones Occidental y Central de Cuba.

La propia configuración del territorio, de forma alargada y estrecha, conjuntamente con la disposición y estructura del relieve, determinan la existencia de un parteaguas central a lo largo de toda la Isla principal, en la dirección de su eje longitudinal, el cual define dos vertientes principales: la vertiente septentrional y la vertiente meridional. Como consecuencia de esta característica particular del territorio cubano, casi la totalidad de los ríos corren en la dirección contraria al parteaguas central, siendo corrientes de corto curso y marcadas pendientes, y con un régimen de caudales variable en dependencia del comportamiento anual de las precipitaciones. Debido a lo anterior, la longitud de los ríos y el área de las cuencas en el 85% de los casos son inferiores a 40 km y 200 km², respectivamente. Dos cuencas, 0,32% del total, tienen entre 2001 y 2 500 km² y una cuenca, el 0,16% del total, tiene más de 2 500 km². Solo 14 superan los 1 000 km². Desaguan al Norte, en el Golfo de México y el Océano Atlántico, 263 cuencas, mientras que otras 327 lo hacen al Sur, en el Mar Caribe. El río Cauto, ubicado en la región oriental, presenta la mayor de las cuencas de Cuba (orientación este-oeste), abarcando un área aproximada de 9 500 km². Si se tiene en cuenta que la orografía de la Isla principal y que el régimen pluvial es el factor fundamental que determina el régimen del escurrimiento, así como la extraordinaria difusión de los fenómenos cársmicos en el país, se explica por qué predominan ríos y cuencas colectoras pequeñas.

Todos los procesos asociados al escurrimiento fluvial, sus componentes genéticas y su variabilidad, están determinados por una sola fuente de alimentación: la precipitación. Su variabilidad en el tiempo muestra una alternancia de períodos que da lugar a prolongadas e intensas sequías y períodos de elevada actividad pluvial, comportamiento éste que influye sensiblemente sobre la formación de los recursos hídricos y en el manejo del agua en el país.

Los períodos de ocurrencia de las lluvias también determinan el régimen hídrico de los ríos, esto da lugar a que en el período lluvioso se produzcan las mayores crecidas. Pequeños arroyos y ríos aumentan su caudal de forma súbita y producen inundaciones en el territorio de las cuencas fluviales.

Un elemento de particular influencia sobre la hidrología de Cuba, es la presencia de tormentas tropicales de notable intensidad pluvial, que frecuentan el área del Caribe entre los meses de junio a noviembre. Estudios realizados sobre las características hidrológicas de las lluvias torrenciales han permitido precisar el sensible peso que éstas tienen en el régimen hidrológico de algunas localidades en las que, en ocasiones, estas lluvias pueden llegar a superar la lámina promedio para un año.

La lluvia media anual de Cuba es de 1 335 mm y sin embargo en años secos promedio, este valor desciende hasta 1 180 mm mientras que en años húmedos promedio asciende hasta alrededor de 1 450 mm. En un año lluvioso normal (aun cuando la lluvia nacional es de 1 335 mm) precipitan 1 437 mm en la región occidental del país, 1 308 mm en el Centro y 1 279 mm en el Oriente. La región oriental es la que presenta los mayores contrastes, pues en ella se ubican los lugares de mayor y menor precipitación en Cuba. El lugar más lluvioso es el Pico El Toldo en Moa, Holguín (donde caen cada año 4 400 mm). Sin embargo, distante a unos escasos 40 km, hacia el Sur, en San Antonio del Sur (Guantánamo), las lluvias anuales apenas ascienden a 400 mm. Otro dato de interés es el de las diferencias, en un mismo punto geográfico, entre los años muy húmedos y los años muy secos. En Minas de Matahambre, Pinar del Río, la diferencia es de solo 18%, mientras en Caimanera este indicador es del 54%; o sea en un año seco llueve menos de la mitad de lo que cae en un año húmedo. En las montañas del Pico Turquino en el Oriente de Cuba (que se eleva a casi 2 000 m sobre el n.m.m.) precipitan hasta 2 600 mm; en Pico San Juan, en las Alturas de Trinidad o Centro del país (con alrededor de 700 m de altura menos) cae casi la misma cantidad de lluvia, 2 400 mm. En cambio, en la montaña del Pan de Guajaibón (con menos de 800 m de altura) las lluvias alcanzan hasta los 2 800 mm anuales. Otro tema es el de los meses del año en que más llueve en las distintas provincias del país: junio prevalece sobre los restantes en la región central, además de en las antiguas provincias habaneras, en Camagüey y Las Tunas. Mayo, sin embargo, es el mes más beneficiado en Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo, mientras septiembre lo es en Pinar del Río e Isla de la Juventud y; octubre predomina en Holguín.

Alrededor del 67% del territorio cubano está compuesto por complejos de rocas carbonatadas, en gran medida carsificadas y con un alto grado de acuosidad (entre 10-300 l/s); un 11% de rocas cársicas también acuíferas, con una acuosidad variable entre 1-10 l/s; el complejo de rocas vulcanógenas abarca aproximadamente el 15%, con una acuosidad baja de 1 l/s; 5,9% de rocas ultrabásicas, con una acuosidad media, presentando distintos gastos, de hasta 1 l/s. En zona de intemperismo, hasta 5-10 l/s, y a veces más en las zonas de fracturas. El subsuelo y los lechos fluviales del país lo constituyen en su gran mayoría sales de calcio, como rocas calizas y las dolomías o calizas dolomíticas, sales que son capaces de disolverse en el agua que entra en contacto, alterando su contenido salino.

Un factor de suma importancia es también la condición de insularidad de Cuba, que determina una interacción permanente con las aguas marinas y costeras, equilibrio que puede afectarse por causas antropogénicas, aumentando el contenido de sodio y cloruro en aguas subterráneas y superficiales.

En las zonas carsificadas se localizan las 165 cuencas, zonas y tramos hidrogeológicos más importantes, los cuales cuentan con abundantes recursos y un área acuífera efectiva elevada. En 86 de estas cuencas se almacena el 77% del volumen total de agua subterránea y, de ellas 16 son cerradas y 70 abiertas al mar, por lo que más del 80% tienen problemas de intrusión salina.

En el caso particular de Cuba, los recursos hídricos subterráneos son una importante fuente de abastecimiento de rápida utilización y bajo costo de inversión y explotación, en comparación con las obras hidráulicas superficiales. Dicha importancia está asociada, fundamentalmente, a las siguientes razones:

- En primer lugar, la representatividad de las rocas calcáreas (calizas carsificadas), muy permeables y con una conductividad hidráulica grande, existiendo “*un carso de llanura*”, donde se asientan las principales cuencas subterráneas, que almacenan el 27% de los recursos hídricos disponibles totales.
- Gran espesor saturado de rocas calizas, generalmente hasta cientos de metros, lo que garantiza una columna de agua más que suficiente para la explotación y volúmenes almacenados como reservas.
- La poca profundidad al agua, conocida como niveles estáticos, donde el 90% de las unidades hidrogeológicas lo presentan con menos de 25 m.
- Los caudales o gastos de los pozos son realmente altos, generalmente más de 100 l/s, a menudo 200-300 l/s, con abatimientos muy pequeños, comúnmente menores de 1-2 m y pocas veces de varios metros.
- Poca profundidad de los pozos (generalmente menor de 50-60 m, pocas veces hasta 80-100 m) para lograr caudales de múltiples usos; o sea, poco “metraje” de perforación.
- Poca complejidad en la perforación, al generalizarse el “esquema” de camisa en la zona de suelo o de cobertura y sin camisa en la zona de calizas, por ser rocas duras.
- La buena calidad del agua, en general, con una mineralización total promedio de 0,5 g/l SST, del tipo bicarbonatada cálcica. En general, algunos problemas con la dureza de las aguas, algo elevada y problemas también con el contenido de nitratos en algunas zonas.
- Una amplia utilización, pues alrededor del 50% del recurso hídrico en explotación total en el país, es de origen subterráneo; en abasto a población, más del 70% del total explotado en Cuba, es agua subterránea. Hay provincias enteras con este abasto solo de aguas subterráneas.

Como consecuencia directa, muchos acuíferos se han explotado intensamente, a veces excesivamente, alterando en ocasiones la condición de equilibrio natural y dinámico de los mismos y; atentando contra la calidad y cantidad de sus reservas.

De todo ello resultó que se desarrollarán en el país potentes redes de monitoreo para la observación y medición de los niveles de las aguas subterráneas y su composición hidroquímica. También es importante señalar que prácticamente todo el territorio nacional está estudiado con investigaciones de diferentes grados (esquemas generales, esquemas precisados, levantamientos hidrogeológicos de diferentes categorías, evaluaciones de reservas y recursos, etc.) lo que permite afirmar que la línea base o características fundamentales se conoce con detalle.

Debido al marcado régimen hidrológico de Cuba (seis meses de período húmedo y seis meses de período menos lluvioso o seco), la recarga o alimentación a los acuíferos se produce en el período lluvioso. De esta lámina, se infiltra como promedio el 30%, estando el entorno más probable entre el 20 y el 40%, aunque hay zonas cársicas con valores superiores.

La distribución de estos recursos no es igual, equitativa, en todo el territorio nacional. Así, la zona occidental (Pinar del Río, Artemisa, La Habana, Mayabeque, Isla de la Juventud y Matanzas) es la que presenta un mayor peso o volumen de aguas subterráneas (50% de los recursos potenciales totales subterráneos y 60% de los recursos disponibles evaluados). Hay provincias completas que prácticamente dependen del agua subterránea de forma exclusiva (Matanzas, Ciego de Ávila, y; gran parte de Artemisa, Mayabeque y La Habana), las que presentan el 53 y 64% de los recursos antes citados. Otras provincias, como la mayor parte de las orientales y algunas centrales, tienen su principal recurso en las aguas superficiales, aunque en algunos casos ambos recursos, superficiales y subterráneos, tienen un amplio aprovechamiento. La región central, desde Villa Clara hasta Camagüey, presenta el 28 y 34% de los recursos subterráneos totales y disponibles, respectivamente, quedando para la región oriental el 22 y 6%, respectivamente.

La calidad es la condición general que permite que el agua se emplee para los usos concretos a que esté destinada. La calidad de las aguas superficiales y subterráneas se deteriora, por ejemplo, al no adoptarse las medidas de tratamiento y reuso de las aguas residuales domésticas que se generan.

Debido al predominio de los fenómenos cársicos y en ausencia de fenómenos antrópicos que puedan causar impactos negativos en su calidad, las aguas tanto superficiales como subterráneas, se clasifican generalmente como bicarbonatadas cálcicas o magnésicas en dependencia del contenido de calcio o de dolomitas presentes en las formaciones geológicas en contacto durante el transporte del agua en su ciclo hidrológico. Las sales solubles totales de las aguas subterráneas pueden variar normalmente entre 500 y 1 000 mg/l.

Aquellas cuencas subterráneas cuyas aguas estén en relación hidráulica con el mar, dependiendo de su manejo y administración, sus características pueden variar de bicarbonatadas cálcicas o magnésicas a clóricas sódicas o bicarbonatadas-clórico sódicas, elevándose sus tenores de salinidad hasta cifras muy superiores a 1 gramo por litro de sales solubles totales.

El desarrollo hidráulico alcanzado entre los años 1960 y 2000, ha permitido elevar la capacidad de embalse en alrededor de 200 veces, en función de garantizar las crecientes demandas producto del incremento de las áreas agrícolas bajo riego y; del suministro seguro de agua y saneamiento que satisfaga las necesidades de una población en crecimiento. Lo anterior ha contribuido a lograr un impacto positivo en los altos niveles de salud de la población y baja mortalidad infantil, a elevar el desarrollo industrial y turístico, así como a la protección del medio ambiente.

A partir de la infraestructura hidráulica creada, los Recursos Hidráulicos a disposición de las demandas económicas, sociales y ambientales del país, ascienden 13 668 millones de metros cúbicos anuales, equivalentes al 57% de los recursos aprovechables. Se cuenta en la actualidad con 240 embalses, los que almacenan cerca de 9 mil millones de metros cúbicos. A ello se unen 61 derivadoras, 805 micropresas, 788,4 km de canales magistrales, 12 grandes estaciones de bombeo, 1 300,4 km de diques y 1 009,2 km de canales para la protección contra inundaciones.

Basado en el período histórico 1931-1972, se evalúan los Recursos Hídricos Potenciales del Archipiélago Cubano en un total de 38 139 millones de metros cúbicos, de ellos: 6 400 millones subterráneos y los restantes 31 683 superficiales. Los Recursos Hídricos Aprovechables se evalúan en alrededor de 23 988 millones de metros cúbicos anuales, correspondiendo el 75% a las aguas superficiales y el 25% a las subterráneas.

4.2. ESCENARIOS HIDROLÓGICOS PARA 2050 Y 2100

4.2.1. RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

Para el análisis de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos superficiales se utilizó como referencia histórica la línea base del comportamiento de las variables del ciclo hidrológico comprendiendo los años del período 1961-1990. La tabla 4.1 muestra el valor de los componentes de la ecuación general de balance hídrico para dicho período, a escala de país y de regiones naturales. Estas cifras ilustran una disminución en el potencial hídrico del país, en un 15%, con relación a las estimaciones consideradas tradicionalmente como referencia histórica para ciertos análisis y proyecciones globales (38 100 hm³, período 1931-1972).

El balance hídrico resumen para los períodos 2021-2050 y 2071-2100 fue calculado para los escenarios de emisión SRESA2 y SRESB2, utilizando como base las tendencias de los datos de temperatura y precipitación obtenidos con los modelos climáticos ECHAM4 y HadAM3P. Sus resultados se muestran a continuación en las tablas 4.2 a 4.5:

Tabla 4.1. Balance hídrico anual del país. Línea base 1961-1990

VARIABLES	CUBA	REGIÓN OCCIDENTAL	REGIÓN CENTRAL	REGIÓN ORIENTAL
P (anual)	1 326	1 307	1 279	1 414
P (p. húmedo)	992	1 091	979	880
E	1 712	1 720	1 728	1 679
ETP	1 032	1 008	1 024	1 073
Q	294	2 99	255	341
W	32 463	9 486	10 754	12 488

LEYENDA:

P: lámina de precipitación (mm) calculada por el método de las isoyetas (datos de la Red Básica Nacional).

ETP: lámina de evapotranspiración real (mm), obtenida por la Fórmula de Turc (Sokolov y Chapman, 1981).

E: lámina de evaporación potencial (mm), Fórmula de Turc (Sokolov y Chapman, 1981).

Q: lámina de escurrimiento (mm) obtenida por ecuación de balance hídrico.

W: volumen potencial de recursos hídricos (hm³).

Tabla 4.2. Balance hídrico anual según: Modelo ECHAM4, Escenario SRESA2

VARIABLES	CUBA		REGIÓN OCCIDENTAL		REGIÓN CENTRAL		REGIÓN ORIENTAL	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
P (anual)	1 303	1 093	1 281	1 033	1 262	1 061	1 385	1 209
P (p. húmedo)	1 009	866	1 166	988	977	835	845	744
E	1 884	2 189	1 876	2 179	1 905	2 212	1 864	2 170
ETP	1 054	963	1 022	908	1 049	954	1 101	1 042
Q	248	130	259	125	213	107	284	167
W	27 446	14 332	8 219	3 964	8 994	4 508	10 395	6 117

Tabla 4.3. Balance hídrico anual según: Modelo ECHAM, 4 Escenario SRESB2

VARIABLES	CUBA		REGIÓN OCCIDENTAL		REGIÓN CENTRAL		REGIÓN ORIENTAL	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
P (anual)	1 232	1 209	1 158	1 064	1 199	1 197	1 369	1 401
P (p. húmedo)	968	939	1 094	980	934	948	847	874
E	1 884	2 055	1 882	2 047	1 904	2 077	1 860	2 034
ETP	1 014	1 024	955	917	1 011	1 033	1 091	1 142
Q	218	185	203	147	188	164	278	259
W	24 105	20 400	6 448	4 666	7 934	6 919	10 174	9 480

Tabla 4.4. Balance hídrico anual según: Modelo HadAM3P, Escenario SRESA2

VARIABLES	CUBA		REGIÓN OCCIDENTAL		REGIÓN CENTRAL		REGIÓN ORIENTAL	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
P (anual)	1 247	1 097	1 247	1 145	1 210	1 210	1 300	1 067
P (p. húmedo)	907	750	1 006	862	897	897	788	604
E	1 863	2 176	1 864	2 161	1 884	1 884	1 834	2 154
ETP	1 022	967	1 006	987	1 015	1 015	1 053	946
Q	225	130	241	157	196	196	246	121
W	24 867	14 370	7 639	4 989	8 254	8 254	9 019	4 420

Tabla 4.5. Balance hídrico anual según: Modelo HadAM3P, Escenario SRESB2

VARIABLES	CUBA		REGIÓN OCCIDENTAL		REGIÓN CENTRAL		REGIÓN ORIENTAL	
	2050	2100	2050	2100	2050	2100	2050	2100
P (anual)	1 321	1 323	1 327	1367	1 279	1 284	1 370	1 315
P (p. húmedo)	949	895	1 036	975	953	922	826	752
E	1 869	2 056	1 868	2 041	1 891	2 081	1 841	2 034
ETP	1 059	1 086	1 038	1 075	1 055	1 086	1 092	1 092
Q	261	237	290	291	224	198	278	223
W	28 865	26 200	9 177	9 232	9 461	8 356	10 177	8 169

Se observa en las tablas 4.2 y 4.3, de forma general tanto para el territorio nacional como para las regiones, una disminución marcada y progresiva de las precipitaciones, con estimados de alrededor de -10% para el horizonte 2050 y -20% para el 2100.

Según el modelo ECHAM4, la precipitación nacional descendería hasta los 1 232 mm (SRESB2) para el período 2021-2050 y los 1 093 mm (SRESA2) para el período 2071-2100. A la disminución de los promedios de precipitación, se apareja un aumento, también notable, de la evaporación potencial. Como consecuencia de dichos factores, los recursos hídricos potenciales podrían verse reducidos en comparación con la línea base hasta un 26% (SRESB2) para el 2050 y un 56% para el 2100, a juzgar por SRESA2. Habrá, además, una disminución sensible de la evapotranspiración por el déficit de agua en los suelos. Desde el punto de vista regional, la situación se presenta más intensa hacia el occidente del país.

Para el caso del modelo HadAM3P (tablas 4.4 y 4.5) se observa, un decrecimiento de la precipitación en el tiempo, con valores significativos de 1 247 mm para el 2050 y los 1 097 mm para el 2100 según el escenario SRESA2, aunque no se estima prácticamente reducción alguna para el escenario SRESB2. Se refleja una disminución progresiva en el tiempo de la disponibilidad de recursos hídricos, aunque menos acentuada que en el modelo HADCM2, también influida por el aumento de la evaporación potencial. A diferencia del modelo HADCM2, la situación es más desfavorable para la región oriental.

4.2.2. RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

Para las estimaciones del impacto del cambio climático en el agua subterránea se adoptan los rangos de disminución en la precipitación de los meses lluviosos obtenidos con el Modelo HADCM2 (-10% para el año 2050 y -25% para el 2100), así como los valores de ascenso promedio del nivel del mar calculados para el Macroproyecto "Escenarios de peligro y vulnerabilidad de la zona costera cubana, asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100" del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente: 0,27 m para el horizonte 2050 y 0,85 m para el 2100.

Si el nivel medio del mar (n.m.m.) para el año 2050 asciende a 0,27 m por encima del actual, provocaría que la línea de costa se desplace, en las zonas muy bajas, aproximadamente 800- 1 500 m tierra adentro desde su actual posición, lo que afectaría a muchas de las cuencas subterráneas del país, ya que la mayoría se encuentran en las llanuras costeras de Cuba, fundamentalmente al sur, en áreas de muy baja cota topográfica. Incluso, el fenómeno de subsidencia geológica, que se manifiesta en algunas cuencas, precisamente en el sur de la Isla, agravaría la situación de éstas, lo cual deberá estudiarse con detalle en el futuro.

La zona salinizada que actualmente alcanza la superficie de los acuíferos, donde la mezcla de aguas dulces-saladas ya llega al nivel estático, penetrará entonces tierra adentro, a distancias variables, en el orden mínimo de 1-2 km en dependencia de la intensidad y forma del bombeo, la ubicación de los pozos, etcétera.

Estas dos primeras valoraciones tienen incidencias inminentes en los usuarios asentados directamente en la franja costera, como pueden ser instalaciones turísticas y acueductos. Sin embargo, las afectaciones mayores estarán en la profundidad hasta la cuña de intrusión, la que tendrá varias opciones:

- "*Se mantendrá la posición*" de la cuña, aun con una nueva posición del n.m.m. pues este cambio será muy lento, y el sistema mantendrá sus leyes y relaciones más o menos como hasta ahora, considerando un acuífero en régimen normal (lluvia media alrededor de la norma y extracción normal). Sin embargo, hay que observar el desenvolvimiento de estos mecanismos, pues si los volúmenes de extracciones superan los actuales y llegan al máximo posible, es probable que se alteren también estas leyes y relaciones conocidas.
- Ascenso de la cuña salina bajo un estado desfavorable del acuífero, debido a un déficit de lluvia del orden del 10%, con un aumento del n.m.m. y la extracción en estado medio o normal.
- Ascenso de la cuña salina bajo un estado desfavorable del acuífero, debido a un déficit de lluvia del orden del 10%, con un aumento del n.m.m. y con el incremento de la extracción hasta el máximo permisible.

Con estas variantes de afectación, el futuro impacto (como ascenso vertical) para el año 2050 se puede describir como sigue:

1. Considerando, según la ley de equilibrio general, que la posición del agua de mar se encuentra por cada metro de carga de agua dulce por encima del n.m.m. a 40 m o más de profundidad por debajo de la cota 0 y; que la interfaz agua dulce-agua salina (1 g/l de SST), que es el límite que primero afecta, se encuentra como promedio entre los 20 y 30 m por debajo de la cota 0, se deben esperar:
 - No ascenso de la cuña (o quizás ligeras variaciones) para el primer caso.
 - No menos de 14-16 m de ascenso de la cuña para el segundo caso.
 - No menos de 16 m de ascenso de la cuña para el tercer caso.

Para el año 2100, un ascenso del nivel medio del mar de 0,85 m por encima del actual, provocaría que la línea de costa se desplace, como promedio, 6 km en aquellas zonas muy bajas al sur de las provincias occidentales y 3 km en las zonas bajas del sur de las provincias centrales y orientales.

El aumento del nivel del mar de conjunto con la disminución de los niveles de agua dulce asociados, fundamentalmente, a una reducción del 25% de los acumulados de precipitación en el período húmedo, provocarían una penetración de la zona salinizada en el entorno de los 4-5 km. Mientras, en el sentido vertical se esperaría un ascenso de la cuña de intrusión salina de: no menos de 19 a 21 m de ascenso de la cuña para el caso de extracción en estado medio o normal y no menos de 22 m de ascenso de la cuña para el caso de máxima extracción permisible.

Cualquiera de estas variantes podría implicar reducción significativa de la entrega de agua subterránea y en acuíferos costeros poco potentes podría representar incluso el cese del bombeo, por la salinización definitiva de sus reservas. Como se aprecia en las cifras antes mencionadas, si el “techo” de la cuña se encuentra como promedio entre los 20-30 m, por debajo de la cota 0, entonces está claro que dichas cifras son comprometedoras para aquellos acuíferos de cotas muy bajas y/o con poco espesor saturado.

4.3. VULNERABILIDADES E IMPACTOS

Es muy amplia la documentación internacional y nacional relativa a las evidencias del cambio climático y su impacto en la economía, sociedad y medio ambiente y en particular, sobre los recursos naturales y dentro de ellos, los recursos hídricos.

Desde un punto de vista general las páginas web del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) y de su Agencia de Medio Ambiente; del Instituto de Meteorología y otras; así como de la Secretaría de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y de su Programa de Trabajo de Nairobi; de la FAO; de Ministerios de Medio Ambiente de Latinoamérica y del Caribe y muchas otras, tanto gubernamentales como no gubernamentales, investigativas, docentes y académicas, reflejan la actualidad y los problemas, así como medidas de adaptación, de mitigación y de reducción de vulnerabilidades, ante el impacto negativo de este fenómeno de carácter antrópico. Así también lo demuestran la elaboración y entrega de la Primera Comunicación Nacional de Cuba (2000), cumpliendo con los compromisos contraídos como país en desarrollo firmante de la Convención Marco de las Naciones Unidas.

Aun teniendo en cuenta el reconocido hecho de la interactividad y sinergia de los probables impactos sobre el recurso agua y de éstos con otros componentes sociales, económicos y ambientales ahora aplicado al contexto cubano, pueden distinguirse determinados agrupamientos de estos impactos con propósitos de su ordenamiento y clasificación. Estos se identifican de la siguiente manera:

a. Con mayor incidencia relativa en las disponibilidades cuantitativas del recurso agua:

1. Cambios en los patrones de comportamiento de las precipitaciones, que es en el caso de Cuba, su principal fuente renovable anual del recurso agua. Así lo indican los resultados del Nuevo Estudio de la Pluviosidad en Cuba, que abarcó el período 1961- 2000 (Nuevo Mapa Isoyético 1961- 2000). La nueva lámina media anual para todo el Archipiélago bajó de 1 375 mm a 1 335 mm.
2. Modificaciones en la dinámica de la relación hidráulica de los acuíferos costeros con el mar, principalmente en la Llanura Sur de la Isla principal, lo que puede traer aparejado un deterioro de la calidad de las aguas subterráneas presentes en tales formaciones por el incremento de su contenido salino y en consecuencia, cambios en las cantidades del recurso que pueden estar disponibles para los diferentes usos (abasto a población, agricultura, y otros).
3. Ambos aspectos señalados en los puntos 1 y 2, pueden influir directamente en la disminución relativa de las disponibilidades de agua, tanto superficial como subterránea, haciéndose más agudas dependiendo de su localización. Sin embargo, en términos nacionales, ya hay evidencias de esa disminución, a partir de los nuevos valores de las precipitaciones.
4. Aparición paulatina de zonas con carencias relativas del recurso agua, que en la actualidad no la padecen, quedándose sin satisfacer las necesidades del recurso para la economía, sociedad y la protección del medio ambiente.
5. Nuevos y más agudos conflictos en el uso de las aguas embalsadas, principalmente entre su uso agrícola y acuícola, al competir éstos y tener menores alternativas de disponibilidades de agua.

b. Con mayor incidencia en la ocurrencia de eventos extremos.

6. Ocurrencia de cambios en la aparición de desastres causados por fenómenos naturales, sobre todo los relacionados con los ciclos de sequías, tanto meteorológica, como hidrológica, hidráulica y socio-económica, con afectaciones al medio ambiente, la economía y la sociedad, así como de la presencia de huracanes, si bien estos últimos tienen como único impacto positivo la recarga del recurso en períodos cortos de tiempo. Evalúese lo ocurrido en 2005, con la presencia de seis perturbaciones ciclónicas que incidieron de manera directa e indirecta en el territorio nacional, luego del período seco 2003-2005.
7. Cambios complejos en la dinámica de las relaciones de los principales componentes ambientales (agua-suelo-bosques-aguas costeras) en los ecosistemas de mayor interés (cuencas hidrográficas, zonas montañosas, bahías, humedales, zonas costeras y otros), con la ocurrencia de modificaciones en su estructura y características, lo que puede incidir en el aumento relativo de la vulnerabilidad del país ante eventos extremos.

8. Modificaciones a considerar en la actual infraestructura de prevención y protección hidrológica ante eventos de intensas lluvias (canales, diques, aliviaderos) con probables afectaciones también a la economía y a la sociedad, dado los cambios en los patrones de referencia y su incidencia en el diseño original.

c. Con mayor incidencia en el deterioro de la calidad del agua:

9. Incidencia de las variaciones de las disponibilidades de agua, en las condiciones sanitarias y el cuadro epidemiológico general y específico, dependiendo de las características de estos cambios, llegando incluso al aumento de la morbilidad de diarreas agudas (EDA) u otras, como resultado de bajas disponibilidades de agua y problemas con su calidad.
10. En lo anterior puede influir también, el agravamiento de las condiciones sanitarias de las corrientes superficiales que atraviesan núcleos urbano-industriales y que se emplean como cuerpos receptores de residuales crudos o parcialmente tratados – cuestión muy frecuente en todo el territorio nacional –, como resultado de la disminución relativa de sus caudales originales y la disminución de sus capacidades de autodepuración natural.
11. Repercusión de todos estos factores objetivos y tangibles, en los hábitos y costumbres del consumo de agua por la población cubana, al manifestarse variaciones de sus Bibliografía actuales, tanto por exceso como por defecto, incrementándose su sensibilidad y vulnerabilidad ante estos fenómenos.

4.4. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

En agosto de 2007, el Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH) elaboró su primer paquete de medidas denominadas “Acciones del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos ante el impacto de los cambios climáticos en los recursos hídricos del país”, el que fue remitido al Gobierno del país. Luego de sucesivas actualizaciones en los años 2008 y 2009, ha sido definitivamente incluido dentro del “Programa de Enfrentamiento al Cambio Climático”, coordinado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

De acuerdo con el Programa de Trabajo de Nairobi sobre el impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático (UNFCCC 2007), se identifican nueve áreas de acciones fundamentales:

- Desarrollo e implementación de metodologías e instrumentos para la evaluación.
- Mejoramiento de las observaciones del comportamiento de las variables hidrológicas y climáticas, así como de su procesamiento, acceso, intercambio y manejo.
- Modelamiento del comportamiento del clima según escenarios.
- Clima, riesgos y eventos extremos, su comprensión y evaluación de influencias para el desarrollo sostenible.
- Información socio-económica y sus relaciones con las evaluaciones del impacto y vulnerabilidades.
- Planeamiento de medidas de adaptación y empleo de prácticas exitosas.

- Investigaciones.
- Introducción de tecnologías para la adaptación.
- Diversificación económica en función de disminuir el impacto y las vulnerabilidades.

En el caso cubano puede afirmarse que la principal garantía para enfrentar con éxito los efectos negativos del cambio climático sobre los recursos hídricos y la aplicación consecuente de medidas de adaptación, es el desarrollo hidráulico alcanzado y en proceso de sistemática ampliación, mantenimiento y observación, que ha permitido asegurar las necesidades del recurso agua para el desarrollo sostenible del país. El conjunto de medidas de adaptación que a continuación se relacionan, muchas de ellas en ejecución en estos momentos por parte del sistema INRH, conforman un paquete de acciones de alcance político y de gestión, encaminadas a introducir o a ampliar la introducción de soluciones paulatinas al reto de los impactos del cambio climático sobre el recurso agua.

Introducción de tecnología para la adaptación:

1. Ejecutar con calidad y en el tiempo previsto, las nuevas inversiones destinadas a incrementar la satisfacción de las necesidades del recurso para la economía, sociedad y medio ambiente, con particular atención a la renovación y rehabilitación de las redes de acueductos en las ciudades seleccionadas, obras del Trasvase Este – Oeste Holguín, nuevos acueductos y completamiento de otros, tanto desde el punto de vista emergente como estratégico.

Al cierre de 2008, se habían concluido 95 obras en las antiguas 14 provincias y el Municipio Especial Isla de la Juventud, principalmente nuevos acueductos, nuevas plantas potabilizadoras, redes (856 km) y conductoras (111 km), alcantarillado y drenajes, rehabilitación de presas. Su impacto directo en la calidad de vida de la población, se expresa en que, al cierre de 2008, hubo un incremento de la conexión intradomiciliaria de 7 987 012 a 8 142 300 habitantes y de servicio de alcantarillado, de 3 996 000 a 4 119 500 habitantes.

2. Disminuir las pérdidas de agua en redes y conductoras de acueducto, canales y equivalentes (riego) y su rehabilitación y renovación, mediante la introducción de tecnología apropiada, como expresión de un incremento en la eficiencia del uso del recurso agua en la economía, la sociedad y la protección del medio ambiente, lo que trae aparejado incrementos relativos de las disponibilidades del recurso.

En línea con el incremento paulatino de la eficiencia en el uso del agua, así como su cuantificación adecuada, se instalaron en el 2009 un total de 29 000 metros contadores para el sector estatal, así como 25 000 para el sector residencial, de un total de 400 000 previstos para una primera etapa. En el mismo sentido se inscribe la adquisición de membranas impermeabilizantes (mantas) para revestir canales y lagunas de tratamiento, disminuyendo respectivamente, pérdidas por conducción, así como la infiltración de residuales a las aguas subterráneas.

3. Elevar la eficiencia en el mantenimiento de la importante infraestructura hidráulica creada, así como en la administración del agua empleada para los diferentes usos económicos, sociales y ambientales.

Para el año 2009 estaban diagnosticadas con diferentes grados de afectación un total de 156 obras conformadas por: 110 embalses, 25 derivadoras, 30 canales y una laguna de estabilización. En resumen, de las 156 obras del diagnóstico, se terminaron 101 y quedando pendiente al cierre del 2009 un total 55 obras.

Para el año 2009 se balancearon un total de 8 014,5 hm³, de ellos 5 241,2 hm³ superficiales y 2 773,3 hm³ subterráneos. De las aguas superficiales se balancearon 4 727,3 hm³ reguladas que representan el 66,6% del potencial de la entrega garantizada nacional. Se tienen 67 presas en Prevención Hidrológica, lo cual limita la posibilidad de embalsar 1 190 hm³.

De las aguas superficiales, hasta septiembre 2009, se había entregado un volumen de 4 089,7 hm³ que representan el 105% del plan para la fecha. Este volumen representa el 78% del Plan Anual. Mientras, de las aguas reguladas se habían entregado 3 875,4 hm³ que representan el 108% del Plan hasta septiembre y el 82% del Plan Anual.

De las aguas subterráneas hasta septiembre, se habían entregado 1 643,4 hm³ que representan el 79,4% del Plan para la fecha y el 59,4% del Plan Anual.

Cumpliendo con lo establecido en la metodología de elaboración del Plan de Uso de las Aguas, para 2009 en nueve Cuencas de Interés Nacional, se planificó emplear 2 175 903 millones m³, 1 843 994 superficiales (84,7%) y 132 824 subterráneos (6,1%) y 125 039 (5,7%) destinado a gasto sanitario, entre otras asignaciones.

Mejoramiento de las observaciones del comportamiento de las variables hidrológicas y climáticas, así como de su procesamiento, acceso, intercambio y manejo:

4. Modernizar y fortalecer la capacidad de observación de los componentes cualitativos y cuantitativos del ciclo hidrológico (red pluviométrica, pluviográfica, hidrométrica, hidrogeológica, batimetría, de calidad) para lo cual ya se ejecutan acciones concretas entre las que se pueden relacionar:
 - Fabricación de pluviómetros, evaporímetros y otros equipos, para el trabajo de campo, así como regletas, en proceso de puesta a punto definitiva a partir del 2009.
 - Aprobación y comienzo de la ejecución del proyecto PNUD-INRH de Alerta Temprana y Prevención Hidrológica en las cuencas Tímina-Jatibonico, Cauto, Sagua de Tánamo y Guantánamo-Guaso y; la instalación y operación en 2009-2010 de 35 estaciones automáticas de medición y transmisión de datos e informaciones sobre lluvia, niveles y gastos.
 - Aprobación y comienzo de las actividades del proyecto Caribe-HYCOS para el fortalecimiento de las observaciones del ciclo hidrológico en ocho estaciones, comenzando en 2009 por Los Portales (Cuyaguatete), Yayabo, Paso Ventura (Zaza) y Las Coloradas (Cauto), lo que también permitirá obtener mediciones automáticas de lluvia, niveles, gastos y calidad de agua.
 - Elaboración del diseño de una nueva Red Informativa Diaria de Lluvia (775 estaciones), con la que se pretende ampliar la representatividad y eficiencia de la hasta ahora existente, así como fortalecer el rol de las instalaciones de observación del sistema del INRH.

Desarrollo e implementación de metodologías e instrumentos para la evaluación:

5. Reevaluar sistemáticamente los actuales recursos hidráulicos disponibles cubanos (Referencia 2002: 13,67 kilómetros cúbicos, que equivale a 57% de los recursos aprovechables) para decidir el Plan Anual de Uso de las Aguas del país, a partir fundamentalmente de:

- Los nuevos estudios de la lluvia en Cuba.
- La reevaluación de los volúmenes útiles de los embalses cubanos mediante estudios batimétricos, habida cuenta de que en el 86% de los casos tienen más de 25 años de contruidos y el 56% de ellos, más de 30 años.
- Las nuevas estimaciones de los recursos disponibles en los acuíferos subterráneos.
- El empleo de los resultados de las redes de observación del ciclo hidrológico.
- Los avances en la eficiencia en el uso de las aguas, principalmente en el riego (60%) y la destinada a la población (15%).
- Los incrementos en el reuso de las aguas residuales tratadas.

El INRH implementa diferentes acciones sobre lo anteriormente descrito, algunas de ellas en el contexto de proyectos nacionales. Está en marcha un programa de estudios en embalses cubanos relacionados con la evaluación de sus niveles de sedimentación y azolvamiento, así como las evaluaciones sistemáticas que se realizan del comportamiento de la lluvia, aplicando los resultados del último Estudio de la Pluviosidad en Cuba 1961- 2000.

Se viene alcanzando resultados en los incrementos del reuso de aguas residuales tratadas, principalmente asociados a los Polos Turísticos y dentro de ellos, el de Varadero, Cayo Coco y Cayo Santa María, en ese orden.

De manera sistemática se mantiene el control del comportamiento de las 100 principales unidades hidrogeológicas del país, mediante las lecturas de sus niveles mensuales, así como del monitoreo estacional mediante la Red de Calidad de las Aguas (RedCal) tanto al final de la temporada menos lluviosa como de la lluviosa.

En el año 2009, la Red Hidrogeológica funcionaba con un universo de 1 683 estaciones y la Red de Calidad de las Aguas, operada nacionalmente por el INRH, estaba constituida por 2 315 estaciones, de ellas 1 649 básicas y 666 de vigilancia. De su total, 816 son superficiales y 1 499 subterráneas. Del total de las estaciones básicas, 1 228 son subterráneas y de ellas, 1 147 estaciones para evaluar la calidad de las fuentes destinadas al consumo humano. Esto ha permitido evaluar sistemáticamente y de manera operativa a nivel territorial, la calidad de las aguas del país, tomándose las decisiones oportunas.

6. Aplicar al caso cubano, con datos e informaciones nacionales que permiten ajustar aun más sus resultados, los nuevos indicadores sobre disponibilidad de agua existentes en la literatura internacional, tales como: la Huella Hídrica, Agua Virtual, Indicador de Estrés Hídrico, trascendiendo paulatinamente el uso del indicador relacionado con el total de recursos hídricos potenciales respecto a los habitantes del país.

Investigaciones:

7. Implementar proyectos de ciencia e innovación tecnológica en cuencas y otros ecosistemas vulnerables, con el objetivo de perfeccionar la prevención y protección hidrológica.
8. Desarrollar los estudios necesarios para la introducción de las modificaciones a los proyectos de obras hidráulicas, a tenor de los nuevos impactos que se producirán por los cambios climáticos.
9. Reevaluar o evaluar, según corresponda, las actuales potencialidades hídricas en función de incrementar el empleo de la hidroenergía en el país, con especial atención a las áreas montañosas.

Planeamiento de medidas de adaptación y empleo de prácticas exitosas:

10. Continuar profundizando en la aplicación del enfoque de ecosistema a la gestión integrada del recurso agua, teniendo como unidad básica de gestión, la cuenca hidrográfica. Fortalecer el funcionamiento y alcance de los Consejos de Cuencas.
11. Reducir paulatinamente la carga contaminante que se dispone en los cuerpos receptores superficiales y subterráneos, mediante la construcción de sistemas de tratamiento y elevar el reuso de las aguas residuales tratadas, con lo que se incrementan de manera relativa las disponibilidades de agua para usos que requieren de mayor calidad.
Dependencias del ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente realizan la evaluación de la disminución de la carga contaminante de origen orgánico y biodegradable que se dispone en los cuerpos receptores, a partir del Inventario de Fuentes Contaminantes del medio ambiente que, en su parte correspondiente a las aguas terrestres (2 115 fuentes), está conciliado con el INRH. Se desarrollan, tanto a nivel territorial como nacional, acciones conjuntas de gestión y de los cuerpos de inspección del INRH y CITMA, en función de controlar las descargas y exigir el cumplimiento de lo dispuesto.
12. Elevar el reuso económico de residuos sólidos agrícolas y del tratamiento de residuales, para el mejoramiento y conservación de suelos y el mejoramiento de la producción (producción de humus, abonos verdes), evitando su disposición a las aguas superficiales y subterráneas.
13. Fortalecer el papel del aparato de inspección estatal de los recursos hidráulicos, en función del cumplimiento de la legislación vigente y el control de las medidas para su segura administración.
Se cumplen, tanto a nivel nacional como territorial, los planes previstos de la Inspección Estatal del sistema del INRH, con particular atención a las fuentes contaminantes de las aguas terrestres. Se destacan las inspecciones realizadas a los centros porcinos, a los grupos electrógenos y a otros objetivos. De igual manera, la inspección estatal se ocupa de evaluar el cumplimiento del Plan de Uso de las Aguas, el estado de las redes de observación del ciclo hidrológico y el funcionamiento de los sistemas de tratamiento de residuales, todo lo cual ayuda a la protección y manejo de los recursos hidráulicos y a su gestión integrada en las cuencas. Un resumen general del año, se ofrecerá a su cierre 2009.

14. Promover la introducción de tecnologías apropiadas, tales como la cosecha directa de agua de lluvia y otras, para satisfacer demandas locales del recurso. El 2009 ha representado un importante momento en la promoción e introducción de las prácticas relacionadas con la captación, el almacenamiento y uso directo del agua de lluvia, cuyos resultados se podrán apreciar con mayor claridad en los años venideros. El INRH elaboró metodologías y proyectos para darle esta solución a pequeñas comunidades y casas aisladas, con lo que se contribuye a extender esta tecnología apropiada, según las posibilidades y necesidades.

Información socio-económica y sus relaciones con las evaluaciones del impacto y vulnerabilidades:

15. Elevar el rol de los medios masivos nacionales, provinciales y municipales, en la divulgación y toma de conciencia de que el recurso agua es renovable pero limitado y su empleo debe ser el apropiado, de acuerdo con sus reales disponibilidades, las necesidades económicas y las costumbres de la población. Se amplían y extienden las noticias radiales, televisivas; en la prensa escrita, relacionados con la protección y el desarrollo de los recursos hidráulicos. Se organizan talleres y eventos orientados a ese fin, así como actividades de capacitación. Al cierre del año se podrá contar con una relación detallada de todo lo elaborado al respecto.
16. Elevar la concientización y educación para el uso sostenible del agua en la sociedad, economía y el medio ambiente, mediante la ampliación de las actividades y al alcance del Programa de Ahorro y Uso Racional del Agua (PAURA).
En términos de educación ambiental, dentro del sistema del INRH está establecido el Programa de Ahorro y Uso Racional del Agua (PAURA) el cual tiene entre sus componentes fundamentales el incremento de la divulgación hacia todos los públicos, buscando un aumento de la cultura del uso racional del recurso agua. Teniendo en cuenta esta meta se han elaborado varios spots publicitarios en la televisión nacional, con el fin de comunicar la importancia del ahorro del agua comenzando con el uso diario. A través del órgano oficial del INRH, la revista Voluntad Hidráulica, se han difundido mensajes conteniendo consejos para el ahorro del recurso; se han logrado impresiones de estos mensajes en los pasaportes de los festivales "Santiago Álvarez in memoriam" y de Cine Latinoamericano. Cada territorio cuenta con un plan de acción a nivel territorial que contribuye a la divulgación de la situación hídrica que abarca la participación de especialistas y dirigentes principales en programas de radio dedicados al tema.
Otra de las vertientes que se ha trabajado es la creación de círculos de interés relacionados con el tema agua en todo el territorio nacional, asesorados por especialistas del INRH, en la educación primaria y secundaria. Se ha logrado vincular al tema del uso y la importancia del agua, las ediciones del concurso nacional "Trazaguas" donde los más jóvenes expresan a través de las manifestaciones de cuento, dibujo y poesía, su sentir acerca de qué debemos hacer en el país para cuidar este importante recurso natural renovable pero limitado.
De conjunto con el Ministerio de Educación y el Ministerio de la Industria Básica se han realizado los concursos PAURA en todos los niveles de enseñanza del país y abarcando todos sus municipios.
Dadas las características del sistema de control y seguimiento establecidos en el país para este Programa, el INRH ha rendido cuenta anualmente de su ejecución

tanto al Gobierno como al CITMA. El paquete de medidas que conforman las "Acciones...", se ha visto recrecido y aumentado por la sinergia de las acciones que se desarrollan año tras año, en función de asegurar de manera sostenible tanto la cantidad como la calidad del agua para la economía, la sociedad y el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Centro de Hidrología y Calidad del Agua (1996). El agua subterránea en Cuba. Barros Mouriño, O. (sin publicar).
2. Climate Change and Water. IPCC Technical Paper VI. WMO, UNEP. Bates B.C., Kundzewics Z.W., Wu, S., and Palutikof, J.P. Geneva. ISBN 978-92-9169-123-4. June 2008.
3. Dirección de Cuencas Hidrográficas, Servicio Hidrológico Nacional. INRH. Boletín Hidrológico Mensual diciembre 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009. En www.hidro.cu
4. Fidel Castro Ruz (2008): Reflexión "El Huracán", agosto de 2008. Periódico Granma.
5. Informe técnico Sobre las medidas de adaptación ante el impacto de los cambios climáticos en los recursos hídricos del país. Enero de 2010. Documento INRH. Archivo Dirección Cuencas Hidrográficas.
6. Programa de Trabajo de Nairobi sobre el impacto, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático (UNFCCC 2007). ISBN 92-9219-036-9
7. Programa Nacional de Ciencia y Técnica (1999). Proyecto "Impacto del cambio global en la dinámica de la intrusión marina": Informe técnico final de la evaluación de las afectaciones en los recursos hídricos subterráneos. Barros Mouriño, Osvaldo.
8. Technical Committee (TEC) (2007): Global Water Partnership. Climate Change Adaptation and Integrated Water Resource Management. Policy Brief 5. Mike Muller (lead author).
9. UNFCCC (2007) Climate Change: Impacts, vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries (Bonn, Germany). IPCC Secretariat.
10. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. XXII, no. 4 (2001): Impacto del cambio global en la dinámica de la intrusión marina. Barros Mouriño, Osvaldo y Haydée Llanusa Ruiz. pp. 21-28
11. Revista Voluntad Hidráulica no. 87 - 88 (1998): Variabilidad de la intrusión salina en cuencas costeras cársicas de Cuba. Barros Mouriño, Osvaldo. Pág. 11-20. ISSN 0505-9461.
12. Revista Voluntad Hidráulica no. 98 (2006). "Experiencias cubanas en la institucionalización del manejo integrado de cuencas". García Fernández, Jorge Mario. Pág. 15-28. ISSN 0505-9461.
13. Revista Voluntad Hidráulica no. 98 (2006): Nuevos logros en el estudio de la pluviosidad en Cuba: Mapa Isoyético para el período 1961-2000. Servicio Hidrológico Nacional. Dirección de Cuencas Hidrográficas. INRH. Pág. 2-14. ISSN 0505-9461.
14. Revista Voluntad Hidráulica No. 99 (2007). Aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integrada de los recursos hídricos: Aproximación al caso cubano. García Fernández, Jorge Mario. Pág. 2-17. ISSN 0505-9461.
15. Revista Voluntad Hidráulica no. 100 (2008). Indicadores globales para la evaluación del uso sostenible del recurso agua: Caso cubano. García Fernández, Jorge Mario y Luis Cantero Corrales. pp. 12-19. ISSN 0505-9461.
16. Revista Voluntad Hidráulica no. 102 (2009). Sobre las medidas de adaptación de los recursos hídricos cubanos ante el impacto de los cambios climáticos. García Fernández, Jorge Mario. p.10-19. ISSN 0505-9461. La Habana, Cuba.

Desembocadura del río Cajobabo

Foto: Richard Molina





Costa sur del oriente de Cuba
Foto: Richard Molina

ZONAS COSTERAS Y RECURSOS MARINOS

5.1. NIVEL MEDIO DEL MAR Y ZONAS COSTERAS

El nivel medio del mar (n.m.m.) ha variado ampliamente durante miles y millones de años. Desde el último máximo glacial, hace aproximadamente 20 000 años, el n.m.m. ha aumentado más de 120 m; el aumento más rápido ocurrió de 15 000 a 60 000 años atrás, con un ritmo medio de unos 10 mm/año y, según datos geológicos, aumentó a razón de 0,5 mm/año en los últimos 6 000 años y de 0,1 a 0,2 mm/año en los últimos 3 000 años. Se ha demostrado que el Clima de la Tierra se ha comportado relativamente más estable durante los últimos 10 000 años que durante los 10 000 años que los precedieron y comparado con el siglo XX (GCRP-USA, 2006).

En el presente, el aumento del n.m.m. es consistente con el calentamiento global; con una tasa promedio de 1,8 [1,3 a 2,3] mm por año desde 1961 hasta 2003 y de 3,1 [2,4 a 3,8] mm desde 1993 hasta 2003 (figura 5.1). La tasa acelerada de este último período refleja la influencia de variaciones decadales o un aumento de la tendencia a largo plazo, lo cual aun no ha sido esclarecido. A partir de 1993, la expansión térmica de los océanos ha representado alrededor del 57% del total de las contribuciones al aumento del n.m.m., la influencia de los glaciares y de las capas de hielo se ha estimado en un 28% y las pérdidas de los hielos en los casquetes polares es responsable del resto. Estas estimaciones son consistentes con el aumento del n.m.m. observado. Existe alta confianza en que el ritmo del aumento del nivel del mar observado se haya incrementado del siglo IX al XX. El aumento total estimado para el siglo XX es 0,17 [0,12 a 0,22] m. Las mencionadas tasas de ascenso son solo un décimo de la ocurrida como promedio en el siglo XX (IPCC, 2007). Las proyecciones del n.m.m. aseguran que, comparado con el período 1980-1999, éste

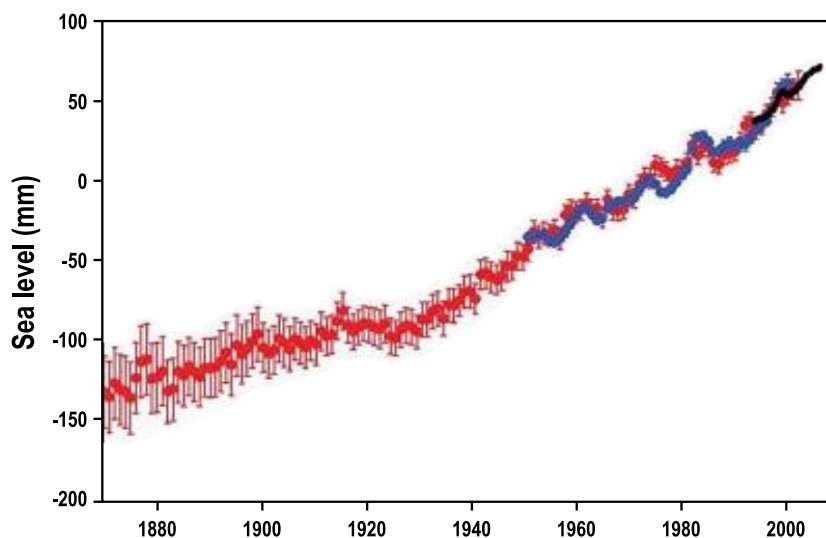
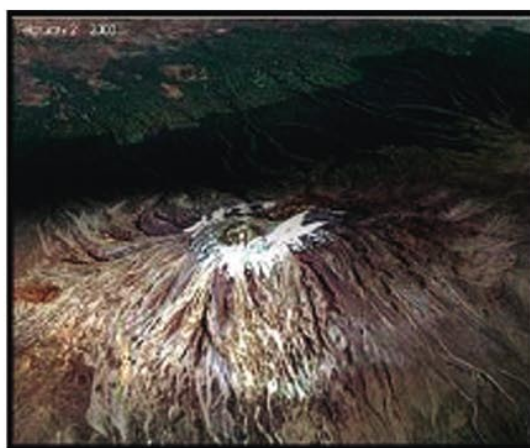


Figura 5.1. Entre 1961 y el 2003, la tasa de ascenso del Nivel Medio del Mar fue de $1,8 \pm 0,5$ mm por año y durante el siglo XX fue de $1,7 \pm 0,5$ mm por año

aumentará para en la etapa 1990-2099 de 0,18 a 0,59 m. Según estimados más recientes debe aumentar de 22 a 85 cm para el 2100 (Salas *et al.*, 2006).

El nivel del mar continuará aumentando en el siglo XXI debido a la dilatación térmica y a la pérdida del hielo terrestre (figura 5.2). El aumento del nivel del mar no fue geográficamente uniforme en el pasado y no lo será en el futuro. El calentamiento proyectado debido a la emisión de gases de efecto invernadero durante el siglo XXI continuará contribuyendo al aumento del nivel del mar durante muchos siglos. El aumento debido a la dilatación térmica y a la pérdida de masa del manto de hielo continuará durante cientos de años, aun cuando el forzamiento radiativo se estabilice. Incluso si las concentraciones de agentes de forzamiento radiativo se estabilizan, se prevé un calentamiento y cambios climáticos, debido mayormente a retrasos de tiempo asociados con los procesos oceánicos (IPCC, 2007).

Sobre el ascenso del n.m.m. a escala regional y local inciden otros factores, como los movimientos isostáticos y tectónicos que dan lugar a movimientos verticales de la corteza



a



b

Figura 5.2. Retroceso de los glaciares en las montañas del trópico. Monte Kilimanjaro (a), África, y de la capa de hielo en el Océano Glacial Ártico (b)

terrestre. Estos movimientos pueden ser de diferente signo y velocidad. Por esta razón, el margen de variación del n.m.m. a escala regional y local es muy amplio en comparación con su aumento a escala mundial. Por otra parte, los cambios de las corrientes oceánicas influyen sobre la variabilidad intermensual e interanual del nivel del mar, modulando la tendencia del n.m.m., lo cual es más evidente en los estrechos oceánicos, como los que se encuentran alrededor de Cuba (Estrechos de Yucatán, La Florida, Paso de los Vientos).

La zona costera constituye una de las regiones de mayor importancia desde los puntos de vista natural y socio-económico y por ello es un área muy sensible a la sinergia entre el cambio climático y la actividad socio-económica. A escala global y desde el punto de vista natural, la zona costera, que comprende las llanuras costeras y las aguas someras de las plataformas, ocupa solo un 18% de la superficie terrestre. Sin embargo, sus ecosistemas son responsables de la cuarta parte de la producción primaria global. Como promedio, los bosques de mangle son 20 veces más productivos que el océano abierto. Los estuarios, los humedales y los arrecifes son de 5 a 15 veces más productivos y los mares de plataforma y las zonas de surgencia de dos a cinco veces más productivas que el océano abierto. Provee el 90% de la captura de especies comerciales de peces. Por otra parte, en esta zona se desarrollan algunos de los núcleos poblacionales de mayor densidad, con altas tasas de crecimiento, intensa actividad turística, industrial, marítima y portuaria; y recibe grandes aportes de contaminantes.

La zona costera como interfase tierra-mar de plataforma-océano, es física y ecológicamente muy dinámica. Hoy se reconoce la posibilidad del impacto del cambio climático sobre la zona costera: *“Los sistemas costeros son económica y ecológicamente importantes y se espera que su respuesta a los cambios del clima y del nivel del mar varíe ampliamente. Algunos ecosistemas costeros son particularmente vulnerables; como marismas de agua salada, ecosistemas de manglares, zonas húmedas costeras, playas de arena, arrecifes de coral, atolones de coral y deltas de ríos. Los cambios en esos ecosistemas tendrían importantes efectos negativos para el turismo, el abastecimiento de agua dulce, las pesquerías y la biodiversidad”*.

5.2. LA ZONA COSTERA CUBANA

5.2.1. ÁREA DE ESTUDIO

La zona costera cubana incluye las áreas emergidas y sumergidas de la plataforma insular hasta su límite oceánico exterior, localizado en los 200 m de profundidad (figura 5.3), y tiene una longitud total de 5 746 km, con 3 209 km de costa norte y 2 537 km de costa sur; mientras que la Isla de la Juventud posee 229 km (Furrazola y Núñez, eds., 1997). Cuba representa el 0,08% de las tierras emergidas del planeta, ocupando el decimoquinto lugar entre las mayores islas del mundo.

De acuerdo a los propósitos y objetivos del proyecto núcleo LOICZ (Land - Ocean Interaction in the Coastal Zone), en IGBP (1993) se considera que la zona costera *“... se extiende desde la llanura costera hasta el borde oceánico de la plataforma, coincidiendo aproximadamente con la región inundada y expuesta a las fluctuaciones del nivel del mar del período cuaternario tardío...”*. Dentro de la zona costera existe una amplia variedad de ecosistemas: humedales, estuarios, lagunas costeras, arrecifes de coral, seibadales y otros.

En la zona costera cubana existen cuatro tipos de costas: terraza baja de diente de perro, manglares, playas y costas acantiladas y su frontera exterior se encuentra

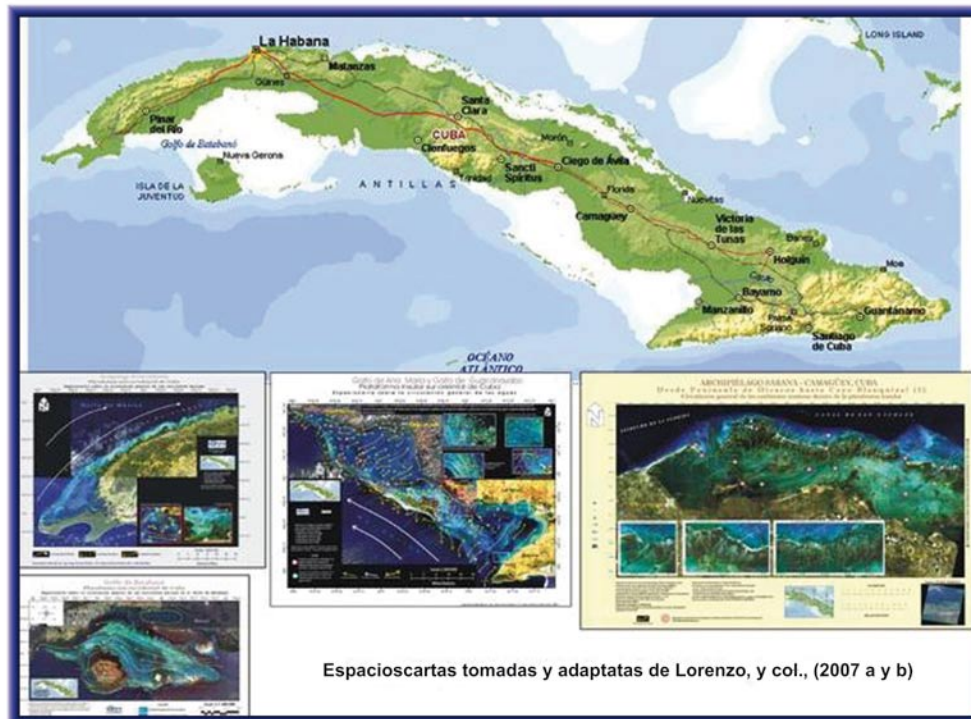


Figura 5.3. Características físico-geográficas de la zona de estudio

definida por el abrupto declive del talud insular (Toledo *et al.*, 2005). Hay cuatro zonas de plataforma, separadas por sectores costeros en los que el talud se encuentra próximo al litoral:

- Plataforma noroccidental: se extiende 240 km desde el Cabo de San Antonio hasta Bahía Honda; su amplitud varía entre dos y 50 km de oeste a este, con una sinuosa línea de costa y una profundidad que oscila entre dos y seis metros, a excepción de algunas zonas, como la región central del Golfo de Guanahacabibes, donde alcanza 26 m (Blázquez, 1981). El Archipiélago de los Colorados limita parcialmente su comunicación con las aguas oceánicas adyacentes.
- Plataforma nororiental: posee 18 311 km² y se extiende 465 km entre la Península de Hicacos y la margen oeste de la Bahía de Nuevitás. La profundidad de sus lagunas costeras varía entre tres y cinco metros y se encuentran parcialmente resguardadas por los cayos que integran el Archipiélago Sabana-Camagüey o Jardines del Rey (Alcolado *et al.*, 2007).
- Plataforma suroriental: se extiende a lo largo de 465 km desde Casilda hasta Cabo Cruz y posee un área de 18 311 km² y una profundidad media de 15 m. Se encuentra dividida en los Golfos de Ana María y Guacanayabo por una franja de aguas menos profundas, con numerosos cayos y bajos fondos (Lluis-Riera, 1977); su comunicación con el océano se encuentra parcialmente limitada por el Archipiélago de los Jardines de la Reina y bajos como el Médano de la Vela.
- Plataforma suroccidental: posee un área de 20 850 km² y una profundidad media de seis metros. Su topografía se distingue por numerosos grupos y cadenas de

cayos (Lluis-Riera, 1972), entre los cuales se destaca el Archipiélago de los de los Canarreos.

Los sectores costeros, con el talud insular próximo al litoral de la isla de Cuba, se extienden desde Bahía Honda hasta la Bahía de Matanzas; desde la Bahía de Nuevitás hasta Cabo Cruz, al este del archipiélago y desde Casilda hasta el Golfo de Cazones, frente a la Fosa de Jagua. No deben considerarse como plataformas las terrazas marinas estrechas que existen en algunos sectores de la zona costera sin plataforma (Ionin *et al.*, 1977).

5.2.2. HIDROLOGÍA

El régimen hidrológico de la plataforma insular cubana está sometido a grandes variaciones diarias, estacionales y espaciales (Lluis-Riera, 1983b; Claro *et al.*, 1994; Cerdeira, 2003 y Hernández M., 2006). Entre los factores físico-geográficos y climáticos que inciden en estas variaciones se destacan: el régimen de escurrimiento fluvial hacia la costa, el aislamiento de las aguas de la plataforma de las aguas oceánicas, y la escasa profundidad de la plataforma y la presencia en ella de cayos e islotes. Lo anterior provoca una elevada variabilidad en el régimen de la plataforma; porque, por ejemplo, parámetros como la temperatura del agua, reaccionan de forma más rápida a los cambios del estado del tiempo (Smirnov, 1987). Por otra parte, la intervención del hombre, principalmente por la reducción del aporte fluvial debido al represamiento, ha provocado el incremento de la salinidad y la disminución de la llegada de nutrientes a los ecosistemas costeros (Lluis-Riera, 1972).

5.2.3. CORRIENTES MARINAS Y MAREA

El campo de las corrientes marinas en la plataforma se encuentra gobernado principalmente por el viento y la marea, en virtud de la poca profundidad de estas zonas, lo que ocurre con una predominante lenta deriva general de las aguas hacia el oeste, excepto en las pasas y canales de las cayerías donde el flujo es más rápido (Emilsson y Tápanes, 1971; Blázquez y Romeu, 1982; Blázquez *et al.*, 1988; Hernández M. *et al.*, 2006). La persistencia del movimiento de las aguas hacia el oeste posee una singular importancia para el ordenamiento de la vida marina en la plataforma insular (Blázquez *et al.*, 1988).

En aguas cubanas predomina la marea mixta diurna y semidiurna. La mixta diurna aparece entre La Fe y Cabañas y la mixta semidiurna en el resto del archipiélago; con excepción de la Bahía de Cienfuegos, las cercanías de la Bahía de Manzanillo y un amplio sector costero del norte de Cuba hasta la Bahía de Nipe, donde es semidiurna. En general, la amplitud de la marea en el norte del archipiélago es como promedio mayor que en el sur (Rodríguez y Rodríguez, 1983). La amplitud media varía entre menos de 25 cm en la plataforma sur-occidental hasta 65 cm en la plataforma nor-oriental. Las componentes de largo período solar anual (S_a) y solar semianual (S_{sa}) determinan la variabilidad estacional, ya que alcanzan valores comparables a los de la onda lunar principal semidiurna M_2 (ACC, 1989). Hacia el interior del Golfo de Batabanó se deforma la onda de marea, por lo que prevalece la influencia de los factores meteorológicos sobre las variaciones del nivel del mar. Aquí existe una mayor variabilidad de la componente aperiódica del nivel del mar de origen meteorológico en el interior del Golfo (Hernández M., 2010). La amplitud de la marea en la costa norte es como promedio mayor que en el sur y tiende a reducirse en

áreas de limitado intercambio como las lagunas interiores del archipiélago Sabana-Camagüey. Las corrientes de marea son más fuertes en los canales y pasos entre los cayos.

5.2.4. LOS SEDIMENTOS

En la plataforma insular cubana prevalecen tres formas de sedimentación: quimiogénica de carbonato de calcio del agua de mar, producción biológica de los organismos marinos reductores de carbonatos y aporte de material terrígeno. Es común encontrar esqueletos de organismos marinos entre los sedimentos y regiones con un porcentaje alto de sedimentos de origen biogénico (Guerra *et al.*, 2005).

5.3. VARIABILIDAD Y TENDENCIA A LARGO PLAZO DEL NIVEL DEL MAR

5.3.1. VARIABILIDAD DIURNA

La variabilidad diurna del nivel del mar en la zona costera se debe principalmente a la marea, la cual se origina fundamentalmente por la interacción astronómica del Sistema Tierra-Luna-Sol. Las oscilaciones de la marea representan la mayor parte de la energía del espectro de las variaciones del nivel del mar (Guerman y Levikov, 1988). La marea en la costa ocurre como resultado de la propagación de las ondas de marea desde el océano y su intensidad (frecuencia y amplitud), depende también de las condiciones de frontera del medio por el cual se propagan (configuración de la línea de costa y relieve submarino). Las características de la marea mantienen gran estabilidad espacio-temporal a largo plazo.

Se han encontrado evidencias de cambios de la amplitud de la marea en aguas someras, producto del cambio de la profundidad, debido presumiblemente al aumento del nivel medio del mar en otras regiones del mundo. Sin embargo, aun no existen señales de que algunas de las componentes parciales de la marea hayan cambiado como consecuencia del ascenso del nivel medio del mar en Cuba (Hernández M. y Díaz, 1999).

En la medida en que ascienda el nivel medio del mar debe esperarse una mayor influencia de la marea (figura 5.4). Durante este proceso ascenderá también el plano medio de referencia para las oscilaciones de la marea, por lo que ésta, con el de cursar del tiempo, penetrará más tierra adentro, en dependencia de la pendiente y altura del terreno. Los obstáculos interpuestos por la actividad humana, no son a la larga una barrera infranqueable para la marea, sobretodo porque forman parte de los agentes erosivos marinos. Con el incremento gradual de la penetración de la marea, se extenderán los humedales costeros, en los cuales, con el aumento de la profundidad, aumentará la influencia del oleaje y de las corrientes marinas. También las corrientes marinas ejercerán mayor influencia sobre el fondo, ya que se extenderá la acción de las corrientes de marea y de las corrientes que se originan y actúan como un elemento de compensación dinámica en las zonas costeras, como las “*break currents*”. Todo esto dará lugar a una mayor erosión y exportación de sedimentos lejos del litoral y a la deposición de sedimentos en lugares hasta ahora no habituales.

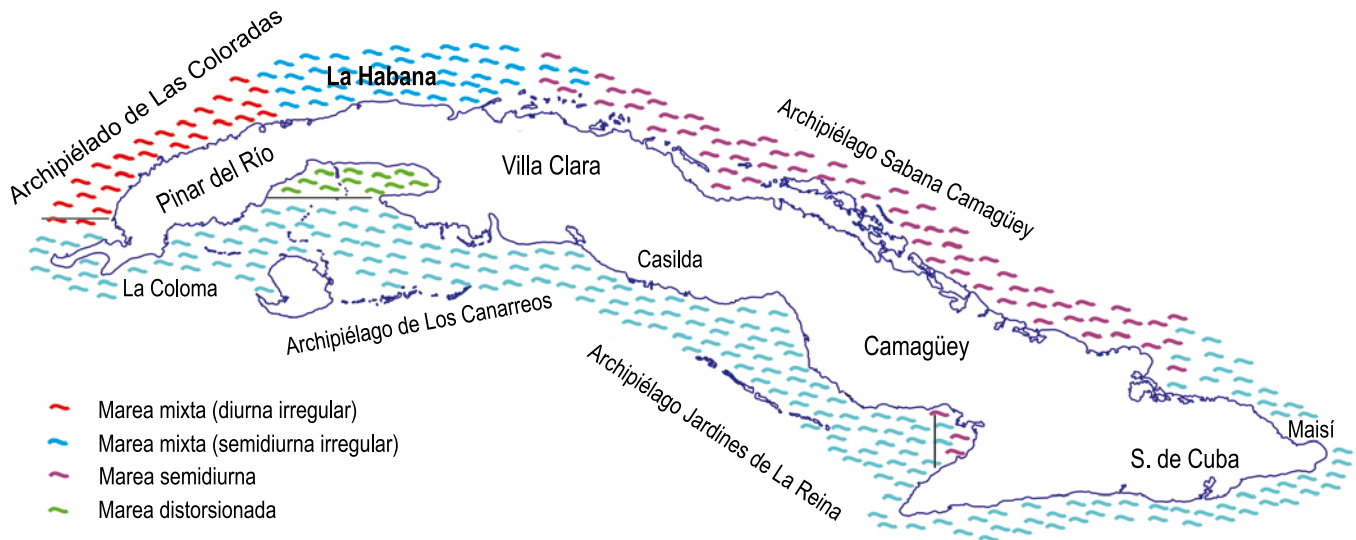


Figura 5.4. La marea en las costas de Cuba (tomado y adaptado de Rodríguez y Rodríguez, 1983)

5.3.2. VARIABILIDAD SINÓPTICA

Las variaciones de la componente aperiódica del nivel del mar de origen meteorológico (CA-NM) en la escala sinóptica de frecuencias poseen, en el dominio del tiempo, períodos característicos de algunas horas hasta 15 días (Efimov, 1985; Guerman y Levikov, 1988; IOC, 1990; Pugh, 1996). Las mismas responden a la variabilidad espacio-temporal de los campos de la presión atmosférica y del viento, y en las zonas costeras dependen de las características del relieve del fondo marino y de la configuración de la línea de costa. En localidades interiores de las zonas amplias de la plataforma insular y en Siboney ocurrió la mayor intensidad mensual promedio de la CA-NM (figura 5.5, a).

En la costa norte del Golfo de Batabanó (sur de las provincias de Artemisa y Mayabeque) las variaciones de la CA-NM son más intensas y se observa un aumento de la intensidad mensual de la CA-NM desde inicios de los '80 (figura 5.5, a), que alcanza los valores más altos durante el primer y cuarto trimestre del ciclo anual (figura 5.5, b).

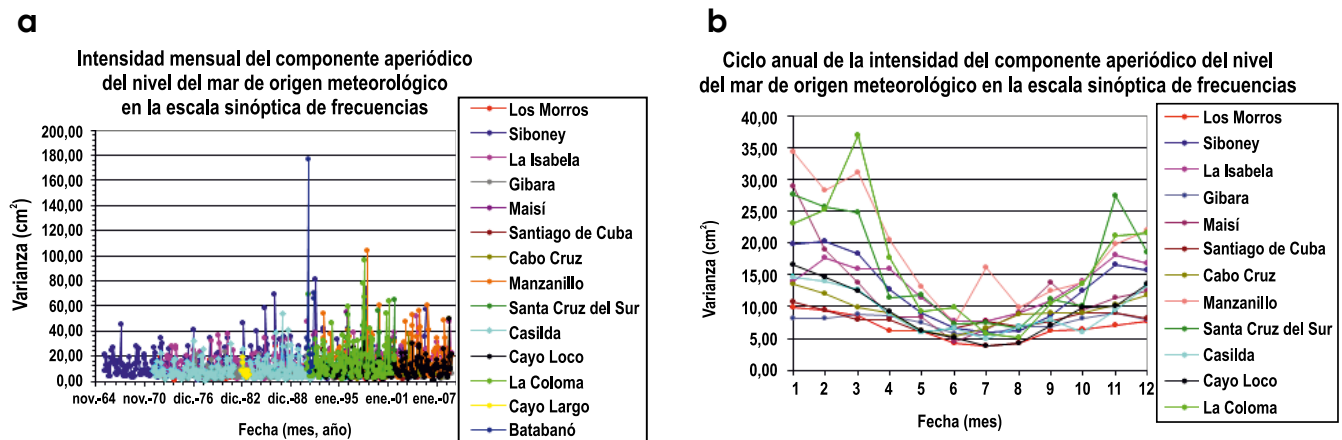


Figura 5.5. Intensidad de la CA-NM. Intensidad mensual (a) y ciclo anual de la intensidad (b). Tomado de Hernández M., 2012

La intensidad promedio de la CA-NM para el semestre diciembre-mayo aumentó entre inicios de los años 80 y finales de los '90, con fuertes fluctuaciones interanuales, sobre todo en localidades interiores de la plataforma insular y en Siboney, al igual que los valores extremos. Los máximos y mínimos extremos fluctuaron entre 35-40 y 25-30 cm respectivamente. Para el semestre junio - noviembre la intensidad promedio de la CA-NM aumentó ligeramente desde mediados de los 90 hasta el 2005, con variaciones más fuertes de un año a otro entre 1998 y el 2005 en Manzanillo, Siboney, La Isabela, Cabo Cruz, Santa Cruz del Sur y La Coloma. La intensidad anual de la CA-NM resultó mayor durante el semestre diciembre-mayo que entre junio y noviembre (temporada ciclónica) en las regiones occidental y central de Cuba.

Las principales características de la Función Espectral (FE) del Nivel del Mar Observado (NMO) correspondieron, por sus resultados, con los del análisis armónico para las componentes parciales de la marea. Se identificó la presencia de ruido aleatorio relacionado con la influencia meteorológica. Los principales máximos espectrales (ME) de la CA-NM en las costas norte y sur se ubicaron entre 0,22 y 0,24 cpd (4,5 días) y entre 0,38 y 0,78 cpd ($T=2,9-1,3$ días) (figura 5.6). Predominaron los ME de 0,22 cpd, lo cual indica un predominio de variaciones de la CA-NM con períodos de 4,5 días.

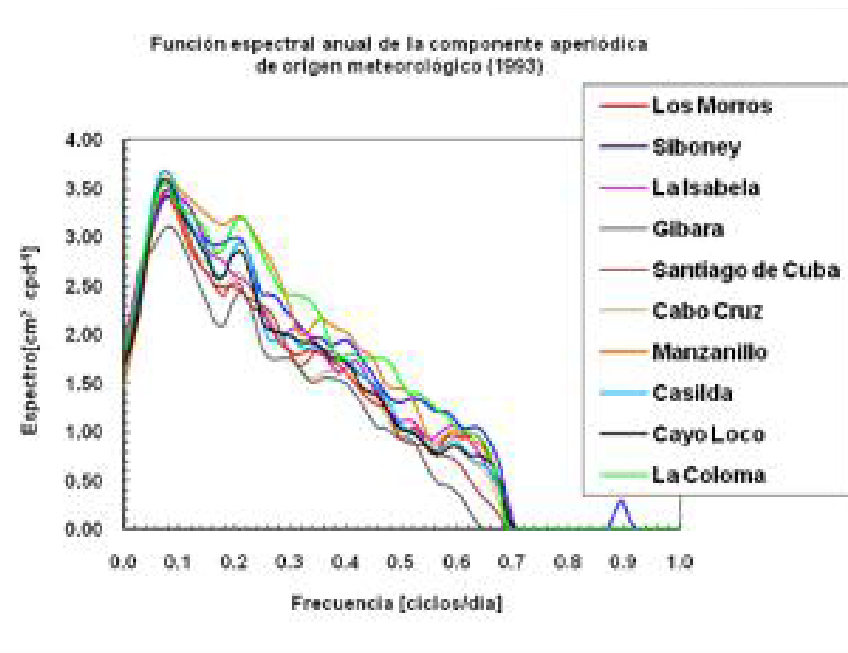


Figura 5.6. Estructura espectral de las variaciones de la CA-NM en diferentes localidades de las costas norte y sur del archipiélago cubano. Tomado de Hernández M., 2012

La energía espectral de la CA-NM resultó más intensa en 1991 en Batabanó que en La Coloma, con señales espectrales definidas entre 0,17 y 0,87 cpd, en correspondencia con la naturaleza predominantemente aperiódica de las variaciones del nivel del mar en esa localidad. Se destacó un pequeño pero definido ME de alta frecuencia en 0,90-0,95 cpd (1,1-1,0 días) en las localidades de la costa norte cercanas a las aguas oceánicas profundas, como Siboney. Las variaciones de la CA-NM para el intervalo de bajas frecuencias (0,07- 0,50) resultaron como promedio más intensas en el interior de las zonas amplias de la plataforma que en las localidades abiertas a las aguas oceánicas; y para el intervalo de altas frecuencias (0,50-1,00 cpd) resultaron más intensas en las localidades más cercanas a las aguas oceánicas. Para los semestres diciembre-mayo y junio-noviembre se observó una disminución de

la energía espectral desde los 0,07 cpd hasta los 0,40 cpd (2,5 días), con sus principales señales espectrales en los 0,12 cpd (8,3 días), 0,22 cpd (4,5 días) y 0,30 cpd (0,3 días). Entre los 0,40 cpd y 1,00 cpd, la estructura espectral de las variaciones de la CA-NM disminuyó suavemente desde los 0,40 cpd hasta el ME de alta frecuencia, resultando esta estructura más común en la costa sur, o se observó una estructura espectral irregular con máximos espectrales más estables para 0,4-0,5 cpd (2,5-2,0 días) y el ME de alta frecuencia. Para el semestre junio-noviembre, las variaciones de la CA-NM de menor período alcanzaron como promedio más energía que las de mayor período; mientras que para el semestre diciembre-mayo ocurrió lo contrario en todas las localidades analizadas (figura 5,7). En la plataforma suroccidental las variaciones de la CA-NM resultaron más intensas entre diciembre y mayo (figura 5.7 a). Predominaron pequeñas diferencias de fase entre las variaciones de la CA-NM de las costas norte y sur, con altos valores de coherencia para 0,20-0,70 cpd (4,8-1,4 días) entre localidades cercanas y distantes entre sí (figura 5.8 a y b).

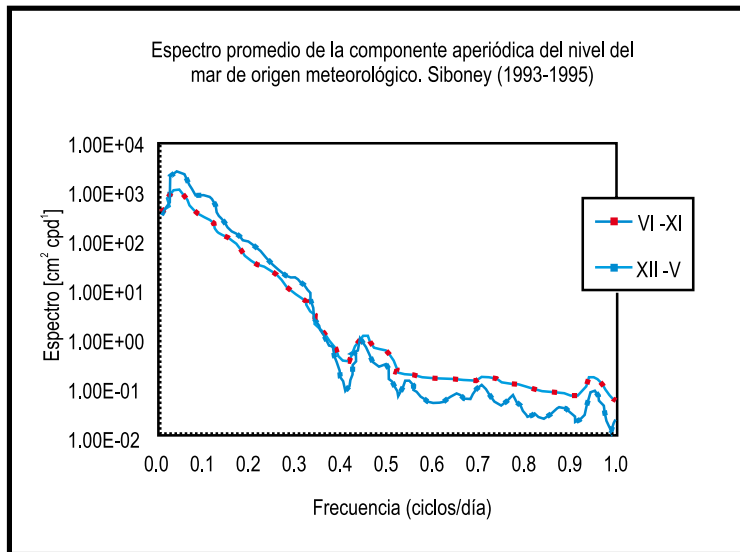
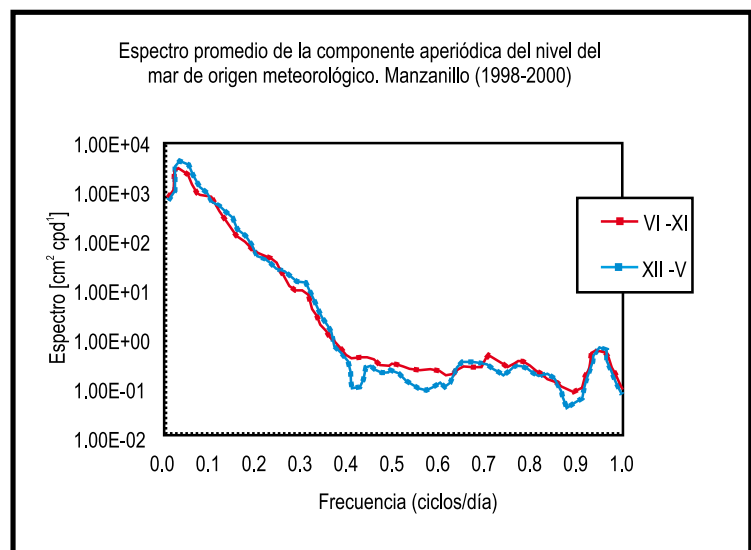
a**b**

Figura 5.7. Estructura espectral promedio de la CA-NM para dos semestres opuestos del ciclo anual en el sector noroccidental (a) y suroriental (b). Tomado de Hernández M., 2012

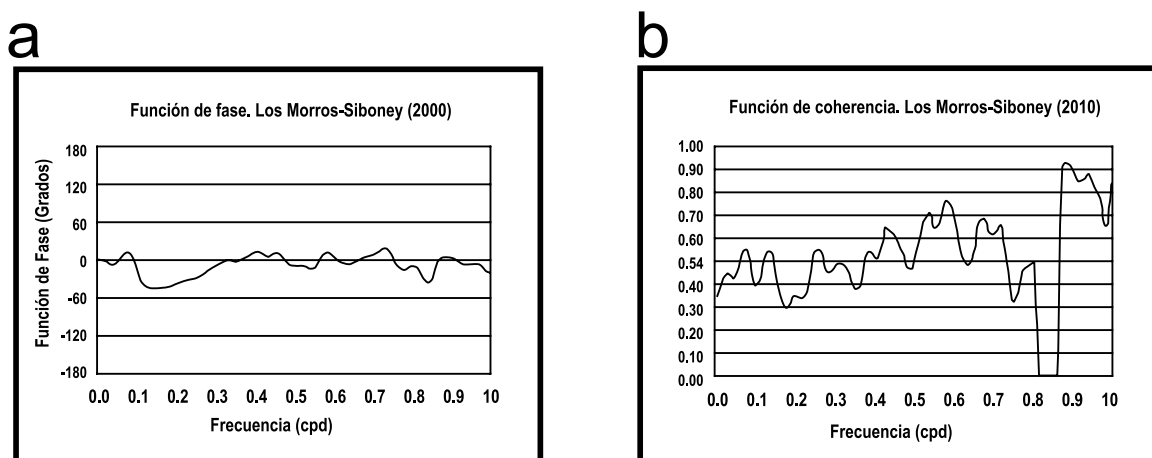


Figura 5.8. Función de coherencia entre diferentes localidades. Tomado de Hernández M., 2012

La Función Espectral (FE) anual de las variaciones aperiódicas de la presión atmosférica a nivel del mar (CA-PA), y de las variaciones aperiódicas del componente meridional y zonal del viento (CA-Wy y CA-Wx) de Casablanca, exhibieron ME para 18,0-0,23 cpd y para 0,30-0,70 cpd durante el período analizado (figura 5.9). La FE promedio de CA-Wy se caracterizó por una mayor energía que las de CA-PA y CA-Wx.

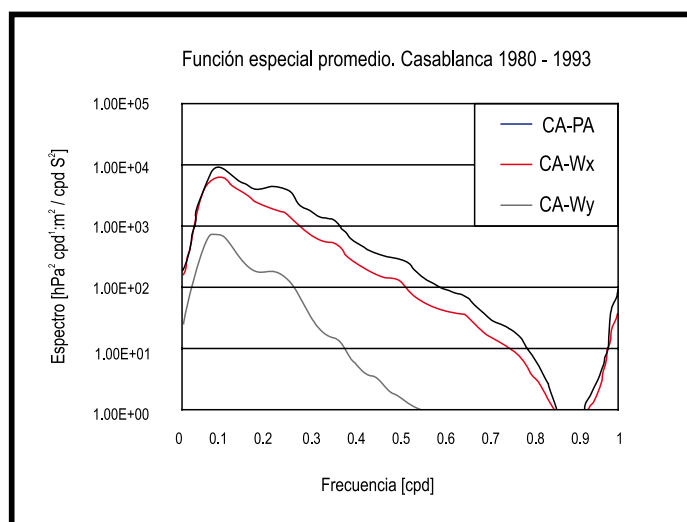


Figura 5.9. Función espectral anual y promedio de las variaciones aperiódicas de la presión atmosférica y de las componentes meridional y zonal del viento. Tomado de Hernández M., 2012

Las variaciones aperiódicas de la presión atmosférica a nivel del mar a escala local, las variaciones aperiódicas de la componente efectiva de la dirección del viento y el gradiente de presión en la región oceánica adyacente constituyen las variables de mayor influencia sobre las variaciones aperiódicas del nivel del mar en Siboney, principalmente en el intervalo de bajas frecuencias 0,07-0,40, con elevada correspondencia de sus principales máximos espectrales y de coherencia (figura 5.10).

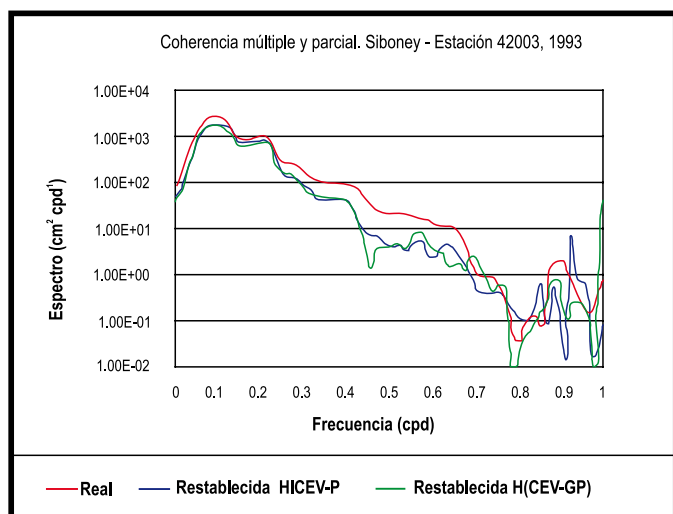
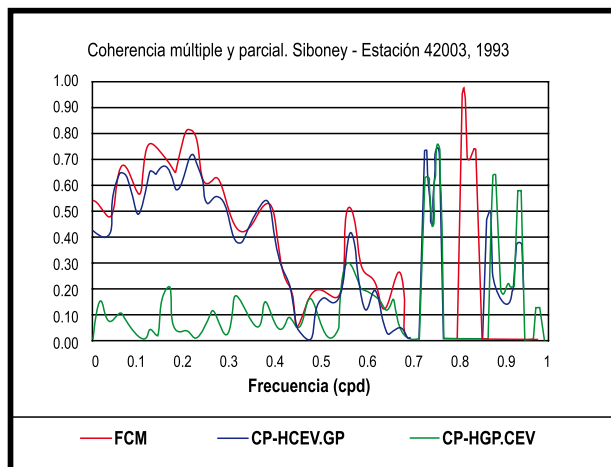
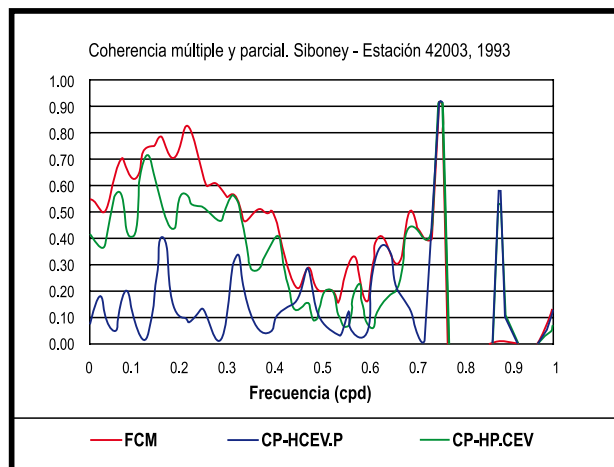


Figura 5.10. Funciones de coherencia múltiple y parcial y espectros restablecidos, calculados con variables locales y de la región oceánica adyacente. Tomado de Hernández M., 2012

Se analizaron los casos de huracanes con diferentes trayectorias y comportamiento con relación a Cuba y sistemas frontales (Hernández M., 2012) para lo cual, las variaciones de la CA-NM se clasificaron por su amplitud como leves (hasta ± 10 cm), moderadas (entre ± 10 cm y ± 20 cm) y fuertes (más de ± 20 cm).

Huracán Juan (26/10-1/11 de 1985): en Siboney se registraron dos máximos de la CA-NM de 17,0 y 15,0 cm (figura 5.11 a), y máximos en La Isabela y Gibara debido al traslado hacia el este de las variaciones aperiódicas (figura 5.11 b). Se registró en Siboney un máximo de 144,0 cm de 91,0 cm sobre el cero del puesto (SCP) el 29 de octubre a las 21:00 horas, y un valor de la CA-NM de 16,0 cm con influencia de efectos no lineales.

Huracán Kate (15-23/11 de 1985): la CA-NM alcanzó en La Isabela 22,0 cm, 12 horas antes que el máximo de Siboney, bajo la acción del sector izquierdo del huracán y luego disminuyó hasta -13,0 cm debido a la influencia del sector derecho, con valores moderados en Casilda (figura 5.11 c). El valor máximo de 25,0 cm de la CA-NM en Siboney ocurrió tres horas antes que el máximo del NMO (figura 5.11 d). Salió al mar por el este de La Habana y se intensificó (Case, 1986), dando lugar a un nuevo máximo de la CA-NM en Siboney.

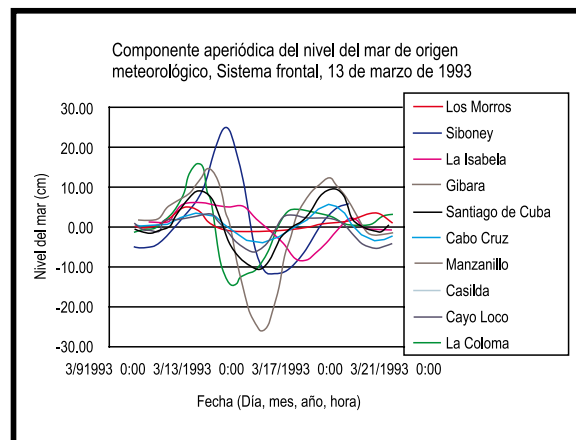
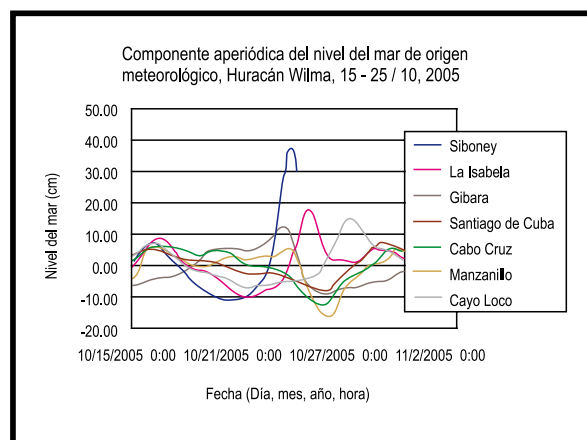
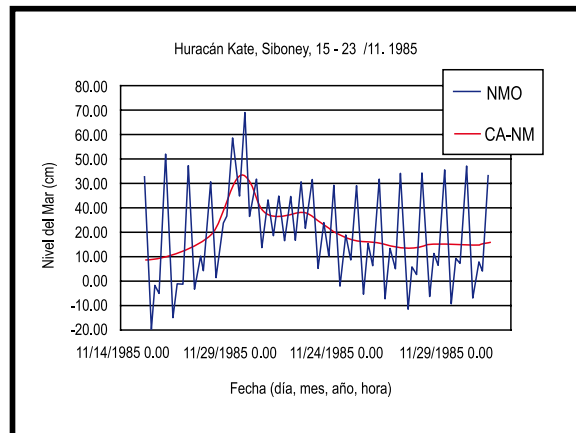
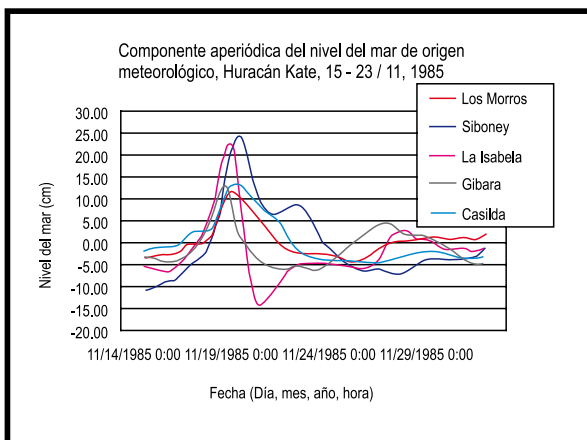
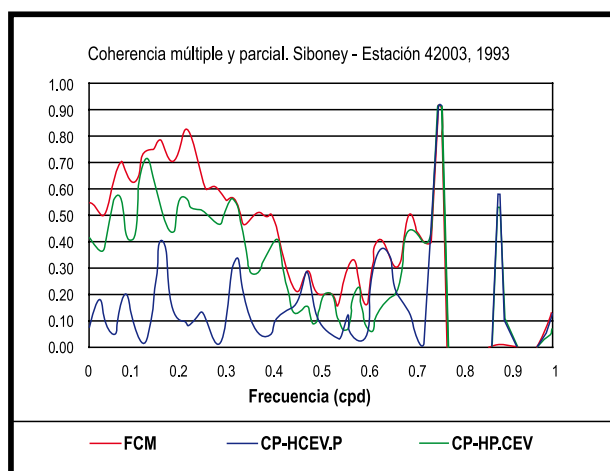
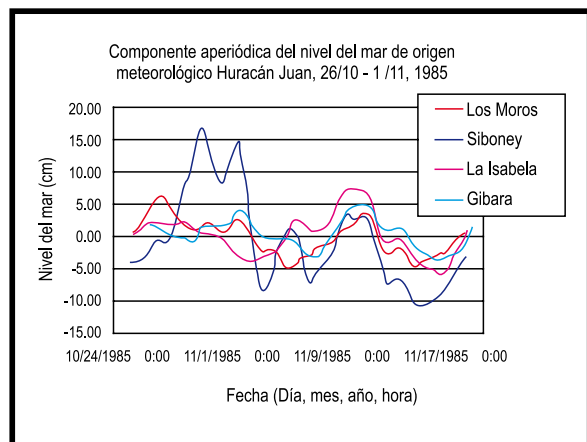


Figura 5.11. Variaciones del nivel del mar durante eventos meteorológicos. Tomado de Hernández M., 2012

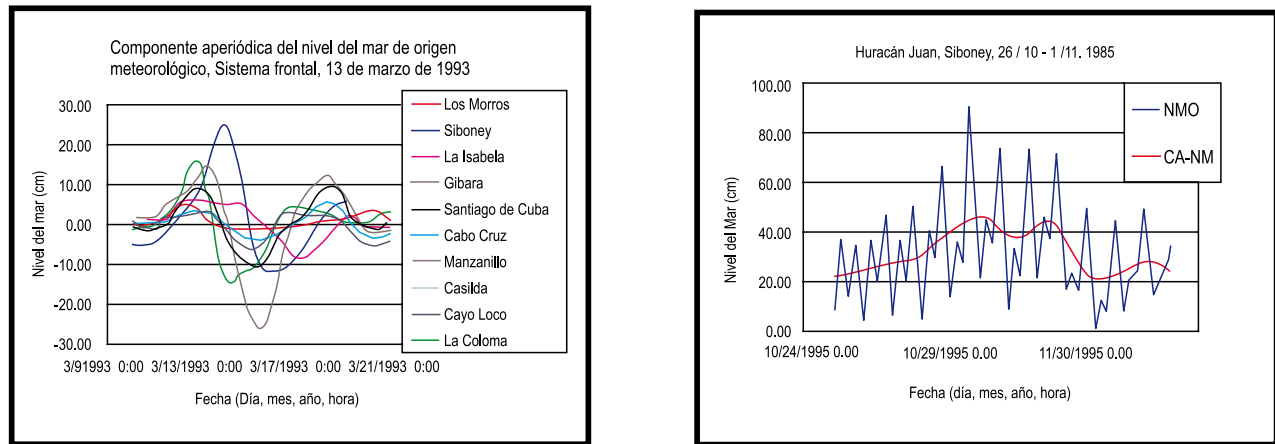


Figura 5.11. Variaciones del nivel del mar durante eventos meteorológicos. Tomado de Hernández M., 2012

Huracán Wilma (15-25/ 10 de 2005): los días 23 y 24, Wilma generó una onda de surgencia y alturas de olas significativas de 8,0 y 9,0 metros que provocaron una sobre-elevación del mar en la región occidental de Cuba (AMA, 2005). El mareógrafo Siboney trabajó efectivamente hasta las 14:00 horas del 24 de octubre. Se registró un máximo de la CA-NM de más de 38,0 cm (24/10/05:00-10:00) y una altura extrema del NMO de 112,0 cm (95,0 cm SCP), la cual se debió a la coincidencia del máximo de la CA-NM con la pleamar mayor y condiciones astronómicas favorables (AMA, 2005), y al máximo estacional de octubre, superando a la del huracán Juan (figuras 5.11 e y f).

Uno de los principales problemas es el relacionado con el incremento del nivel del mar y su asociación con un mayor impacto de la marea de tormenta. Las recientes décadas han sido testigos del incremento de los daños económicos y sociales debido al impacto de los ciclones tropicales. Las pérdidas de vida han ido en aumento de forma global; en parte, esta triste realidad es consecuencia del aumento de la vulnerabilidad, del incremento de la población, principalmente en zonas costeras (Pérez, 2008).

Sistema frontal de marzo de 1993: el viento giró de componente este a sur del 11 al 12 de marzo. La CA - Wy alcanzó - 44,0 km/h (-12,0 m/s) y la CA-NM 16,1 cm en La Coloma. El viento giró al suroeste y después al noroeste con un descenso de la CA-PA hasta su mínimo de 12,0 hPa en Casablanca el 13 por la noche, aumentando la CA-NM en Siboney y disminuyendo en La Coloma (figura 5.11, g). En la costa sur, la CA-NM se propagó hasta Manzanillo. El 13 de marzo en horas de la tarde el NMO alcanzó su valor máximo de 52,0 cm SCP durante la pleamar mayor, aunque el máximo de la CA-NM de 25,0 cm ocurrió durante la bajamar siguiente en horas de la noche (figura 5.11 h).

5.3.3. VARIABILIDAD ESTACIONAL.

La variabilidad estacional del nivel del mar (CAM) depende del intercambio de calor y humedad océano atmósfera y la variabilidad estacional del viento, la presión atmosférica y las corrientes marinas. En Cuba, el CAM muestra sus máximos

estacionales entre septiembre y octubre y los mínimos entre enero y marzo (figura 5.12). En general, los valores máximos, mínimos y medios históricos del nivel del mar poseen mayor amplitud en la costa sur que en la norte (tabla 5.1), pudiéndose observar que la máxima amplitud de la variabilidad estacional con respecto al valor medio histórico es de aproximadamente 16 cm, y la misma fluctúa entre valores aproximados a 8 y 24 cm.

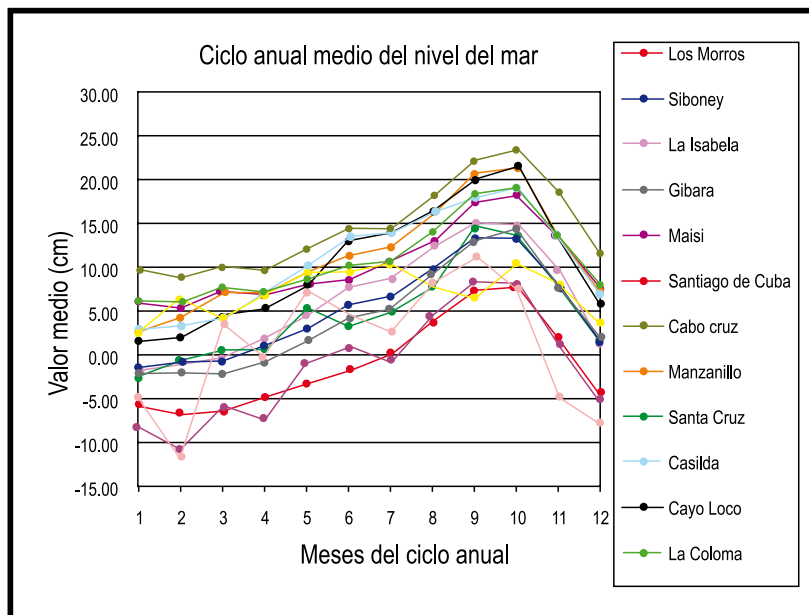


Figura 5.12. Ciclo anual medio del nivel del mar (CAM). Tomado Hernández M., 2012

Esta cifra representa un importante por ciento de los 27 cm de ascenso del n.m.m. para el 2050 (Salas *et al.*, 2006 y Macro-proyecto, 2010). También representa una cifra significativa con respecto al ascenso proyectado por el IPCC de 18 a 59 cm para finales del presente siglo (IPCC, 2007a). Por tanto, al nivel medio del mar relativo (n.m.m. relativo), que aumentaría gradualmente, habría que sumar desde 8 hasta 24 cm más. Por esta razón, las costas predominantemente bajas del sur del país deberán ser las más afectadas por la sola combinación de los procesos de ascenso del n.m.m. a largo plazo y la variabilidad estacional promedio del nivel del mar representado por su CAM, independientemente de los otros componentes de las variaciones del nivel del mar.

En Cuba, al igual que en otras regiones del planeta, la estacionalidad del nivel del mar muestra cambios de un año a otro. Estos cambios vienen dados por la ocurrencia de anomalías mensuales del nivel del mar, como las más conocidas del Pacífico (Enfield y Allen, 1980; Chelton y Enfield, 1986), que ocurren bajo la influencia de procesos climáticos como el ENOS (Voitiriez y Guy, 1999).

El ENOS genera un forzamiento atmosférico de baja frecuencia sobre las variaciones del nivel del mar en el Océano Pacífico, consistente en anomalías de sus valores medios mensuales (Chelton y Enfield, 1986), debido a la emisión de paquetes de ondas Kelvin que se trasladan de oeste a este, hasta las costas occidentales de Sudamérica (Laws, 1992). Los climatólogos reconocen en el ENOS, la causa de mayor variabilidad climática interanual en el planeta, por lo que se describe y se pronostican efectos

estacionales del ENOS, como la desviación positiva o negativa de la precipitación y la temperatura (Rubiera y Caymares, 1998). Por ejemplo, durante la estación de lluvia temprana (de mayo a julio) y en la fase La Niña, la temperatura superficial del mar es respectivamente más elevada y baja que lo normal. De nuevo, la variación en la temperatura de la superficie del mar es debido a los cambios en las circulaciones atmosféricas durante estos eventos (Chen *et al.*, 2008).

Se ha comprobado la influencia del ENOS sobre las variaciones del nivel medio mensual y anual en Cuba (Blázquez, 1989; Hernández M. y Díaz, 2001, a y b), la cual se manifiesta como anomalías mensuales y anuales positivas notables, e importantes alteraciones del ciclo estacional del nivel del mar; relacionándose las Anomalías de los Valores Medios Mensuales (AVMM) en aguas cubanas con las Anomalías de la Presión Atmosférica (APA) en presencia del ENOS. Se identificó la existencia de fuertes APA mensuales durante los períodos de ocurrencia de ENOS fuertes (figura 5.13 a y b) y también se determinó la ocurrencia de alteraciones del patrón estacional del nivel del mar (Hernández M., 2012), consistentes en desviaciones de la posición y amplitud de los máximos y mínimos estacionales de los VMM y de las AVMM. En algunas ocasiones el máximo estacional se trasladó a mayo o junio, resultando el VMM en estos meses igual o mayor que en septiembre u octubre, como ocurrió en La Isabela en 1998 y en Siboney en 1992 (figuras 5.14, a y b). Las anomalías de los valores medios mensuales positivas y negativas alcanzaron valores extremos de +28,80 cm y -20,09 cm respectivamente.

Tabla 5.1. Valores de los máximos, mínimos y medios estacionales del nivel del mar del ciclo anual medio de cada localidad estudiada referidos al cero geodésico (Hernández M. y Marzo, 2009)

ESTACIÓN	MÁXIMO (cm)	MÍNIMO (cm)	PROMEDIO (cm)
Los Morros	7,77	-6,64	-0,89
Siboney	13,46	-1,29	5,02
La Isabela	15,09	-1,93	6,12
Gibara	14,43	-2,10	4,28
Maisí	8,41	-10,69	-1,33
Santiago de Cuba	18,33	5,69	10,27
Cabo Cruz	23,53	8,97	14,51
Manzanillo	21,37	2,74	11,08
Santa Cruz del Sur	14,63	-2,46	4,78
Casilda	19,17	2,85	10,63
Cayo Loco	21,60	1,62	10,49
La Coloma	19,10	6,08	10,85
Cayo Largo (1983)	10,39	2,67	7,14
Batabanó (1991)	10,99	-11,67	1,36

También aumentó la intensidad medio mensual de las variaciones aperiódicas del nivel del mar (VM) en presencia del ENOS, principalmente durante los eventos ENOS fuertes de 1982-1983 y el de 1997-1998, sobre todo en sectores costeros del occidente y centro del país (figuras 5.15 a y b).

Lo anteriormente expuesto se debe a que en presencia del evento ENOS se produce una anomalía positiva del número de frentes fríos y un desplazamiento más al sur (por

debajo de los 30° N) de las trayectorias de las bajas extratropicales (González, 1999 y 2000; Rubiera y Caymares, 1998), con manifestaciones más intensas del viento y de las marejadas. En este sentido, Rubiera y Caymares (1998) describieron los tres patrones sinópticos más importantes durante los eventos ENOS: (a) frente frío fuerte seguido de intenso anticiclón continental migratorio y onda polar (que no es privativo solo de los años ENOS); (b) baja extratropical intensa que se desarrolla en el Golfo de México con uno o varios centros de circulación, y (c) bajas "Golfianas" que se desarrollan en el Golfo de Campeche o sobre el Golfo de Honduras. En el caso de las bajas, la primera tiende a formarse en el noroeste del Golfo de México o desarrollarse en el sudeste del Estado norteamericano de Texas, con trayectorias hacia el este-nordeste, para después inclinar su rumbo hacia el noreste; la segunda se mueve al este-nordeste y después al noreste, cruzando sobre el occidente y centro de Cuba o sobre el extremo sudeste del Golfo de México.

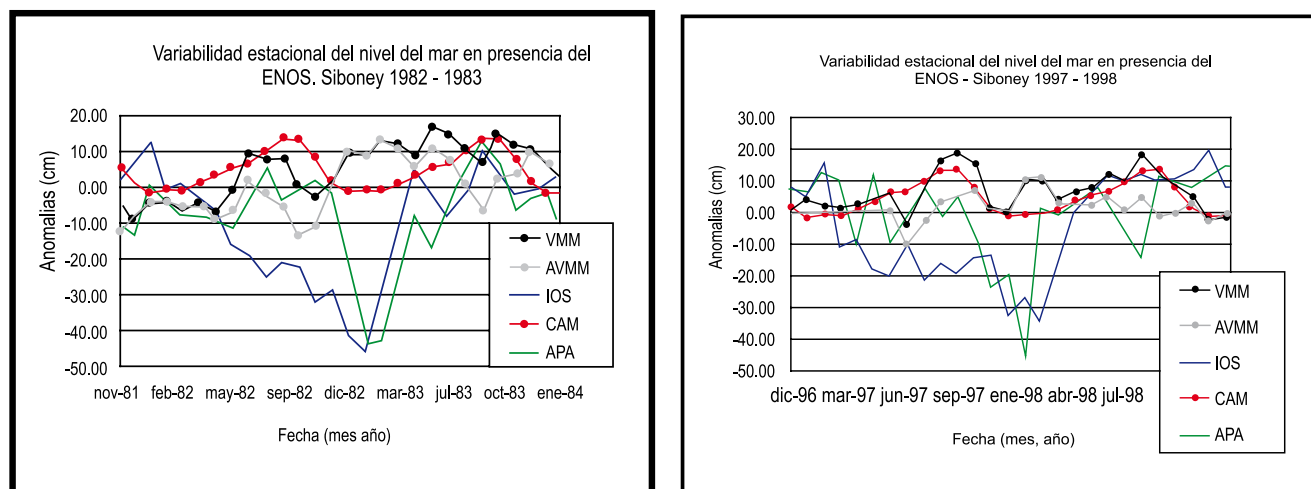


Figura 5.13. Variabilidad estacional del nivel del mar en presencia del ENOS 1982-1983 (a) y 1997-1998 (b). Tomado de Hernández M., 2012

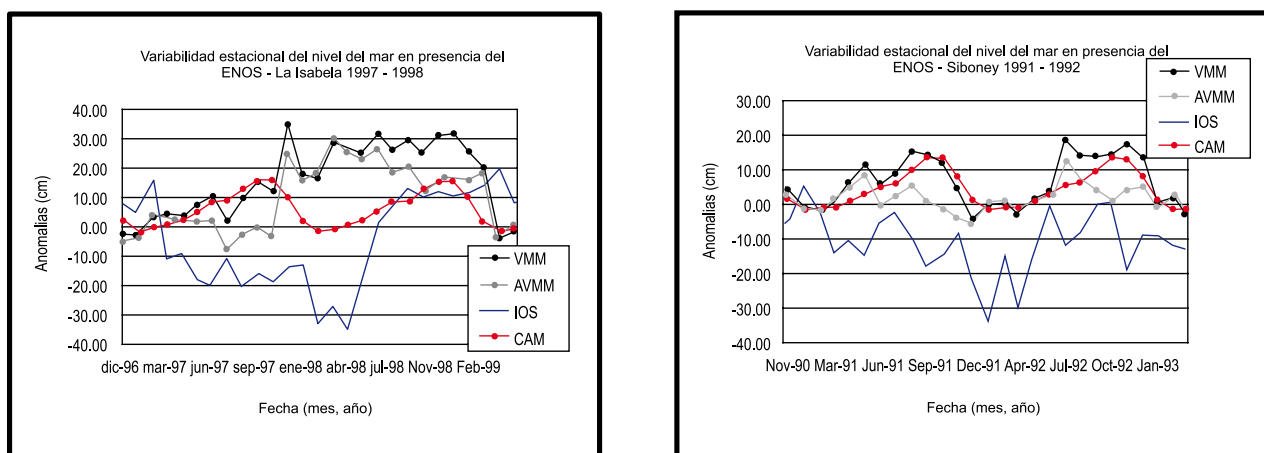


Figura 5.14. Variaciones del nivel del mar durante el evento ENOS 1997-1998 en La Isabela (a), y en Siboney durante 1991-1992 (b). Tomado de Hernández M., 2012

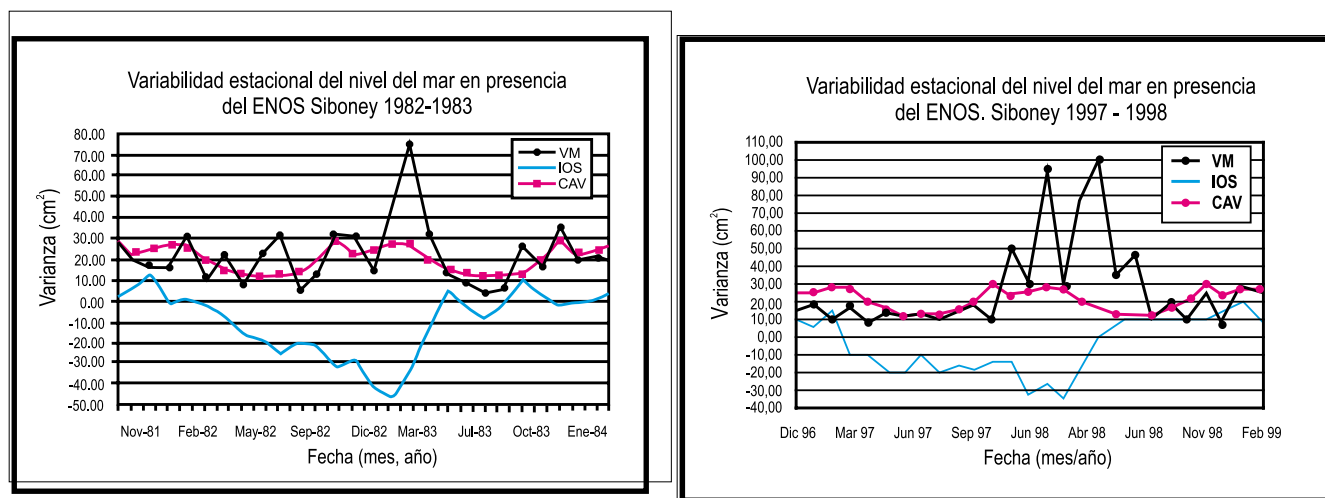


Figura 5.15. Intensidad mensual de las variaciones aperiódicas del nivel del mar durante eventos ENOS fuertes, a (1982-1983) y b (1997-1998). Tomado de Hernández M., 2012

De la forma anteriormente descrita, se establece un mecanismo de tele-conexión que comprende al ENOS, la ocurrencia de más frecuentes y fuertes eventos sinópticos en la región geográfica en que se encuentra Cuba y la existencia de anomalías mensuales y variaciones aperiódicas del nivel del mar de origen meteorológico más intensas. Con relación a estas últimas, se ha podido comprobar que las variaciones aperiódicas del nivel del mar de origen meteorológico muestran, principalmente, una respuesta altamente coherente a la variabilidad de los campos de la presión atmosférica y del viento, en condiciones perturbadas del estado del tiempo, cuando las mismas alcanzan a manifestarse a escala de todo el archipiélago en algunas ocasiones (Hernández M., 2012). Esto último se encuentra relacionado con la propagación de variaciones aperiódicas del nivel del mar de origen meteorológico a lo largo de las costas norte y sur del archipiélago cubano, hasta localidades del centro del país (Hernández M., 2012), en muchos casos como ondas atrapadas a la costa (Ramírez y Hernández M., 2006), evento que también ha sido caracterizado en las costas occidentales de México (Ramírez, I., 1991).

La influencia indirecta del ENOS, debido a la tele-conexión, no se limita por tanto, a las zonas del archipiélago más directamente expuestas a los eventos sinópticos. Existen otros factores. Durante las fases cálidas y frías del ENOS, los flujos de las anomalías del calor latente son el principal factor de generación de las Anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (ATSM). En este sentido, durante la fase cálida (fría) las anomalías de la presión atmosférica a nivel del mar tienden a ser positiva (negativa) en el Atlántico Ecuatorial y negativa (positiva) en el Atlántico Norte Subtropical, lo cual reduce (refuerza) el gradiente de presión meridional y debilita (fortalece) los Alisios del noreste.

5.3.4. VARIABILIDAD INTERANUAL

La variabilidad interanual del nivel del mar responde a variaciones de los parámetros de la interacción océano atmósfera y a la restructuración de los procesos cíclicos océano-atmósfera, con ciclos predominantes de dos a siete años (Guerman y Levikov, 1988). El ENOS constituye un evento recurrente aperiódico, que se manifiesta

a intervalos de dos a cinco años y como promedio cada cuatro años (Voitouriez y Guy, 1999). Por otra parte, nótese que los valores medio anuales más altos de las localidades cubanas analizadas, sobre todo de Siboney y Gibara (figura 5.16 a y b), ocurrieron en años ENOS (Hernández M. *et al.*, 2011).

La variabilidad interanual es distinta de una localidad a otra, aunque dentro de una misma región geográfica las series de valores medios anuales conservan una elevada coherencia entre sí. Los valores medios anuales suelen diferenciarse sobre todo en magnitud, debido a las condiciones oceanográficas de las aguas oceánicas adyacentes que condicionan una respuesta particular del océano a los eventos de la variabilidad del clima atmosférico y a los procesos de la circulación regional.

En Siboney y Gibara, por ejemplo, la amplitud de la variabilidad interanual, superpuesta a la tendencia a largo plazo, tendió a aumentar sostenidamente desde el inicio hasta el final de los períodos analizados (figuras 5.16 b y d). En Los Morros y en Casilda, los máximos y mínimos anuales se comportaron de forma más uniforme (figuras 5.17 a y f). En La Isabela, la variabilidad interanual se comportó más o menos uniforme durante la mayor parte del período de observaciones; sin embargo aumentó bruscamente en 1998, hacia finales del período analizado (figura 5.17 c).

La variabilidad interanual moduló con más fuerza la tendencia en Siboney y en Gibara que en las restantes localidades, ejerciendo mayor influencia como acelerador del proceso de ascenso del nivel medio del mar (Hernández M., 2012). La variabilidad interanual intervino en estos dos casos, como un componente no lineal, no estacionaria, superpuesta al proceso estacionario de ascenso del nivel medio del mar a largo plazo.

Se comprobó también que las Anomalías del Valor Medio Anual (AVMA) alcanzaron sus valores más elevados en 1972, 1975, 1983, 1998 y 2003, y ocurrieron máximos anuales menores en 1978, 1986, 1992 y 1994, con una AVMA extrema en 1998 en La Isabela (figura 5.17, a). La intensidad anual (VA) alcanzó sus valores más altos en La Isabela, La Coloma, Siboney y Manzanillo (figura 5.17 b), localidades del archipiélago donde ocurrieron también las variaciones aperiódicas de la CA-NM más intensas. En las costas de los Estados Unidos se han identificado los máximos valores anuales del nivel del mar relacionados con la ocurrencia del ENOS mediante la tele-conexión (Parker, 1992).

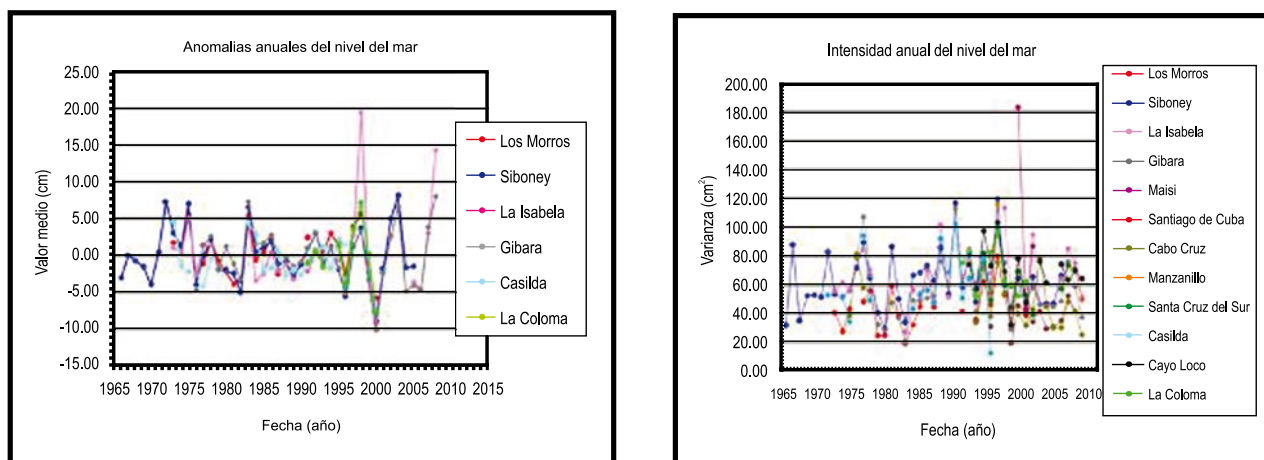


Figura 5.16. Anomalías del valor medio anual (a) intensidad anual (b) del nivel del mar. Tomado de Hernández M., 2012

En conclusión, en presencia del ENOS ocurren fuertes anomalías de la variabilidad mensual del nivel del mar, debido a establecimiento de condiciones hidrometeorológicas más favorables para las mismas. Estas anomalías consisten en un aumento anómalo del nivel medio mensual, debido a anomalías negativas de la presión atmosférica principalmente, que no es privativo de los años ENOS, y un aumento de la intensidad mensual de las variaciones aperiódicas del nivel del mar.

Las anomalías anuales y mensuales se superponen al nivel medio histórico de cada localidad o región. Sobre las mismas se superponen las oscilaciones de marea astronómica, es decir, la semiamplitud de la marea, evento cuyos máximos y mínimos ocurren con regularidad dos veces al día. También hay que considerar la amplia gama de las variaciones de origen meteorológico en condiciones habituales y perturbadas.

Las estaciones de nivel del mar de la NOAA administradas por el Centro de Productos y Servicios Oceanográficos Operacionales (CO-OPS, en inglés) registraron valores del Nivel del Mar Relativo (NMR) superiores a lo normal a lo largo de la costa este de EE.UU. en junio y julio de 2009 (figura 5.18). Los niveles cercanos a los máximos, en la segunda mitad de junio, coincidieron con una marea viva de perigeo, una marea extrema pronosticada cuando la luna está más cerca de la Tierra durante una marea viva. Este evento de marea, añadido a la anomalía de NMR, produjo inundaciones costeras menores, y llamó la atención de muchas comunidades costeras debido a la falta de tormentas costeras que normalmente causan tales anomalías.

En cuanto a las alturas del NMR, el evento no fue muy inusual, ya que muchas localidades tienen niveles más altos al final del verano. Las alturas del NMR en junio-julio de 2009 resultaron anómalas debido a su momento de ocurrencia inesperado y su alcance geográfico. El evento del NMR resultó anómalo en términos de sus valores “residuales” no previstos en las predicciones de las mareas Tierra-Luna-Sol y los ciclos estacionales normales de los vientos y la presión atmosférica, las corrientes oceánicas y el ciclo calentamiento-enfriamiento de las aguas costeras. Los valores residuales medios del NMR en junio de 2009 fueron significativos ($> 0,2$ m) de Carolina del Norte a Nueva Jersey, importantes ($> 0,1$ m) desde la Florida hasta Maine, y los más extremos que ocurrieron simultáneamente en toda la costa este durante un período de primavera - verano desde 1980.

Hay dos mecanismos probables responsables de los elevados valores residuales del NMR en junio-julio de 2009. El primero es el forzamiento del viento del noreste. En junio de 2009, los vientos en toda la zona geográfica desde Cabo Hatteras, en Carolina del Norte, hasta el Golfo de Maine, tenían una componente moderada del viento, cuyo transporte causó el incremento del NMR costero. Al sur de Cabo Hatteras, los vientos eran principalmente hacia el suroeste (SW). El otro mecanismo es el transporte variable de la Corriente de la Florida, que se mide en el Estrecho de la Florida, antes que aporte sus aguas a la Corriente del Golfo costa afuera de Cabo Hatteras, Carolina del Norte. Cuando el transporte de la Corriente de la Florida y la Corriente del Golfo es menor, la pendiente de la superficie libre del mar que aumenta hacia el este, transversal a la corriente, disminuye y por ende se incrementa el NMR en la costa. En junio de 2009, el aumento residual del NMR coincidió con un descenso observado en el transporte de la Corriente de la Florida.

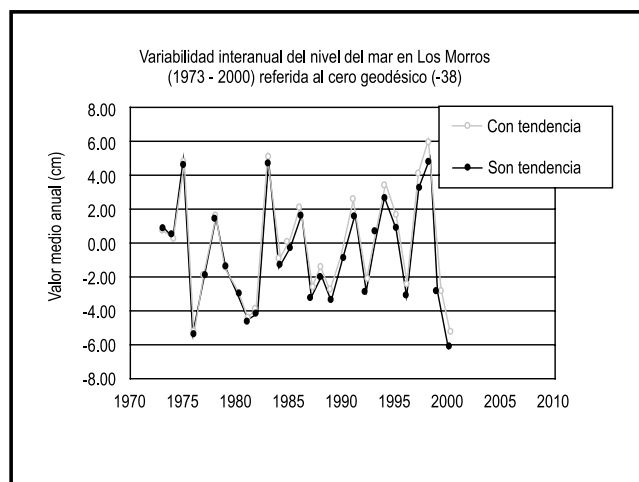
El evento del NMR de junio-julio 2009 decayó a mediados de julio de 2009, a medida que disminuyeron los valores residuales del NMR. Durante este período, el transporte de la Corriente de la Florida aumentó bruscamente y los vientos oscilaron entre suroeste y noreste a lo largo de la costa este.

La anomalía del NMR de junio-julio de 2009 es única, porque los vientos del noreste no se encontraban en una alta multianual ni el transporte de la Corriente de la Florida en su baja. Pero el efecto combinado de las dos fuerzas creó valores residuales del NMR, que tuvieron sus niveles más altos a lo largo de la costa este. Los valores residuales superiores del NMR entre Carolina del Norte y Nueva Jersey definieron el momento de mayor superposición de las dos fuerzas (Sweet *et al.*, 2009).

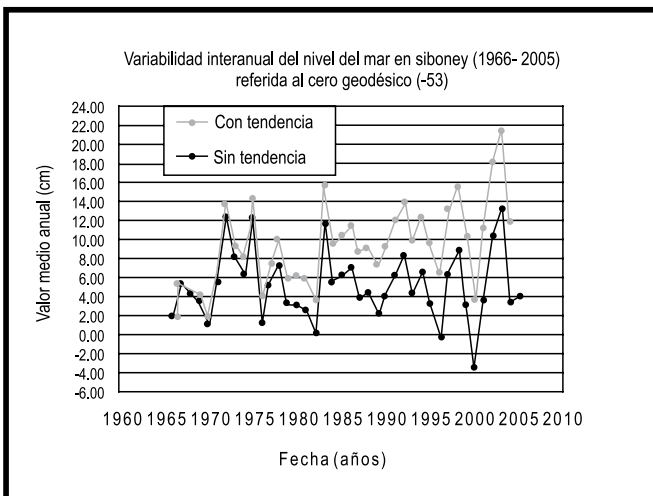
Todos estos eventos resultan de gran importancia para los procesos propios de la interface tierra-mar, como la erosión costera y el intercambio de materia y energía de los ecosistemas, los mismos cobrarán mayor importancia, a medida que ocurra el ascenso del nivel medio del mar a lo largo del presente siglo.

En Cuba, la presencia geográficamente cercana de la Corriente de La Florida a la región noroccidental, desde el Cabo de San Antonio hasta la Península de Hicacos, y la demostrada ocurrencia de intensas anomalías mensuales y anuales del nivel del mar relativo, constituyen elementos a considerar entre los peligros de inundaciones costeras a largo plazo, en las condiciones de un ascenso del nivel medio del mar, o la ocurrencia de procesos más intensos de erosión costera durante el presente siglo, aun en condiciones del estado del tiempo no perturbadas. Lo anteriormente expuesto debe ser considerado como hipótesis de trabajo en futuros estudios.

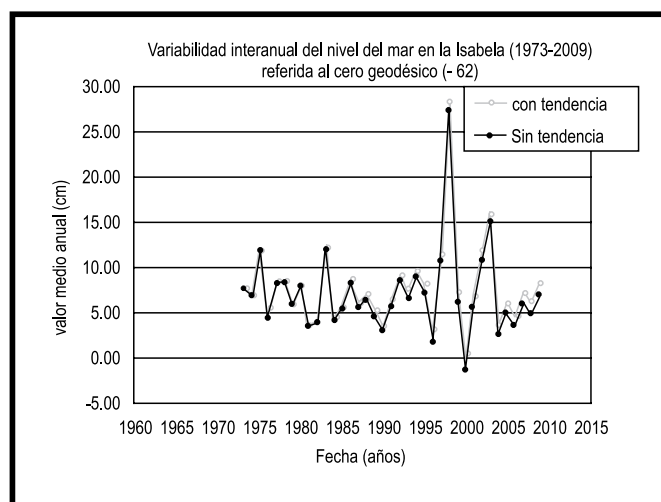
A



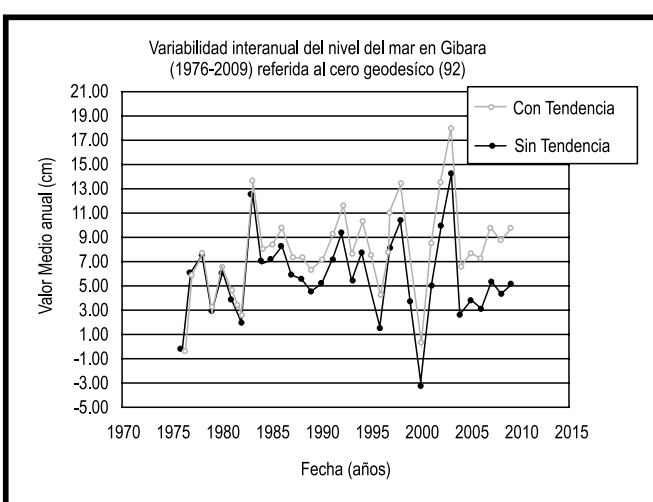
B



C



D



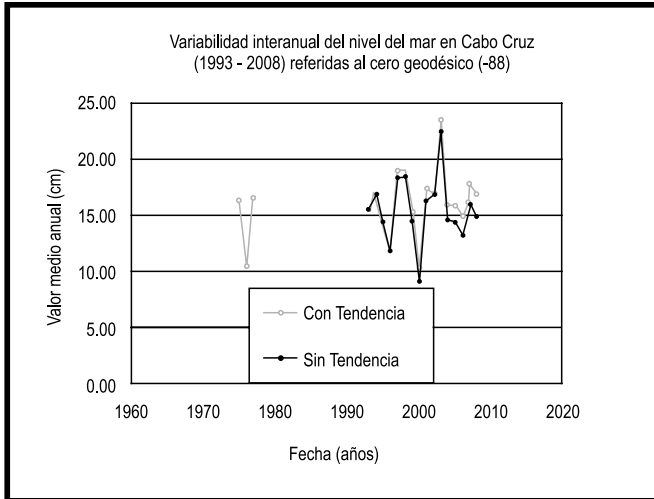
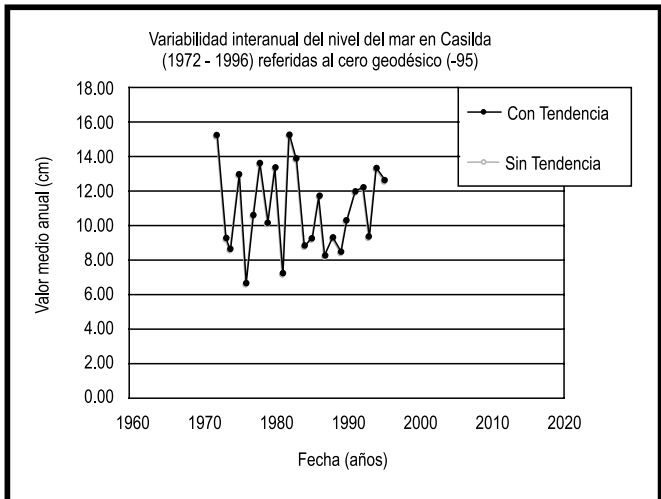
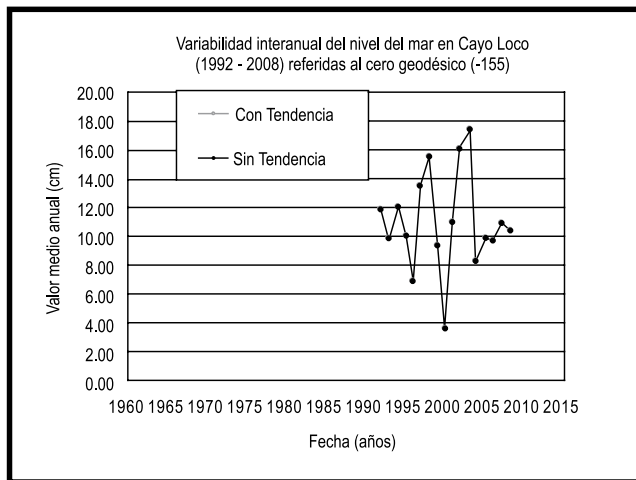
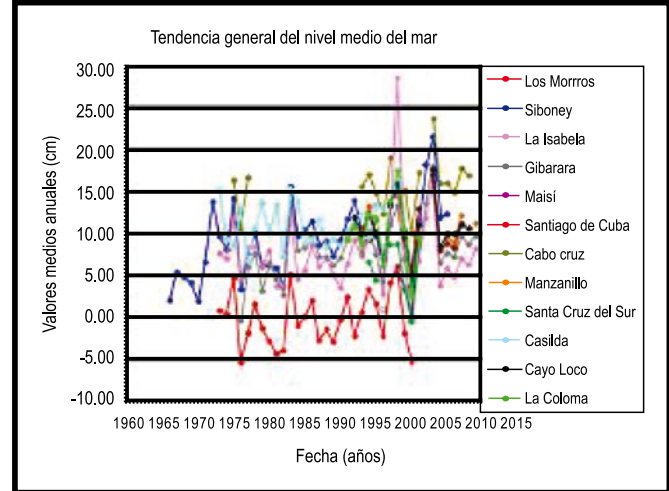
E**F****G****H**

Figura 5.17. Variabilidad interanual y tendencia del nivel medio del mar. Tomado de Hernández M. y Marzo, 2011

5.3.5. TENDENCIA Y PROYECCIÓN LINEAL

El valor más alto de la tasa lineal anual del n.m.m. se obtuvo en Siboney (0,214 cm/año), en el litoral de Ciudad de La Habana y el más bajo en Casilda (0,005 cm/año), en el extremo occidental de la plataforma suroriental (figuras 5.17 b y f). La segunda por su valor resultó la tasa anual de Gibara, de 0,141 mm/año (figura 5.17 d). Los Morros y La Isabela solo mostraron una leve tendencia lineal al aumento (figuras 5.17 a y c). La tasa lineal anual de Siboney y Gibara resultó más de tres veces mayor que la tasa lineal anual de Los Morros y La Isabela, para un período semejante de tiempo. Lo anteriormente expuesto puede apreciarse en la diferencia entre las series de valores medio anuales, con y sin tendencia. Esta resultó mayor en Siboney y en Gibara (figura 5.17).

En cuanto al incremento lineal anual, el n.m.m. ascendió a 8,56 cm en Siboney desde 1966 hasta el 2005, mientras que en Gibara aumentó tres veces mas que en La Isabela, para un período de tiempo similar. En Casilda prácticamente no cambió la

posición del n.m.m. en el último cuarto del siglo XX (tabla 5.2). Asumiendo que en todas las localidades analizadas se mantuvieran las tasas lineales anuales correspondientes por un período de tiempo igual al de Siboney, entonces el incremento para 40 años en todas las localidades analizadas fluctuaría entre cero y nueve centímetros (tabla 5.2).

Tabla 5.2. Tendencia e incremento lineal del nivel medio del mar

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	PERÍODO	DURACIÓN [AÑOS]	TANMM [cm/año]	I-NMM [cm]	I-NMM [cm] (40 años)
Los Morros	21° 54.0' N	84° 54.4' W	1973-2000	28	0,038	1,06	1,52
Siboney	23° 05.6' N	82° 28.2' W	1966-2005	40	0,214	8,56	8,56
La Isabela	22° 56.4' N	80° 00.8' W	1973-2009	37	0,036	1,32	1,42
Gibara	21° 06.6' N	76° 07.5' W	1976-2009	34	0,140	4,75	5,59
Cabo Cruz	19° 50.4' N	77° 43.7' W	1993-2008	16	0,117	1,87	4,68
Casilda	21° 45.2' N	77° 43.7' W	1972-1995	24	0,005	0,12	0,20
Cayo Loco	22° 09.1' N	80° 27.3' W	1992-2008	17	0,009	0,15	0,36

Leyenda:

TANMM: tasa anual del nivel medio del mar

INMM: incremento del nivel medio del mar

INMM (40): incremento del nivel medio del mar en 40 años

El ascenso lineal del nivel medio del mar fue como promedio 1,43 mm/año en todo el archipiélago desde 1966 hasta el 2009, estimación basada en todos los registros mareográficos (12). El máximo ascenso correspondió a Siboney con 2,14 mm/año y el mínimo a Casilda con 0,05 mm/año. En la costa sur el ascenso lineal promedió 0,04 mm/año y en la costa norte 1,09 mm/año. La asimetría de la distribución geográfica de las estaciones entre las costas norte y sur, y la diferente longitud de sus registros, no permitió realizar una comparación de la rapidez de ascenso del nivel medio del mar relativo en términos absolutos.

Debe destacarse la elevada correlación lineal de la variabilidad interanual en todo el archipiélago, lo cual indica el predominio regional de los procesos que gobiernan la misma sobre las condiciones locales. Solo Casilda no tiene correlación lineal positiva con localidades de la costa norte.

Aunque la estimación lineal asume que el ascenso del nivel medio del mar es no acelerado, los valores de las tasas lineales anuales estimadas hasta la fecha pueden considerarse de importancia, debido a la reconocida vulnerabilidad de la mayor parte de las costas cubanas ante las penetraciones del mar. Un incremento lineal de casi nueve centímetros en 40 años, como en Siboney, puede estar amenazando los sistemas hidráulicos que garantizan la evacuación efectiva de aguas pluviales y albañales construidas hace cuatro décadas, al sumar otros efectos como el oleaje y la marea.

Cualquier proyección a largo plazo, lineal o no lineal, no debe concebirse como una extrapolación arbitraria, solo por extenderse por un período de tiempo deseado. De hecho en Todd, (2007), con 65 años de observaciones solo se estimó la proyección del nivel medio del mar a largo plazo hasta el 2080. La longitud efectiva de la proyección a largo plazo se encuentra condicionada por la persistencia de la variabilidad interanual del nivel del mar (Pugh y Maul, 1999). El número de años estadísticamente más adecuado para la extrapolación se estima mediante la autocorrelación serial. En tal sentido, y de acuerdo a la citada fuente, se determinó el número de años hasta

los cuales puede extrapolarse linealmente la tendencia del nivel medio del mar en Siboney y Gibara (figura 5.18), resultando 23 (hasta el 2028) y 34 (hasta el 2043), a partir del último año de mediciones disponible.

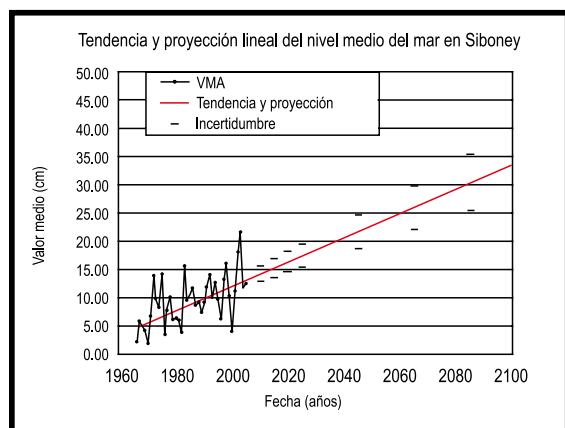
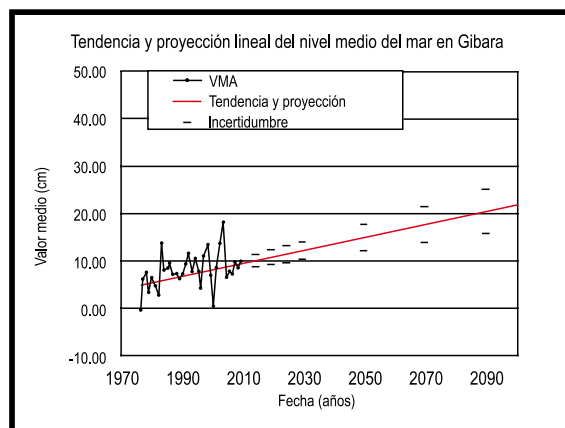
A**B**

Figura 5.18. Proyección lineal del nivel medio del mar relativo. Tomado de Hernández M. y Marzo, 2011

A modo de comparación en la tabla 5.3 se ofrecen datos de la tendencia en otras localidades de la región geográfica adyacente a Cuba y de Guantánamo

Tabla 5.3. Tendencia lineal del nivel medio del mar relativo y 95% intervalo de confianza en mm/año

ESTACIÓN	PRIMER AÑO	PERÍODO	PARA TODOS LOS DATOS		TASAS	
			HASTA 2006		ANTERIORMENTE PUBLICADAS	
			TASA DEL n.m.m.	+/- 95% INTERVALO DE CONFIANZA	TASA DEL n.m.m.	+/- 95% INTERVALO DE CONFIANZA
Miami Beach, FL	1931	51	2,39	0,43	2,39	0,43
Vaca Key, FL	1971	36	2,78	0,60	2,58	0,86
Key West, FL	1913	94	2,24	0,16	2,27	0,18
Naples, FL	1965	42	2,02	0,60	2,08	0,84
Fort Myers, FL	1965	42	2,40	0,65	2,29	0,88
St. Petersburg, FL	1947	60	2,36	0,29	2,40	0,36
Clearwater Beach, FL	1973	34	2,43	0,80	2,76	1,27
Cedar Key, FL	1914	93	1,80	0,19	1,87	0,22
Apalachicola, FL	1967	40	1,38	0,87	1,53	1,15
Panama City, FL	1973	34	0,75	0,83	0,30	1,26
Pensacola, FL	1923	84	2,10	0,26	2,14	0,30
Dauphin Island, AL	1966	41	2,98	0,87	2,93	1,16
Guantanamo B. Cuba	1937	35	1,64	0,80	1,64	0,80

5.3.6. TENDENCIA Y PROYECCIÓN NO LINEAL

Algunos hechos y resultados de esta investigación permiten suponer la posible ocurrencia de:

- Una aceleración del ascenso del n.m.m.: (a) la cantidad de hielo sobre la Tierra disminuye y a partir de finales del siglo XIX se ha producido una masiva retirada de los glaciares de montaña; (b) la tasa de pérdida de masa de los glaciares y del manto de hielo de Groenlandia aumenta, de manera que durante la década de los 90, el hielo en la Península Antártica y en el hielo de la plataforma Amundsen se hicieron más finos; y (c) los glaciares tributarios se han acelerado y en 2002 se produjo la disolución completa de la Plataforma de Hielo Larsen B. Por lo que es probable que el forzamiento antropogénico contribuyera al calentamiento general observado en los cientos de metros superiores del océano durante la última la mitad del siglo XX y es muy probable que el forzamiento antropogénico, que consiste en la dilatación térmica provocada por el calentamiento del océano y la pérdida de masa de los glaciares, contribuyera al aumento del nivel del mar durante la última la mitad del siglo XX (IPCC, 2007).
- El incremento del nivel medio del mar es consistente con el calentamiento global: a escala global, el nivel medio del mar aumentó con una tasa promedio anual de 1,8 (1,3 a 2,3) mm / año entre 1961 y el 2003 y una tasa promedio de alrededor de 3,1 (2,4 a 3,8) mm / año desde 1993 al 2003, señalándose la posible influencia de la variabilidad decadal (IPCC, 2007a).

Existen evidencias de origen instrumental de una aceleración del ascenso del n.m.m. Incluso se plantea la posibilidad de que los efectos no lineales sobre los cambios del n.m.m. a largo plazo a los que puede conllevar el derretimiento acelerado de los casquetes polares (proceso que tampoco es lineal como se consideraba antiguamente), pueden ser de mayor intensidad que lo estimado hasta el presente (IPCC, 2007a).

Persisten las incertidumbres sin embargo, ya que no existen modelos para analizar los procesos claves que puedan contribuir a grandes cambios dinámicos y rápidos, en los casquetes de hielo de Groenlandia y la Antártida, que puedan aumentar la descarga de hielo en el océano y la sensibilidad en el equilibrio de la masa de la superficie del casquete de hielo (derretimiento y precipitaciones). Respecto al cambio climático mundial, no está bien delimitado por las observaciones y tiene una amplia difusión en los modelos. Lo anterior indica que existe una gran incertidumbre en la magnitud del calentamiento mundial que, si se mantiene, provocaría la eliminación del casquete de hielo de Groenlandia (IPCC, 2007a).

La tendencia y su proyección se estiman mediante la estimación de la tasa anual del nivel medio del mar relativo, a partir de los valores medios anuales, calculados con los registros de alturas horarias del nivel del mar observado. La tendencia futura del nivel medio del mar también se estima utilizando modelos de emisión de gases de efecto de invernadero en los cuales se tienen en cuenta la expansión térmica de los océanos y la contribución del deshielo de los glaciares, casquetes polares y capas de hielo, debido al aumento de la temperatura global media. El IPCC en su IV Reporte estimó entre 18,0 y 54,0 cm para el 2100. En Salas *et al.*, (2006), se estimó para Cuba de 22,0 a 85,0 cm (tabla 5.4) para su aplicación en el cálculo de la inundación permanente

máxima de las zonas costeras en el modelo digital del terreno (Hernández, M. y Marzo, 2011). Estos dos procedimientos de estimación de las tendencias se diferencian, en que el primero incluye los movimientos verticales del terreno y es más preciso a escala local, y también regional cuando se cuentan con los registros de alturas horarias adecuados. El segundo también depende del conocimiento predictivo acumulado y muestra sus mejores resultados a escalas globales y regionales. El uso de los dos procedimientos contribuye a la compensación mutua de las insuficiencias: el primero ajusta los resultados del segundo en las zonas para las cuales son representativas las mediciones mareográficas y el segundo suple, en parte, la asimetría de la distribución geográfica de la información mareográfica.

Tabla 5.4. Proyecciones del nivel medio del mar en Cuba para diferentes momentos del siglo XXI (tomado de Salas *et al.*, 2006).

ESCENARIO	SENSIBILIDAD CLIMÁTICA	AÑO				
		2010	2030	2050	2070	2100
AIC	Baja (1,5 °C)	2	4	8	14	22
	Media (2,6 °C)	4	9	17	30	49
	Alta (4,2 °C)	6	15	27	48	85

A escala global, las mediciones instrumentales de más de cien años y las proyecciones de los modelos describen una tendencia cuasilineal del ascenso del n.m.m. a largo plazo.

Los cambios de la temperatura de las aguas oceánicas se comportan de forma diferente a escala local, regional y planetaria y también ocurren de forma diferente en superficie, en la capa activa del océano y en las profundidades abisales. Por otra parte, los cambios de las corrientes oceánicas influyen sobre la variabilidad intermensual e interanual del nivel del mar, sobre todo en los estrechos oceánicos, como es el caso del Estrecho de La Florida, cuyas aguas son adyacentes a Siboney (Hernández M. y Marzo, 2009). Además, los movimientos verticales del terreno pueden ser de diferente signo y velocidad, aminorando o acrecentando las tendencias descritas. Debido a lo antes expuesto, el margen de variación del n.m.m. a escala local y regional es muy amplio en comparación con el aumento del n.m.m. a escala mundial.

La variabilidad interanual (Hernández M. y Marzo, 2009), ejerció y ejercerá mayor influencia sobre la modulación de la tendencia a largo plazo del n.m.m. en Siboney y Gibara. En dichas localidades se debe presentar la mayor incertidumbre de estimación de la proyección futura del n.m.m. relativo por la propia incertidumbre de la definición de cuándo y con cual magnitud ocurrirán eventos de la variabilidad climática del sistema océano-atmósfera, entre cuyas manifestaciones están las anomalías de los valores medios anuales, a lo largo de los 50 ó 100 próximos años.

5.3.7. INUNDACIÓN DE ZONAS BAJAS

Con el aumento del n.m.m. relativo aumentará el área de la zona sumergida del archipiélago cubano. De acuerdo a la modelación de la inundación permanente (Hernández y Marzo, 2011), a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) este proceso debe ser más notable en los sectores costeros que delimitan las cuatro zonas de amplia plataforma insular (figura 5.19). Estos sectores son los más vulnerables y algunos de ellos los más amenazados por peligros naturales, como los eventos sinópticos, en el caso de los sectores costeros suroccidental y noroccidental.

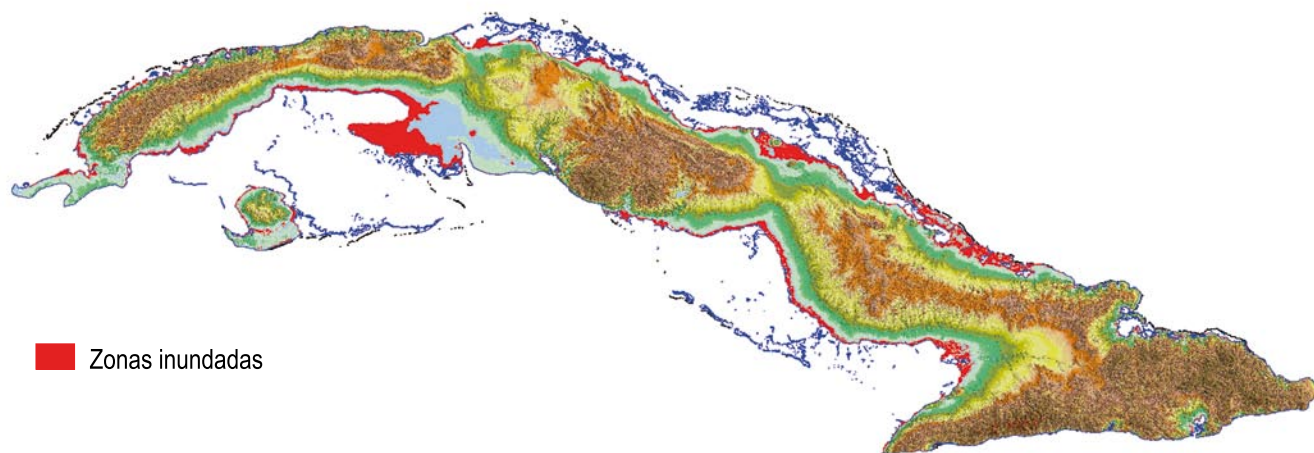


Figura 5.19. Zonas de inundación permanente para el 2100 para 85 cm, según los resultados del Macroproyecto (Macro-proyecto, 2010).

Recuadro 1. Vulnerabilidad e impactos

La marea es de pequeña amplitud en el archipiélago cubano. Sin embargo, en las condiciones de un ascenso del nivel medio del mar puede ocasionar impactos importantes en las zonas, que por ser bajas y de suaves pendientes, son más vulnerables, de acuerdo a un nivel medio del mar 85 cm más elevado.

Las variaciones aperiódicas del nivel del mar de origen meteorológico, por estar asociadas a eventos sinópticos extremos y mostrar una elevada coherencia en la propagación, a través de la zona marino-costera, lejos de la localidad de generación; representan una amenaza adicional para los ecosistemas naturales y la infraestructura socio-económica, en las condiciones de un ascenso del nivel medio del mar.

La amplitud de las anomalías mensuales del nivel del mar abarca períodos de tiempo intra-estacionales, durante los cuales se suman al nivel medio del mar, pudiendo dar lugar a eventos de inundación costera en las zonas bajas más expuestas a la inundación permanente. Las anomalías mensuales del nivel del mar favorecerán inundaciones temporales de la zona costera, si coinciden con otros eventos generadores de variaciones extremas del nivel del mar, lo cual puede ocurrir con más probabilidad durante los períodos con influencia del ENOS.

Existen evidencias de origen instrumental de una aceleración del ascenso del n.m.m. Incluso se plantea la posibilidad de que los efectos no lineales sobre los cambios del n.m.m. a largo plazo, a los que puede conllevar el derretimiento acelerado de los casquetes polares (proceso que tampoco es lineal como se consideraba antiguamente), pueden ser de mayor intensidad que lo estimado hasta el presente.

5.4. DINÁMICA E HIDROLOGÍA DE LA PLATAFORMA INSULAR

Con el aumento del n.m.m. relativo, aumentará la profundidad de las áreas sumergidas de la zona costera, cambiando la configuración geográfica de línea de costa, de la desembocadura de los ríos y de las lagunas costeras. Al mismo tiempo, ocurrirá un gradual ascenso del plano de las oscilaciones de la marea y de las variaciones del nivel del mar de origen meteorológico.

5.4.1. PATRÓN DEL OLEAJE EN LA ZONA COSTERA

En algunos estudios acerca de los cambios del patrón del oleaje y sus consecuencias, se ha asegurado que la sobre-elevación del nivel del mar por arrastre del viento en presencia de "sures", a partir de una nueva cota "cero" más elevada, como consecuencia de un ascenso del nivel medio del mar de aproximadamente 1 m; daría lugar a una penetración de las aguas de 1 a 3 km más de lo habitual para las zonas de inundaciones temporales y que, en localidades como el Golfo de Batabanó, de ocurrir el aumento del nivel medio del mar en el orden cercano a 1 m, las cotas de inundación se desplazarían varios kilómetros más hacia el interior, si se tiene en cuenta que la cota de 0,9 m se localiza entre 1 y 6 km de distancia de la línea costera actual (Mitrani *et al.*, 1999, 2000 a y b, y 2001).

En la actualidad se debate si el incremento de la actividad ciclónica observada en el Atlántico, obedece al calentamiento global o es el resultado de una variabilidad natural (Ballester, 2010). A partir de los registros de observaciones existentes, se ha documentado un incremento en el poder destructivo de los ciclones tropicales en el Pacífico occidental y en el Atlántico; así como la existencia de un significativo incremento global en la proporción de los huracanes más intensos (categorías 4 y 5 de la escala Saffir-Simpson) para el período 1975-2004, acompañado por un decrecimiento de los ciclones de menor intensidad (Pérez, 2008). Pero la gran variabilidad multidecadal y la representatividad de las series históricas de ciclones tropicales, anteriores a la puesta en servicio de los satélites meteorológicos, complica la detección de tendencias a largo plazo. No obstante, con los datos disponibles se puede afirmar que: no existe una clara tendencia en el número anual de los ciclones tropicales; existen evidencias de incremento de la actividad de los ciclones tropicales intensos en el océano Atlántico durante los últimos 30 a 40 años, correlacionados con los incrementos de la temperatura superficial del mar; hay indicios acerca del incremento de la actividad ciclónica en otras regiones, donde si existe consenso sobre la calidad de los datos; basado en un rango de modelos, es probable que en el futuro los ciclones tropicales comiencen a ser más intensos y con más precipitaciones asociadas, siguiendo el incremento de la temperatura superficial del mar (IPCC, 2007a, citado por Pérez, 2008).

5.4.2. CIRCULACIÓN DE LAS AGUAS DE LA PLATAFORMA INSULAR

Las corrientes en la plataforma insular se deben a la acción del viento y la marea, y en menor medida a las corrientes de la región oceánica adyacente. La marea penetra desde mar abierto generando corrientes de marea y el viento provoca el movimiento superficial del agua, lo que se denomina corriente residual. El patrón de la circulación de la plataforma insular cubana se caracteriza por la deriva hacia el oeste bajo la influencia de los vientos predominantes del este (Emilsson y Tápanes, 1971;

Blázquez y Romeu, 1982 y Blázquez *et al.*, 1988) con un movimiento en general lento y fundamentalmente reversivo, gobernado por una onda de tipo progresivo en el límite oceánico de la misma, pudiendo ser bastante rápidas en los pasos existentes entre los cayos periféricos, con máximos de 80 cm/s (Hernández M. *et al.*, 2006). Las corrientes también se ven afectadas por la topografía submarina, la configuración de la línea de costa, la presencia de obstáculos naturales como cayos e islas, la fricción con el fondo, la fricción interna o viscosidad y la fricción lateral en las proximidades de las costas (Blázquez *et al.*, 1988).

Plataforma noroccidental: las corrientes marinas en la región se clasifican como corrientes de marea de carácter mixto, con franco predominio de las ondas diurnas. En algunas zonas que en llenante y vaciante, las corrientes marinas en la zona de plataforma abierta tienen un carácter de corrientes de marea reversivas, actuantes en direcciones opuestas y paralelas a la costa (figura 5.20).

Las corrientes de marea, se generan a partir de la penetración de la onda de marea por la zona norte del Golfo de Guanahacabibes, a través de la barrera coralina de Sancho Pardo hasta el cabo de San Antonio (figura 5.20 e). La marea es mixta, semidiurna irregular, con dos pleamares y dos bajamares de diferente amplitud en un día. Las corrientes de marea tienen un patrón de comportamiento básicamente diurno y actúan durante 12 horas en direcciones del primer y segundo cuadrante oceanográfico y durante 12 horas en direcciones del tercer y cuarto cuadrante. Durante las mareas vivas (máxima declinación lunar y fases de sicigia), las corrientes de marea son puramente diurnas, mientras que durante la ocurrencia de las mareas menores (mínima declinación lunar y fases de cuadratura), los períodos de acción en una u otra dirección varían y pueden llegar a ser de 18 y 6 horas alternativamente (Hernández M. *et al.*, 2006).

Del análisis de las imágenes, las mediciones directas y la modelación numérica puede concluirse que con regularidad se produce un intercambio plataforma océano. Según los resultados de la modelación, la velocidad de las corrientes puede superar los 30 cm/s en zonas abiertas de la plataforma, siendo con más frecuencia de 10 cm/s. Según las mediciones, muy localmente distribuidas, son débiles, con velocidades medias inferiores a los 10 cm/s y máximas inferiores a los 20 cm/s (Hernández M. *et al.*, 2006).

En las cercanías del Cabo de San Antonio tienen lugar corrientes periódicas de carácter reversivo, que pueden actuar en las direcciones sureste-noroeste, con velocidades medias de 20-29 cm/s y máximas de 63-140 cm/s (Victoria *et al.*, 1990). A pesar del carácter marcadamente periódico de esta corriente, se observa un débil flujo neto resultante (con intensidad de 9 cm/s en febrero-marzo de 1989, y 2 cm/s en octubre-noviembre de 1988), con dirección sureste, que es indicativo de la existencia en estas épocas del año, de la contracorriente costera cubana del Cabo de San Antonio (Sukhovey *et al.*, 1980). Las corrientes marinas se clasifican como corrientes de marea de carácter mixto, con franco predominio de la componente diurna, que al parecer dan lugar a corrientes residuales débiles y de direcciones variables, las cuales favorecen un lento movimiento neto hacia el oeste-oestesuroeste, con la consecuente salida de las aguas de plataforma hacia el Golfo de México (figura 5.20 f).

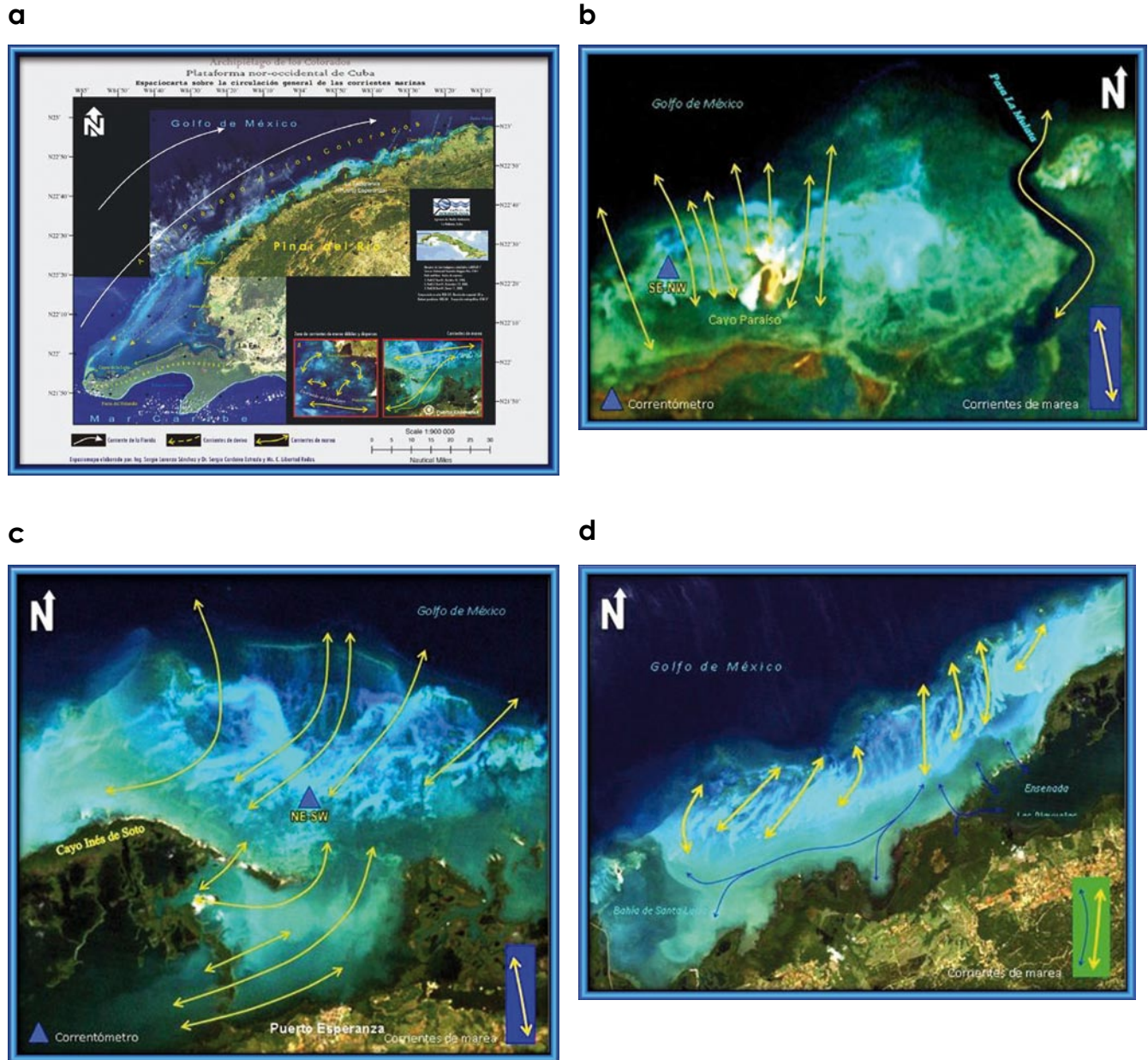


Figura 5.20. Espacio-carta y espacio-imágenes de la plataforma noroccidental. Aspectos generales de la circulación de las aguas. a: Plataforma noroccidental y archipiélago de los Colorados; b: Sector desde Cayo Paraíso hasta Pasa La Mulata; c: Puerto Esperanza y sus alrededores; d: Sector costero entre Cayo Jutía y Cayo Inés del Soto; ejemplo: El Quebrado de Buenavista al este del Banco de Sancho Pardo. En el Golfo de Guanahacabibes predominan los vientos de componente este-noreste durante casi todo el año, aunque se ha comprobado que en presencia de Frentes Fríos Moderados (FFM) ocurre un aumento relativo de la velocidad de las corrientes, con una componente noroeste y una velocidad de 35 cm/s (Hernández M. et al., 2006)

Plataforma suroccidental: la deriva neta de las corrientes marinas hacia el oeste es más evidente en la plataforma suroccidental de Cuba, debido a que representa una extensa llanura sumergida orientada zonalmente (figura 5.21).



Figura 5.21. Espaciocarta de la plataforma suroccidental (Golfo de Batabanó). Aspectos generales de la circulación de las aguas

Además de los factores generadores de las corrientes marinas comunes para las cuatro zonas de la plataforma insular, en el Golfo de Batabanó, las corrientes se generan también por el escurrimiento de agua dulce y las correspondientes anomalías pícnicas espaciales que pueden aparecer en determinada época del año (Emilsson y Tápanes, 1971). Durante el vaciante, las corrientes marinas resultan no mayores de 50 cm/s en su parte oriental y aun menores en su mitad occidental. Los valores más altos se pueden registrar al sur de la Península de Zapata y en las pasas y canales de las cayerías de su periferia sur oriental (Hernández M. *et al.*, 2006). En condiciones de régimen la velocidad de las corrientes marinas durante el llenante es comparativamente menor que durante el vaciante (figuras 5.22 y 5.23).

Las zonas de mayor intensidad de las corrientes marinas se encuentran al noreste de la Isla de la Juventud, al norte de los canales de Punta del Este y del Rosario y entre Cayo Largo y la Península de Zapata, con valores más elevados, como promedio, durante el refluo; diferencia que se debe a la influencia de los Alisios. Por otra parte, en la zona suroccidental del Golfo, el intercambio debe ser mayor debido al carácter diurno de la marea.

Los eventos meteorológicos de escala sinóptica, como los sistemas frontales, con mayor influencia de los “sures” en la mitad occidental, y los ciclones tropicales, perturban temporalmente el campo de las corrientes marinas que imponen los Alisios en la plataforma insular. El 12 de marzo de 1993 ocurrió una penetración del mar a causa del “sur” que antecedió al sistema frontal asociado a la baja extratropical del 13 de marzo (Mitrani y col., 2000). La velocidad máxima del viento fluctuó entre 21 y 23 m/s los días 12 y 13 respectivamente (Casals, 2002), ocurriendo fuertes variaciones aperiódicas del nivel del mar (Hernández M. *et al.*, 2006). Con viento del sur de

aproximadamente 21 m/s la velocidad de las corrientes fueron mayores en la parte oriental del golfo, sobre todo en el llenante. Los valores en vaciante resultaron mayores de 30 cm/s mientras que en llenante fueron mayores que 80 cm/s.

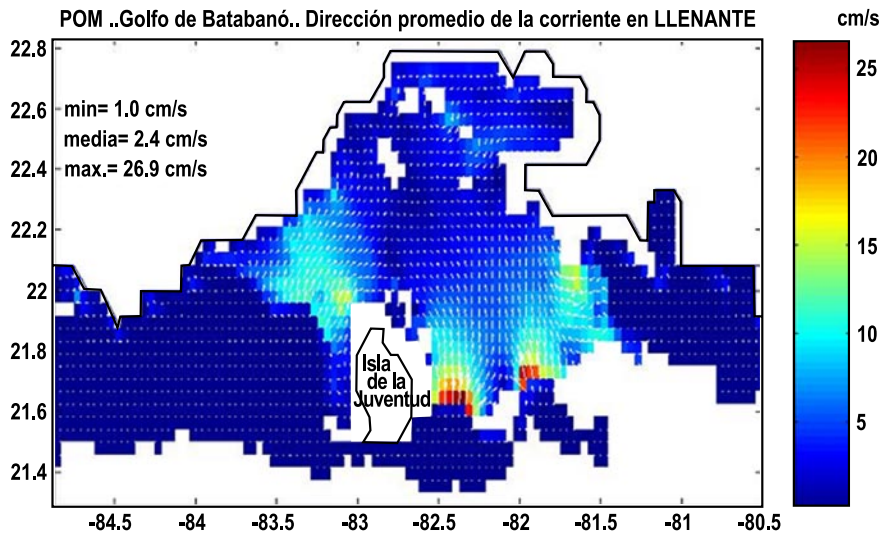
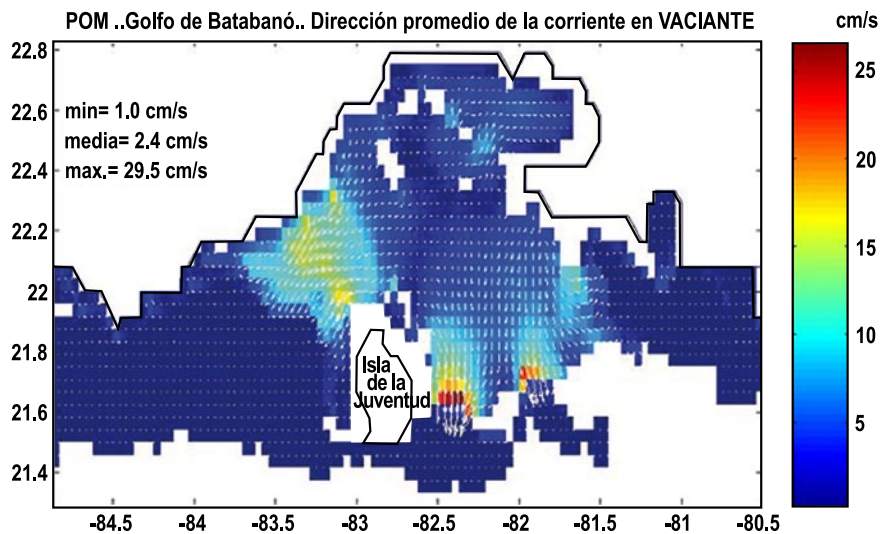


Figura 5.22. Intensidad y dirección media de las corrientes marinas durante el reflujo (vaciente). La intensidad de las corrientes marinas es mayor en los canales de Punta del Este y del Rosario y al sureste del golfo de Batabanó

Figura 5.23. Intensidad y dirección media de las corrientes marinas durante el flujo (llenante). La intensidad de las corrientes marinas es mayor en los canales de Punta del Este y del Rosario, al sureste del golfo de Batabanó



De acuerdo a resultados de la modelación numérica, las corrientes pueden ser aun más intensas con viento del sureste en la parte oriental del golfo, alcanzando más de 100 cm/s y ampliándose considerablemente el área en que predominan los valores máximos de la velocidad. Con el viento del suroeste es relativamente menor la velocidad de la corriente en la parte oriental del golfo, debido presumiblemente al efecto de apantallamiento que debe ejercer la Isla de la Juventud (Hernández M. *et al.*, 2006).

La figura 5.24 muestra la modelación de las corrientes marinas con solo el aumento de la profundidad media debido al ascenso del n.m.m. en 85 cm. Como se puede apreciar, los principales cambios serán provocados por la sumersión de la Península de Zapata y el aumento de la sección transversal del intercambio plataforma-océano, al disminuir el obstáculo que representan los cayos, arrecifes y bajos fondos en los límites exteriores de la plataforma insular y en el interior de la misma (figura 5.24 b).

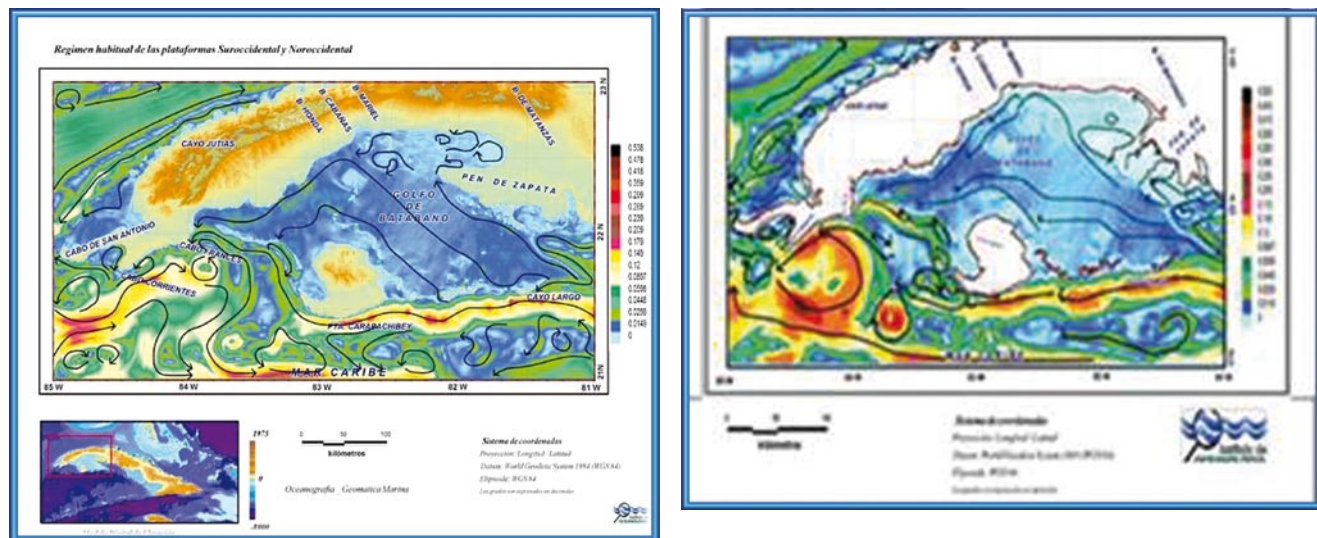


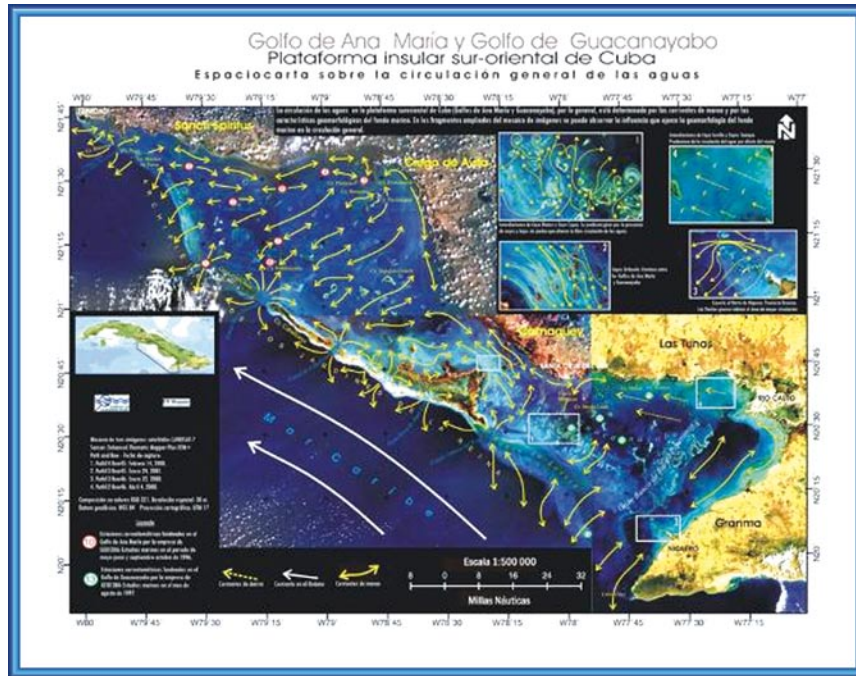
Figura 5.24. Modelación numérica del campo de las corrientes marinas para un ascenso del n.m.m. de 85 cm para el 2100. Con saetas y líneas de color negro de trazo continuo se destacaron los aspectos más importantes de la circulación de las aguas. Nótese las características de la circulación sobre el área sumergida de la Península de Zapata en el 2100

En las aguas oceánicas adyacentes a Cuba (más de 200 m de profundidad), no ocurrirán cambios de las corrientes marinas debido a un aumento de 0,85 m del n.m.m. Sin embargo, en las zonas más próximas a las plataformas y a los sectores de costas abiertas a las aguas oceánicas, de acuerdo a los resultados obtenidos para la plataforma suroccidental, ocurrirán cambios de la velocidad y dirección de las corrientes marinas, debido a los cambios geomorfológicos de las secciones transversales de los canales y pasos existentes entre los cayos, bajos fondos y arrecifes de los límites exteriores del archipiélago cubano.

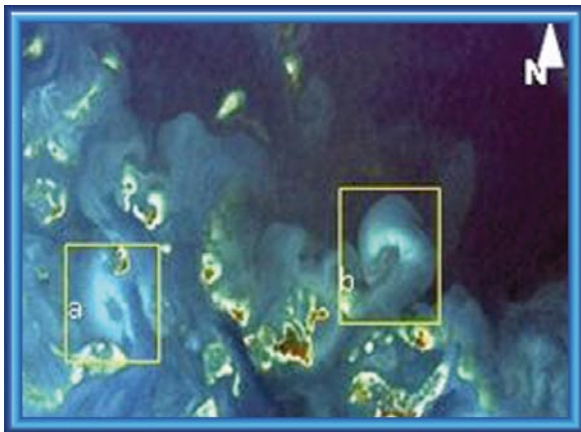
Plataforma suroriental: los valores máximos de las corrientes marinas en la periferia del Golfo de Guacanayabo durante el vaciante, obedecen al movimiento característico del agua hacia el exterior del mismo, reforzado por la persistencia de vientos del primer y segundo cuadrantes. En la mayor parte de esta zona (figura 5.25) y durante ambas fases de la marea, la velocidad de la corriente en condiciones habituales del estado del tiempo se mantiene entre los 8 y los 9 cm/s como promedio (Hernández M. *et al.*, 2006).

En el Golfo de Ana María las aguas penetran por todos los canales y pasos que se abren a través del Archipiélago de los Jardines de la Reina, entre ellos está: Canal de Bretón, Canal Boca Grande, Canal de Caballones, Canal Cabeza del Este y paso de Juan Grin. También se traslada un volumen importante de agua a todo lo largo de los Médanos de la Vela y el Banco de Levisa (figura 5.25 a). La complejidad de la geomorfología del fondo del Golfo de Guacanayabo obstaculiza más la circulación. Aquí, las aguas penetran por el Banco de Levisa y por el sur del Gran Banco de Buena Esperanza, distribuyéndose por todo el interior del Golfo (figura 5.25 a). La velocidad de las corrientes marinas en ambos golfos son en general débiles, con valores medios que no sobrepasan los 12 cm/s, aunque en los canales de entrada pueden alcanzar un valor tres veces mayor, como la que fue medida en el canal de Cayo Bretón (42 cm/s) (Hernández M. *et al.*, 2006).

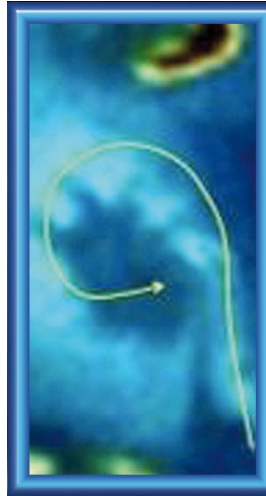
a



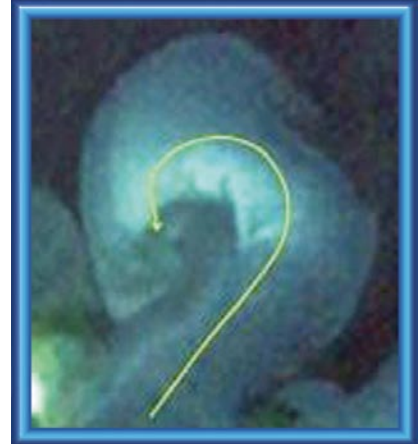
b



c



d



e

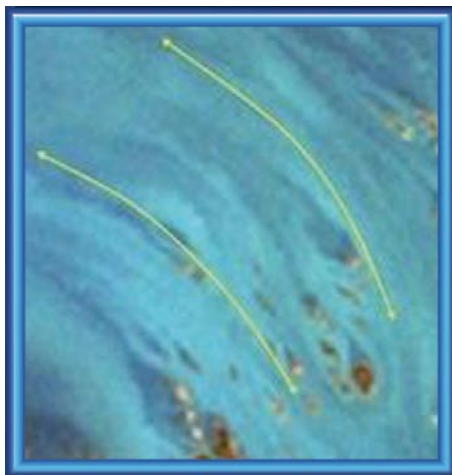


Figura 5.25. a: Espaciocarta de la plataforma suroriental (golfos de Ana María y Guacanayabo). Aspectos generales de la circulación de las aguas. b, c y d: Presencia de algunos giros provocados por la circulación de la marea entre cayos y cabezos. e: Circulación de las aguas entre cayos y cabezos

En condiciones de baja intensidad del viento, la marea juega un papel importante en la circulación de las aguas de la plataforma suroriental, debido a la compleja geomorfología del fondo marino, sobre todo en las zonas más resguardadas del viento. Las mediciones correntométricas *in situ*, también sugieren que en toda el área predominan corrientes de marea débiles con velocidades medias entre uno y nueve cm/s; con la excepción de la estación del canal de Bretón, donde se observaron las más elevadas (42,2 cm/s). Los rumbos más frecuentes de la corriente están dentro del I, III y IV cuadrantes. Según Morales (1996), citado por Hernández M. *et al.*, 2006, el agua se mueve como promedio de superficie a fondo y predomina la homogeneidad vertical del movimiento en la columna.

Los valores máximos de las corrientes marinas en los pasos de la periferia y en el interior de la plataforma durante el vaciante, es reforzado por la persistencia de vientos del primer y segundo cuadrantes. La velocidad de la corriente se mantiene entre los 9 y los 12 cm/s durante ambas fases de la marea, con máximos entre 18 y 25 cm/s para las zonas más profundas en la frontera con el Mar Caribe. En la periferia del Golfo de Guacanayabo se encuentran los valores de máxima intensidad, 26 cm/s, durante el vaciante y 13 cm/s durante el llenante, principalmente en el límite con el Golfo de Ana María. En esta zona el intercambio con el Mar Caribe no está limitado por un cordón bien definido de cayos.

En la espacio-carta (figura 5.26), aparecen con flechas de color amarillo la dirección general que toman las corrientes en el interior de ambos golfos. Las flechas blancas indican el sentido general de la corriente oceánica. Las ventanas ampliadas representan la incidencia de la geomorfología del fondo marino en la circulación de las aguas y la aparición de corrientes residuales o de deriva, zona donde predomina la acción del viento sobre la superficie marina.



Figura 5.26. Espaciocarta de la plataforma nororiental. Aspectos generales de la circulación de las aguas

Los ciclones tropicales son los eventos hidrometeorológicos más peligrosos para la plataforma suroriental, aunque no se han reportado con una frecuencia elevada, como en la plataforma suroccidental. Sin embargo, las zonas marinas y litorales de los golfos de Ana María y Guacanayabo han sufrido el impacto de huracanes de consecuencias catastróficas como el huracán de 1932, que destruyó el poblado de Santa Cruz del Sur y el Iván, en el 2005, por solo citar dos casos (Hernández M. *et al.*, 2006).

Durante el paso del huracán del 9 de noviembre de 1932 a través de la plataforma suroriental (Moreno y Salas, 1976, citado por Hernández M. *et al.*, 2006), este evento de gran intensidad se acercó a Cuba desde el Mar Caribe, penetrando en el archipiélago cubano con una trayectoria perpendicular a la costa suroriental. A partir del día 6 se trasladaba a una velocidad de 24 km/h disminuyendo a 6 km/h cuando se aproximaba a la costa, velocidad que favoreció la formación de la onda de tormenta. En la plataforma sur-oriental, en donde la intensidad y la dirección de la corriente están determinadas por la intensidad y la dirección del viento en condiciones extremas, se tomó en consideración la amplitud y fase de la marea durante el evento meteorológico en la modelación numérica. En este sentido se determinó que la intensidad de la corriente aumentó a medida que aumentaba la velocidad del viento desde los 49,7 cm/s hasta los 116,7 cm/s, durante el momento de mayor intensidad de los vientos en toda el área. La influencia de la configuración costera y la intensidad y dirección de los vientos del este, debido al giro ciclónico del huracán, provocaron con la aproximación de este organismo, que las corrientes marinas mantuvieran un patrón de dirección marcado hacia el oeste, con una intensidad superior a los 100 cm/s. Esto debió haber incidido también en fuertes y persistentes inundaciones costeras durante el paso del ciclón (Hernández M. *et al.*, 2006).

Plataforma nororiental: aquí el patrón de circulación está determinado principalmente por las corrientes de marea, y en menor grado por los vientos predominantes del primer cuadrante. Cerca de la costa de la Isla principal, estas corrientes son más débiles y la amplitud máxima de mareas no excede los 10-20 cm. Las corrientes de marea son más fuertes en los canales y pasas existentes entre los cayos que bordean las lagunas costeras. La influencia de las mareas imprime un carácter rotatorio a las corrientes en las aguas interiores (GEF/PNUD, 1996) y la amplitud media de la marea es de 40-60 cm y la máxima de más de 100 cm (Rodríguez y Rodríguez, 1983).

5.4.3. TEMPERATURA Y SALINIDAD DE LAS AGUAS

La temperatura del mar desempeña un papel importante en la determinación de las condiciones de supervivencia de los seres vivos, y es fundamental para el análisis y pronóstico del estado del tiempo y del mar; así como para la elaboración de escenarios del clima atmosférico y oceánico. En la accidentada geografía de las aguas de la plataforma insular se distribuyen diversos y frágiles ecosistemas tropicales, que dependen en gran medida de las variaciones de la temperatura de las aguas a corto, mediano y largo plazos.

La variabilidad de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) depende principalmente de la variabilidad de la temperatura del aire, del oleaje y de las corrientes marinas, porque estas variables favorecen la mezcla vertical. En las zonas someras, la TSM responde más rápido y más ampliamente a las variaciones de la temperatura del aire que en las aguas oceánicas adyacentes. En algunas regiones profundas, los procesos advectivos y convectivos producen el aumento o disminución de la TSM, como en las zonas de

surgencia y en donde la circulación describe lazos o giros, ciclónicos o anticiclónicos. En los primeros, la componente vertical de las corrientes marinas es positiva y dan lugar al ascenso de aguas de menor temperatura y más ricas en nutrientes, desde las capas más profundas del océano y en los segundos ocurre el proceso inverso.

Los sistemas frontales que afectan a Cuba suelen provocar un fuerte descenso de la temperatura del aire, principalmente en su región occidental. Las variaciones aperiódicas de la TSM en el intervalo de las frecuencias medias, responden a los eventos sinópticos. Se ha comprobado el descenso de la TSM de hasta 3 °C en el Golfo de Batabanó, con la entrada de los frentes fríos, como ocurrió en 1996 con un Frente Frío Fuerte (FFF). También se ha registrado su aumento antes de la entrada del frente, pero menos de 0,5 °C, lo cual podría estar asociado al aumento de la Temperatura del Aire (TA) debido a la ocurrencia precedente de vientos del sur (Hernández M. *et al.*, 2006). La respuesta de la TSM a los eventos sinópticos que favorecen el descenso de la TA se refleja en la mayor intensidad de las variaciones aperiódicas de la TSM de la plataforma que en las oceánicas, así como en una mayor correlación lineal entre las variaciones de la TSM en la plataforma que en las aguas oceánicas adyacentes (Hernández M. *et al.*, 2006).

El Ciclo Anual Medio (CAM) de la TSM posee una mayor amplitud en aguas someras de la plataforma insular cubana (7,0 °C) que en las aguas oceánicas adyacentes (3,2 °C). La variabilidad interanual refleja que, como promedio, se producen variaciones más intensas en las aguas someras de la plataforma insular que en las aguas oceánicas adyacentes, aunque estas últimas presentan una mayor TSM. La temperatura promedio anual resultó mayor en las aguas oceánicas adyacentes (27,64 °C) que en la plataforma (26,96 °C).

No existen estudios concluyentes acerca de los probables cambios de la salinidad del agua de mar a largo plazo a causa del cambio climático. Sin embargo, es probable que esta aumente en las zonas cercanas al litoral interior de las amplias zonas de la plataforma insular, como consecuencia de un déficit de los aportes de agua dulce. El aumento de la salinidad en los humedales podría tener un elevado impacto sobre la biota. En las zonas cercanas a las aguas oceánicas es previsible una mayor influencia del océano, ya que disminuirá el efecto de barrera de cayerías y bajos fondos, producto del ascenso del nivel medio del mar y sus efectos colaterales sobre la geomorfología.

5.5. CALIDAD Y ACIDIFICACIÓN DE LAS AGUAS Y LOS SEDIMENTOS

(Basado en Estudio de Caso Golfo de Batabanó)

Los océanos son capaces de absorber casi la mitad del dióxido de carbono existente en la atmósfera, aunque su concentración en agua de mar no alcanza el valor de saturación. En los últimos doscientos años se han emitido hacia la atmósfera aproximadamente 400 petagramos de carbono en forma de CO₂ (1 Pg C= mil millones de toneladas de carbono= 1 Gt C), a través de procesos como la deforestación, quema de combustibles fósiles, fabricación de cemento y cambios en el uso de suelo. Aproximadamente 30% de este carbono ha sido absorbido por el mar (Sabine *et al.*, 2004). El calentamiento futuro reducirá la capacidad del sistema de la Tierra de absorber CO₂ antropogénico. Como resultado, una extensa y creciente fracción de CO₂ antropogénico permanecerá en la atmósfera bajo un clima más cálido (IPCC, 2007a).

El papel del plancton marino en el intercambio de CO_2 entre la atmósfera y el océano es de gran importancia; de acuerdo al balance entre los procesos de fotosíntesis y respiración, los organismos planctónicos contribuirán a determinar que algunas áreas del océano se comporten como fuente y otras como sumidero de CO_2 (Di Fioriet *et al.*, 2007). Debido a que el CO_2 no es limitante para la fotosíntesis en el mar, su aumento no tiene un impacto significativo en los procesos biológicos marinos, tales como la producción primaria (Álvarez-Borrego, 2007).

Los estudios sistemáticos de los compuestos del ciclo del CO_2 en la zona marino-costera cubana se iniciaron a partir del año 2005, fundamentalmente en las zonas del Golfo de Batabanó (la zona de mayor importancia pesquera del país), plataforma marina noroccidental (Golfo de Guanahacabibes y Archipiélago Los Colorados) y algunos sectores costeros de La Habana (Montalvo, *et al.*, 2009 a y b).

5.5.1. ACIDIFICACIÓN DEL GOLFO

Friis *et al.*, (2003), indicaron que la alcalinidad en las zonas costeras que reciben considerables aportes de agua dulce es inferior a la del mar abierto o zonas alejadas de la costa. En este sentido, las estimaciones de la alcalinidad total entre julio de 1967 y mayo de 2003, en la capa superficial del Golfo de Batabanó, mostraron una acentuada variación espacio-temporal, observándose un incremento general de la alcalinidad entre julio de 1967 y abril de 1969, principalmente en los meses del período poco lluvioso. Por el contrario, en la Ensenada de la Broa, entre 1998 y el 2006, tendió a decrecer la alcalinidad, proceso atribuible a las descargas de aguas subterráneas (se registraron bajas salinidades: <30). En la etapa de lluvias las zonas próximas a las desembocaduras de los ríos Hatiguanico, Los Palacios y La Coloma fueron las de menor alcalinidad, evidenciando que la alcalinidad de las aguas cercanas a la línea de costa del golfo decreció al aumentar los aportes de agua dulce, como consecuencia de los aportes de Ca^{2+} y HCO_3^{1-} y una posible precipitación de los carbonatos.

5.5.2. PRESIÓN PARCIAL DE CO_2 Y FLUJOS DEL GAS

Se reconoce que el océano es el principal sumidero de los crecientes niveles de dióxido de carbono antropogénico (Oliveira *et al.*, 2006). El flujo de CO_2 desde la atmósfera está en función del gradiente de presión parcial del CO_2 aire-agua ($\Delta p\text{CO}_2$) y de la velocidad de transferencia del gas (De la Paz *et al.*, 2007). La diferencia entre la presión parcial de dióxido de carbono del agua y la atmósfera ($\Delta p\text{CO}_2$), entre 1999 y el 2005 (en 2005 se comportó como emisor), indica que en las aguas de la plataforma suroccidental (Golfo de Batabanó), predominaron los flujos desde la atmósfera hacia la capa superficial de agua. Por tanto el Golfo se comportó de forma generalizada como sumidero del gas, aunque los datos disponibles no permiten hacer estimaciones de la estacionalidad. El CO_2 es el gas responsable de los niveles de saturación en agua de la calcita y aragonito, de forma inversamente proporcional. A elevados niveles de CO_2 , los procesos de redisolución de los carbonatos (calcita y aragonito) se incrementan, afectando el desarrollo de organismos marinos que poseen en su estructura carbonato de calcio. Existen al menos cuatro condiciones que favorecen la disminución de CO_2 en agua y precipite el carbonato de calcio: a) aumento de temperatura, b) agitación del agua c) aumento de salinidad y d) producción de materia orgánica. La tendencia general de sumidero del Golfo de Batabanó es perjudicial para los organismos marinos, aunque no se observa aun procesos de acidificación.

5.5.3. TENDENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA.

El oxígeno disuelto es un indicador de la salud de un ecosistema marino (Breitburg, 2002). El estudio del contenido de oxígeno en el Golfo (1967-2003), arrojó que en el ecosistema predominaron los valores superiores a 5,0 mg/L (>100% de saturación), típicos de aguas con una buena tasa de liberación de oxígeno por los productores primarios. Los valores inferiores al 100% de saturación fueron poco comunes y se asociaron a un elevado consumo de gas en la oxidación microbiológica de la materia orgánica. Se observó una tendencia al aumento de las concentraciones de oxígeno, encontrándose los mayores contenidos y saturaciones en el período poco lluvioso. Las saturaciones típicas de ambientes eutroficados no fueron abundantes, representando el 3% de las mediciones (Martínez-Canals *et al.*, 2004).

Existen evidencias de la presencia de contaminación orgánica de origen antrópico en zonas alejadas de la costa. Miravet *et al.*, (2000) y Montalvo *et al.*, (2000), concluyeron que la porción noreste del Golfo de Batabanó y en sus arrecifes coralinos, las concentraciones de materia orgánica estaban relacionadas con una alta producción primaria y la depositada por las actividades antropogénicas. Las concentraciones de amonio ponen de manifiesto la influencia antropogénica proveniente de la alta densidad de fuentes contaminantes, existiendo agua marina de dudosa y mala calidad, según la NC-25 (1999), en la Ensenada de la Broa, las desembocaduras de los ríos La Coloma y Las Casas, y cerca de la línea de costa, indicando tendencia al incremento entre 1998 y 2003.

5.5.4. TENDENCIA DE LA CALIDAD DE LOS SEDIMENTOS

Los sedimentos del Golfo se caracterizaron por tener una abundancia relativa de carbón orgánico. El nivel de afectación por parte del carbono y nitrógeno orgánico en el Golfo de Batabanó, puso de manifiesto que los sedimentos no presentan una buena calidad química, ya que las concentraciones promedios fueron de alrededor del 4% para el carbono y del 0,3% para el nitrógeno orgánico. La NC-25 (1999) considera que contenidos de carbón orgánico entre 4-5% y nitrógeno orgánico 0,2-0,3% corresponden a sedimentos de calidad dudosa. En áreas cercanas a la costa, la influencia sobre los sedimentos del escurrimiento fluvial y de los vertimientos de residuales, ha provocado que los contenidos de carbón y nitrógeno orgánico sean superiores a los establecidos por la norma cubana de calidad para uso pesquero (NC-25, 1999). El deterioro de los sedimentos marinos coinciden con áreas de ubicación de complejos industriales, áreas de cultivo y núcleos poblacionales (Perigó *et al.*, 2000 y Martínez-Canals *et al.*, 2004).

5.5.6. PATRONES DE SEDIMENTACIÓN

La distribución espacio-temporal de los sedimentos depende de las características de la dinámica de las aguas. Si ésta sufre cambios, como consecuencia del ascenso del n.m.m. relativo, los patrones de la sedimentación también cambiarán.

En la plataforma suroriental, los pequeños giros producidos por la circulación del agua entre los cayos y cabezos (figura 5.25 b, c y d) pueden distinguirse por la cantidad de sedimentos en suspensión que contiene el agua. El reflejo de los sedimentos en la imagen, depende de la distribución espacial y del contenido de los mismos. En la ventana ampliada (figura 5.25, e) se observan vetas alargadas, paralelas entre sí y

contrastadas de color azul-claro y azul oscuro. Estas aparecen como consecuencia del transporte de sedimento de fondo, que es suspendido por la circulación del agua. En ocasiones estas vetas comienzan a continuación de puntos gruesos de colores rojo y carmelita, de diferentes tonos, y bien contrastados con respecto a las vetas. Estos puntos gruesos son pequeños cayos de mangle y cabezos que emergen y se interponen al paso de la corriente, produciendo un estancamiento del agua en el lado opuesto al frente donde actúa la corriente; cambiando la respuesta espectral del agua en la imagen (Hernández M. *et al.*, 2006). Se visualizan en algunos sitios (canales y ensenadas) la huella de la corriente sobre el fondo y en otros solo la influencia del viento sobre la superficie marina. En esta zona es frecuente la turbulencia que se forma como resultado de la combinación de la influencia del viento sobre el agua, y la gran cantidad de bajos fondos y pequeños cayos que en ella abundan. En estas condiciones se produce el transporte de sedimentos, observándose en las imágenes gran cantidad de pequeños giros que hace la corriente en su paso entre estos obstáculos (figura 5.25 b, c y d). En las actuales condiciones se está produciendo un efecto transformador del paisaje geomorfológico, que se acentuará con el ascenso del n.m.m. relativo y el consecuente cambio de los patrones dinámicos de las corrientes y del oleaje.

Los efectos de lo anteriormente expuesto trascienden hacia la biota. Por ejemplo, los golfos de Ana María y Guacanayabo se caracterizan por la poca transparencia de sus aguas, característica señalada por Ionin *et al.*, (1977). Cuando la transparencia de las aguas es limitada a unos pocos centímetros o metros de profundidad, entonces la luz incidente del Sol no logra atravesar totalmente la columna de agua y no llega a ser reflejada por el fondo marino; una parte de la luz es absorbida por las partículas en suspensión y la otra es reflejada hacia la atmósfera y registrada por el sensor satelital. Si la transparencia fuera alta, el fondo marino sería capaz de reflejar la luz incidente y se obtendría buena respuesta espectral en el sensor (Hernández M. *et al.*, 2006). Como consecuencia, los organismos marinos podrían recibir una menor cantidad de luz, indispensable para el desarrollo de muchos de ellos.

Si bien la plataforma suroriental no se encuentra sometida a un régimen de eventos sinópticos tan intenso como la plataforma suroccidental, si presenta condiciones muy favorables para un elevado impacto del cambio climático debido al aumento del n.m.m. relativo. Este proceso favorecerá el desarrollo de las corrientes marinas, las cuales ejercerán mayor influencia sobre la geomorfología de las zonas sumergidas, un mayor efecto erosivo, un transporte de sedimentos más dinámico, con un aumento de la turbidez de las aguas. La disminución de la cantidad de luz sobre el fondo marino y el transporte de sedimentos por las corrientes puede afectar los arrecifes del archipiélago de Jardines de la Reina, con independencia de las tensiones que puedan sufrir estos ecosistemas por efectos de otros eventos y procesos también relacionados con el cambio climático. El paisaje de las cayerías de la plataforma suroriental podría sufrir cambios importantes a lo largo del presente siglo, con modificaciones y pérdidas de terreno emergido (Hernández M. y Marzo, 2011).

Con mejores condiciones de propagación del oleaje se intensificarán los procesos erosivos, acumulativos y de transporte de sedimentos; de acuerdo a las condiciones de cada localidad y sector de la línea de costa. Es previsible un aumento de la exportación de sedimentos hacia las aguas de la plataforma insular, incluso hasta sus límites exteriores, más allá incluso de los límites locales dentro de los cuales los mismos participan en sus movimientos estacionales (UNESCO, 1990; Juanes, 1996). Asumiendo que no ocurra un aumento de la intensidad de los eventos sinópticos que daría lugar a una mayor de

la intensidad del oleaje, con solo un incremento paulatino del nivel medio del mar, se intensificará el escape de sedimentos mar afuera y, al mismo tiempo, un incremento de la profundidad demandará mayor energía para hacer retornar los sedimentos hacia el litoral.

La inundación de las zonas bajas y la erosión, al provocar el retroceso de la línea costera, ocasionarán un distanciamiento entre ésta y los bancos de arena, barreras de arrecifes y cadenas de cayos; lo cual, unido al paulatino aumento de la profundidad, modificarán los patrones de la dinámica en las aguas someras cercanas al litoral. Esto posee particular importancia para la zona costera cubana, en la cual la plataforma está constituida por lagunas y mares interiores, delimitados por cadenas de cayos y arrecifes en su lado oceánico.

5.5.7. INFLUENCIA DEL OCÉANO EN LA PLATAFORMA INSULAR

El aumento de la profundidad de la plataforma provocará también un aumento de la influencia de las corrientes y de la marea sobre la temperatura, la salinidad y los parámetros químicos de las aguas; y una disminución de la amplitud de los máximos y mínimos de estos parámetros, sobre todo en las zonas de la plataforma más próximas al océano.

Los últimos resultados de la modelación de la circulación marina muestran zonas de corrientes más intensas al sur de los Canarreos, de La Península de Guanahacabibes y al norte de La Península de Hicacos y de los Colorados; así como giros y lazos en las aguas oceánicas adyacentes, que si bien en muchos casos son estables geográficamente, si cambian en amplitud y extensión (figura 5.27).

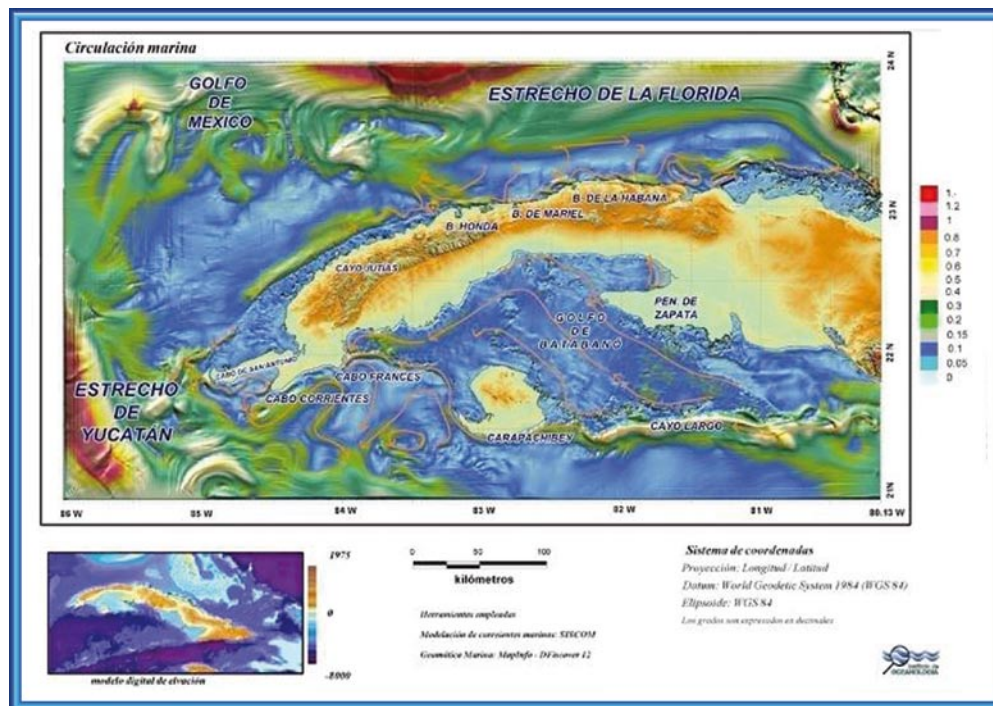


Figura 5.27. Corrientes marinas en las aguas oceánicas adyacentes al Golfo de Batabanó calculadas mediante el SISCOM

La persistencia de corrientes más intensas en las aguas oceánicas próximas a las cayerías exteriores de las zonas de plataforma, debe de fortalecerse a largo plazo con el ascenso del n.m.m. relativo y ser un factor de intensificación de los procesos erosivos y de transporte de sedimentos. Debido a lo anteriormente expuesto, es muy probable que para finales de siglo, las zonas inundadas permanentemente, estimadas con un enfoque lineal, sea sobrepasada (figura 5.19, altura del MDT vs. Altura esperada del n.m.m.); debido a la influencia combinada de factores tales como la marea, el oleaje, las anomalías y las variaciones aperiódicas del nivel del mar y las corrientes marinas.

5.6. VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

5.6.1. PLAYAS

Las playas de arena terrígenas se encuentran distribuidas localmente y con frecuencia se limitan a la desembocadura de los ríos, observándose su ausencia casi total en las áreas abrasivas. Los restos biogénicos juegan el principal papel entre los componentes de los sedimentos de la plataforma, excepto para la parte suroriental del Golfo de Batabanó, donde predomina la oolita. Se evidencia que de modo general las playas cubanas son de origen biogénico y olítico-biogénico Juanes (1996).

Las playas interiores se localizan frente a extensas áreas de bajos fondos, protegidos del oleaje por el cordón de cayos que delimitan la plataforma insular cubana. En estas playas es generalizada la erosión. En el caso de Cuba la erosión de las playas está provocada en menor medida por el uso inadecuado de la zona costera y en mayor medida por causas naturales, dentro de las cuales se identifican claramente el ascenso del nivel medio del mar, en combinación con eventos erosivos extremos y el déficit en los aportes de las fuentes productoras de arenas; posiblemente provocado por el desequilibrio en los ciclos reproductivos de los organismos bentónicos, como consecuencia muy probable del aumento de la temperatura del océano. Entre las causas antrópicas que aceleran la erosión se destacan: las construcciones sobre las dunas, la extracción de arena y las construcciones hidrotécnicas mal diseñadas, como espigones mal orientados (Hernández M. et al., 2000).

Juanes et al., (2010) señalaron que *"la erosión en las playas es un fenómeno generalizado en el Archipiélago Cubano y ocurre con un ritmo estimado de retroceso de la línea de costa de 1,2 m/año, aunque existen reportes superiores a 2,5 m/año en varios puntos del país. Esta intensidad es similar a la reportada para la región del Caribe"*. La tabla 5.5 sintetiza los resultados de la evaluación del comportamiento del proceso de erosión en 41 playas. Las playas con indicios de erosión en el 2010 alcanzaron el 90% de 41 playas evaluadas; resultado similar a lo reportado con datos anteriores al 2003, que fue del 89%. Los casos más significativos de erosión se reportaron en las playas Majana, Guanamar, Cajío, Mayabeque, Caimito, La Pepilla, Tasajera, y Rosario, ubicadas al sur de La Habana; las cuales, además de sufrir una intensa actividad antrópica, quedaron totalmente desprovistas de arena y transformadas, producto del efecto erosivo de los oleajes generados por los huracanes Ike y Gustav en el 2008.

Los sectores costeros mencionados no tienen las características morfológicas y sedimentológicas de una playa, aunque siguen siendo utilizadas como áreas de baño y reconocidas como playas por la población local (figuras 5.28 a-c). Por el significado

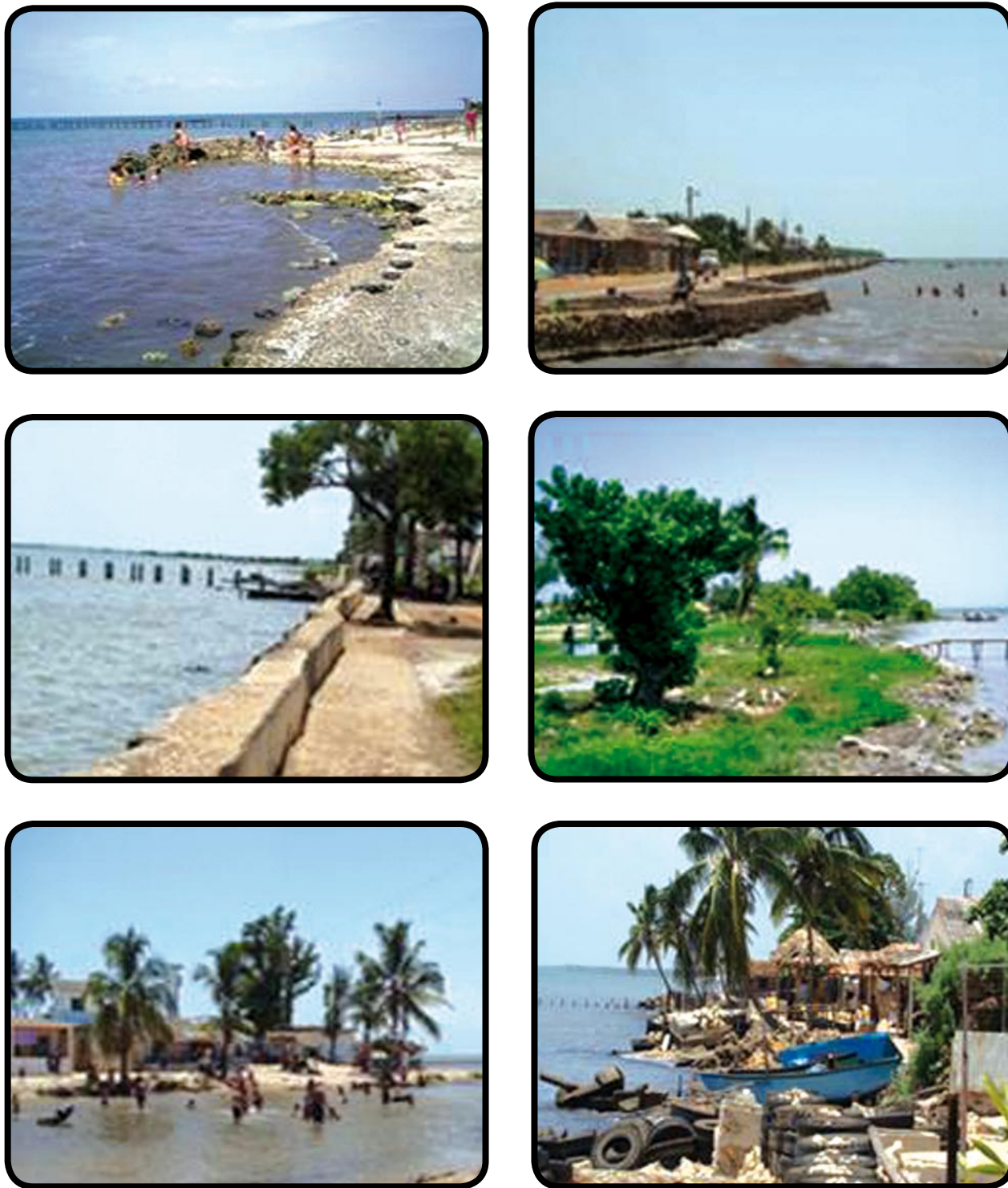


Figura 5.28. Ejemplos de sectores costeros del sur de las provincias Artemisa y Mayabeque:
 (a) Playa Guanimar. Sector costero muy antropizado y severamente dañados por el impacto de los huracanes Ike y Gustav en el 2008; (b) Playa Cajío. Sector costero muy antropizado y severamente dañados por el impacto de los huracanes Ike y Gustav en el 2008 y (c) Zona de baño en la desembocadura del río Mayabeque y sector Oeste de la Playa Mayabeque muy antropizado y severamente dañados por el impacto de los huracanes Ike y Gustav en el 2008

Tabla 5.5. Síntesis de los resultados de la evaluación del proceso de erosión

EVALUACIÓN	COSTA NORTE	COSTA SUR	TOTAL	%
Sin indicios	3	1	4	10,0
Moderada	20	6	26	62,0
Intensa	4	7	11	28,0
Total	27	14	41	100,0

social de estos sitios y la huella histórica que representan como lugares donde existieron sectores costeros arenosos, se ha decidido mantenerlos dentro del inventario de las playas de Cuba; aun cuando no puedan ser utilizados para evaluar la respuesta del perfil de playa a los efectos de la elevación del nivel del mar.

La evolución de la playa de Surgidero de Batabanó está condicionada a la presencia del espigón de abrigo del muelle del puerto del surgidero (figura 5.29). El transporte litoral queda retenido en el lado este del espigón, provocando una significativa acumulación de arena, que trajo como consecuencia la prolongación de la tierra hacia el mar en más de 100 m. El material depositado es fundamentalmente arena biogénica, con una importante carga de materia orgánica aportada por el mangle y la manigua costera, que fueron cubriendo rápidamente el área ganada al mar.



Figura 5.29. Playa de Surgidero, mantenida por la acumulación al lado este del espigón del puerto (imagen satélite del Google de agosto del 2009)

La formación de una nueva costa esencialmente arenosa y libre de obstáculos estuvo acompañada del modelado de un perfil natural de playa, caracterizado por una pendiente submarina muy suave y extensa y una ante-playa, berma y duna bien definidas, aunque no de grandes dimensiones (figura 5.30).

Las surgencias asociadas a los huracanes Ike y Gustav provocaron en la playa del Surgidero de Batabanó un importante traspaso de arena hacia el mangle y, en consecuencia, el desplazamiento del perfil de playa hacia tierra. En las figuras 5.31 puede apreciarse como la pendiente hacia tierra de la duna constituye un depósito de arena sobrepuesto al suelo del mangle que ocupaba esa posición antes de los huracanes.

Este modelo de transformación del perfil de playa en respuesta a una sobre elevación del nivel del mar, está en correspondencia con la respuesta esperada para este tipo de costa baja a los efectos de la elevación del nivel del mar asociada al cambio (Juanes *et al.*, 2010). El evento constituye una *adaptación autónoma*.



Figura 5.30. Playa Surgidero de Batabanó. Perfil completo



Figura 5.31. Playa Surgidero de Batabanó. Depósito de arena de la pendiente interior de la duna sobrepuesto al suelo del mangle que ocupaba esa posición antes de los huracanes

Recuadro 2. Vulnerabilidades e impactos

Es de esperar un aumento del impacto de la marea, el oleaje y las corrientes marinas en la zona costera cubana a causa del cambio climático, específicamente como consecuencia del aumento del n.m.m. relativo durante el presente siglo. A esto debe añadirse la ocurrencia de las anomalías mensuales del nivel del mar en determinadas zonas, las cuales favorecen temporalmente el ascenso del plano de acción de los eventos antes mencionados.

Se intensificará la velocidad de las corrientes marinas de la plataforma insular. Es muy probable que para finales de siglo, las zonas inundadas permanentemente por la superposición de la altura esperada del n.m.m. relativo y la altura del MDT, sobrepasen el área inundada, principalmente en los sectores costeros de plataformas amplias, debido a la concurrencia de factores como el oleaje, la marea, las variaciones aperiódicas del nivel del mar, las anomalías mensuales y las corrientes marinas, eventos y procesos favorecidos en su dinámica por el aumento de la profundidad y el plano de referencia de las variaciones del nivel del mar.

Las condiciones climáticas esperadas para finales del siglo XXI darán lugar a una disminución gradual del escurrimiento fluvial hacia las aguas de la plataforma con el consecuente aumento de la salinidad de las aguas. Esto puede intensificar las cuñas salinas en los estuarios y el proceso de intrusión salina en los suelos sobre todo en la estación seca del año. Los cambios del patrón de las precipitaciones y del escurrimiento, así como un mayor uso del recurso agua pueden traer como consecuencia cambios en los efectos de las anomalías pícnicas que generan movimientos de las aguas someras.

Con el ascenso gradual de la temperatura media del aire, es de prever un aumento de los valores medios y los extremos de la TSM. En las aguas someras de forma más proporcional y uniforme que en las aguas oceánicas limítrofes con la plataforma. En esta última, los procesos de mezcla en la someridad de sus aguas, favorecerá un aumento de uniformidad de la distribución vertical de la temperatura de las aguas.

El ascenso del n.m.m., de acuerdo a las proyecciones actuales o incluso las más pesimistas, no privarán a las zonas de plataforma cubanas de su condición de aguas someras, aunque propiciarán una mayor penetración e intercambio con las aguas oceánicas adyacentes más cálidas, a largo plazo. Aumentarán así mismo, las áreas de los humedales a costa de las planicies costeras bajas, que gradualmente se inundarán de forma permanente, con la consecuente extensión tierra adentro del proceso de flujo y reflujo de las aguas debido a la marea. La mayor extensión de aguas más cálidas deberá influir sobre los ecosistemas, sobre todo, sobre los organismos marinos más sensibles a la temperatura. En esas posibles condiciones futuras es previsible un aumento de la temperaturas media de las aguas y de sus extremos hacia el interior de las amplias zonas de la plataforma insular y en los humedales costeros y un aumento más moderado de la temperatura media en las áreas limítrofes con el océano.

El deterioro de la calidad de las aguas y de los sedimentos puede añadir tensiones adicionales a los ecosistemas reduciendo la resistencia y la resiliencia de los mismos ante los cambios graduales y de largo plazo, así como a los cambios súbitos de los eventos extremos.

Con el aumento del n.m.m. relativo aumentará el intercambio entre el océano adyacente y la plataforma insular a través de los numerosos pasos y canales existentes entre los cayos y pequeños islotes. De esta forma aumentará la influencia oceánica en las zonas exteriores de las cuatro zonas de la plataforma insular más cercanas a las aguas oceánicas. El predominio del transporte hacia el oeste favorecerá la penetración de las aguas de la profunda Fosa de Jagua hacia el Golfo de Batabanó.

Por otra parte, en el caso de Playa Larga, ubicada en el interior de la Bahía de Cárdenas, y las playas de Jáquete y Nazabal (figura 5.32), todas consideradas playas interiores de la costa norte, pudo comprobarse una situación similar a la descrita para las playas del norte del Golfo de Batabanó, donde la ocupación antrópica y los daños ocasionados por eventos erosivos extremos han provocado que estos lugares queden desestimados en las investigaciones de la respuesta del perfil de playa a la elevación del nivel del mar.



Figura 5.32. De izquierda a derecha: Playa Larga (Cárdenas), Nazabal y Jáquete. Sector costero muy antropizado y severamente dañados por el impacto de eventos erosivos extremos

Al norte de la provincia de Villa Clara, en la playa del Salto y Ganuza, donde funciona una popular base de campismo, se aprecia la destrucción del vial construido muy próximo al mar (figura 5.33 a), lo que se suma a las evidencias del proceso erosivo generalizado en las playas interiores. Una situación totalmente distinta puede apreciarse en la figura 5.33 b, correspondiente al sector este del Salto, donde en 1989 se ejecutó un proyecto de playa artificial; en el proyecto se concibió la sustitución del vial y numerosas viviendas de veraneo muy maltrechas, por una playa de perfil completo que provocó un rápido mejoramiento de las condiciones ambientales y estéticas; y se convirtió en la principal opción recreativa del campismo. A lo largo de aproximadamente 2 km se procedió a la preparación del terreno y al vertido de unos 60 000 m³ de arena, tarea que concluyó en 1992. Una visita al Salto en enero del 2010 permitió comprobar el excelente estado de conservación de la playa, y la efectividad con que ha funcionado la playa artificial como defensa costera frente a los eventos erosivos extremos. Atendiendo al desarrollo natural que sigue la playa del

Salto, está incluida en un plan de monitoreo a largo plazo, para estudiar la respuesta del perfil de playa a la elevación del nivel del mar. Este es un ejemplo de adaptación estratégica.



Figura 5.33 a : Sector oeste del Salto. Muy antropizado y severamente dañado por eventos erosivos extremos.



Figura 5.33 b. Sector este del Salto donde se ejecutó el proyecto de playa artificial en 1989

Las playas exteriores de los cayos Blanquizal, Fragoso, Esquivel, Cruz y Blanco, así como la playa de Corella en Las Tunas (figura 5.34), se caracterizan por la conservación de sus condiciones naturales debido al bajo nivel de actividad antrópica y sin embargo, ya contaban con reportes de indicios de erosión con anterioridad a 1996. El carácter generalizado del proceso de erosión en todas las playas visitadas resulta evidente a partir de tres indicadores principales: la aparición de numerosos árboles caídos y dañados dentro del mar, la formación de marcados escarpes de erosión activa en la cara exterior de la duna y la invasión de arena a las lagunas costeras.



Figura 5.34 a. Cayo Blanquizal. Aparición de numerosos árboles caídos y dañados dentro del mar



Figura 5.34 b. Playa erosionada sin actividad antrópica



Figura 5.34 c. Cayo Fragoso, invasión de arena a las lagunas costeras



Figura 5.34 d. Playa erosionada sin actividad antrópica.



Figura 5.34 e. Cayo Hicacal, extremo oeste de cayo Esquivel. Formación de marcados escarpes de erosión activa en la cara exterior de la duna



Figura 5.34 f. Playa erosionada sin actividad antrópica

La mayoría de las playas estudiadas forman parte de islas barras seguidas hacia tierra de lagunas costeras y extensas formaciones de manglar (figura 5.35).



Figura 5.35. Cayo Paredón Grande, sistema playa-duna-laguna característico de las islas barras

Según la Regla de Bruun, el retroceso de la costa bajo la influencia de la elevación del nivel del mar, se produce conservando un perfil de equilibrio y el volumen de sedimento permanece constante en una sección del perfil; asumiendo una profundidad en la que el movimiento de arena deja de ser efectivo. Sin embargo, a este modelo se hacen cuestionamientos debido a sus limitaciones para explicar el proceso de transformación del perfil de playa en el caso de las islas barras, en las cuales se aprecia como fenómeno generalizado, el sobrepaso de las dunas por las olas de tormenta y la invasión de arena hacia las lagunas. En esos casos, la surgencia provocada por eventos erosivos extremos se está produciendo con una altura tal, que las olas alcanzan las crestas de las dunas e impulsan la arena hacia las lagunas, en lugar de arrastrarlas hacia la pendiente submarina como asume el modelo de Bruun.

5.6.2. ARRECIFES

Las crestas arrecifales son la parte menos profunda de algunos arrecifes coralinos. Éstas se extienden como barras que denotan su presencia con el romper de las olas cuando la mar está movida (figura 36 a), y son el resultado del crecimiento acumulado de corales duros durante miles de años. Los pescadores la llaman restingas. Cuba está rodeada de crestas de arrecifes en gran parte del borde de su plataforma marina (Alcolado *et al.*, 2011).

Las crestas son muy importantes desde el punto de vista económico, social y conservacionista, por ser una barrera natural protectora de las costas y sus recursos naturales (playas y vegetación costera, incluyendo pastos marinos, manglares, manigua costera, etc.) y las inversiones (asentamientos humanos, carreteras, infraestructura turística e industrial, cultivos, etc.), contra el efecto destructivo y erosivo tanto del oleaje habitual como del producido por eventos meteorológicos extremos como: ciclones, frentes fríos y sures. Además, sirven de refugio y lugar de residencia a especies de importancia ecológica e importantes recursos pesqueros y son también un recurso de gran valor turístico por su atractivo para el turismo de buceo contemplativo (Alcolado *et al.*, 2011).

En Cuba como en todo el Gran Caribe, las crestas han estado sufriendo un acelerado deterioro. Del total de reportes de estado de las cresas desde 2001 hasta el presente, según una escala de 5 puntos, 8% de las cresas están sanas o casi sanas; 23%, deterioradas, y 69% muy deterioradas (figura 36 b).

Los pronósticos preliminares se estima que las crestas de arrecifes de Cuba están disminuyendo el porcentaje de cubrimiento del fondo por corales, a razón de 1,6% anual como promedio. Según dos modelos de pronóstico (uno que supone que la tasa de disminución es independiente del cubrimiento inicial, y otro que asume una correlación lineal positiva entre la tasa de disminución del cubrimiento y el cubrimiento inicial) y suponiendo que la tendencia no cambie, se plantea que las crestas con el promedio nacional de cubrimiento (19%) desaparecerían como tales al cabo de un tiempo entre aproximadamente 10 y 30 años, según el modelo que se considere. Para una cresta con un cubrimiento coralino del fondo de 40% (que es un valor casi extremo y ya poco frecuente en Cuba), el pronóstico con ambos modelos sería una desaparición estructural al cabo de alrededor de 40 años (Alcolado *et al.*, 2009 a, citado por Alcolado *et al.*, 2011). Cuando hablamos de desaparición no necesariamente se trata de que los corales mueran todos, sino que las crestas queden prácticamente aplanadas al estar, en el mejor de los casos, habitadas por especies de corales que

son resistentes a diversos factores (*Millepora complanata*, *Siderastrea siderea* y *Porites astreoides*), pero que no alcanzan suficiente altura como para proporcionar un relieve tan efectivo para disipar con efectividad la energía del oleaje. De esa manera su efecto protector sobre la costa y sus recursos se ve drásticamente reducido.

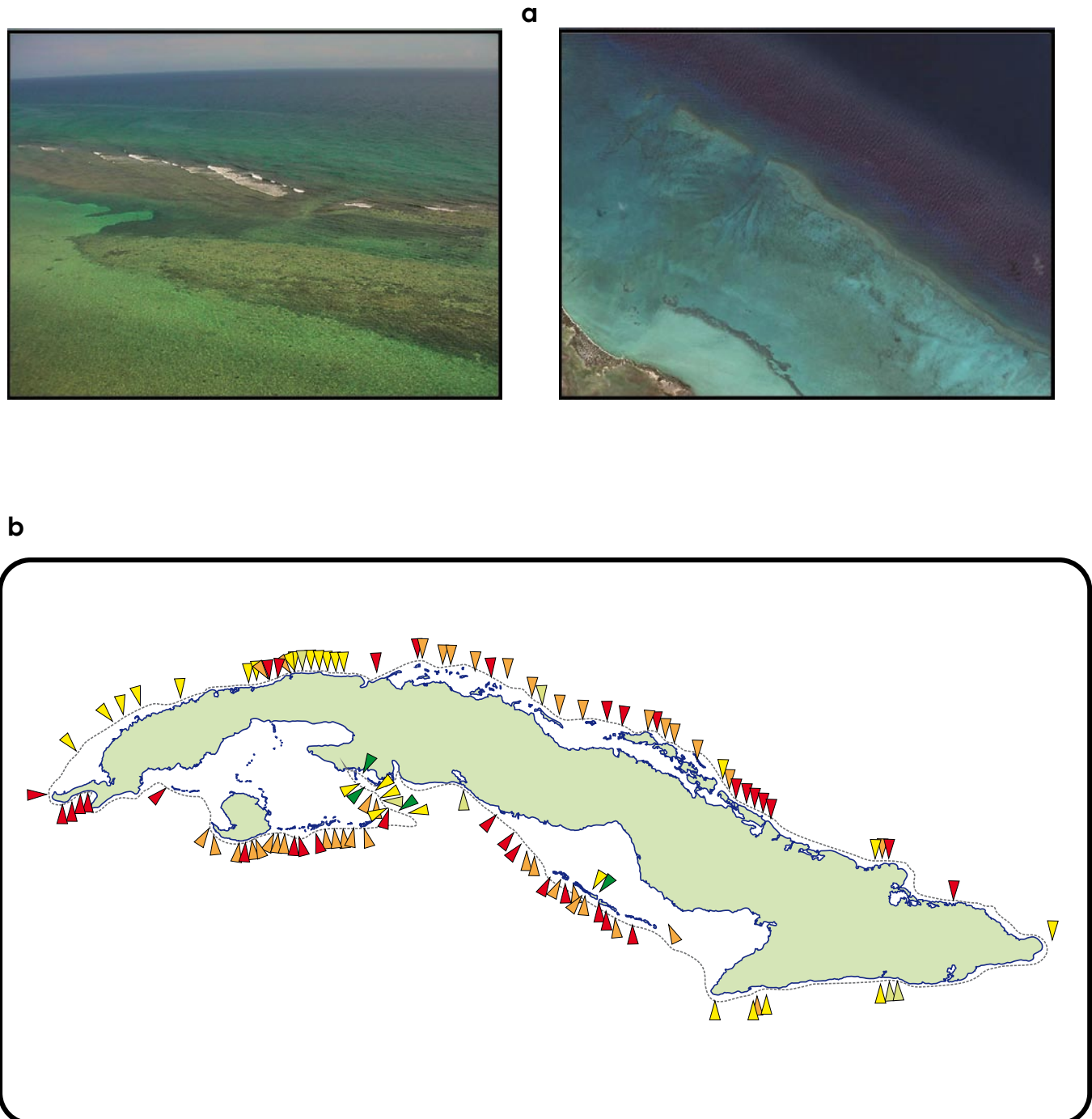


Figura 5.36. a. Cresta de arrecifes de Cayo Sabinal, norte de la provincia Camagüey. b. Grado de deterioro de las crestas de arrecifes de Cuba. Se muestran los criterios aproximados de clasificación. Las fuentes de información incluyen publicaciones, datos de archivo, consultas de especialistas y reportes a la Red de Monitoreo Voluntarios de Alerta Temprana de Arrecifes Coralinos de Cuba (tomado y adaptado de Alcolado *et al.*, 2011)

Tabla 5.6. Simbología y caracterización del deterioro de las crestas de los arrecifes

	En buen estado	3%	Sanas o casi sanas	8%	8%
	Poco deterioradas	5%			
	Deterioradas	23%	Deterioradas	23%	92%
	Muy deterioradas	40%	Muy deterioradas	69%	
	Extremadamente deterioradas	29%			

COLOR	NIVEL DE DETERIORO	CONDICIÓN VISUAL
	1. En buen estado	Cresta tupida de corales (cubrimiento coralino mayor que 45%), con gran predominio de acropóridos (corales orejones o de tarritos). Las ramas de los corales casi se tocan o entrelazan. Casi todos los corales están saludables
	2. Poco deterioradas	Cresta no tupida pero con corales abundantes (cubrimiento coralino de 41-45%). Siguen dominando los acropóridos. Las ramas no se tocan ni se entrelazan. Pueden quedar evidencias de daño como varios corales muertos en pie o cierta abundancia de fragmentos de corales de coral orejón
	3. Deterioradas	Cresta con corales vivos pero más bien dispersos (cubrimiento de 25-40%), y ya no necesariamente dominados por coral orejón ni de tarrito. Frecuentemente dominado por coral de fuego (<i>Millepora</i> spp.) u otros. Puede haber claras evidencias de daños como corales muertos en pie o fragmentos de corales en el fondo
	4. Muy deterioradas	Quedan pocos corales (cubrimiento de 11 a 24%). Pueden observarse orejones casi todos muertos aunque aun en pie. El fondo puede haber quedado con relieve muy bajo o casi aplanado como si ya no se tratara de una cresta. En este último caso se le denomina cresta aplanada
	5. Extremadamente deterioradas	Casi no quedan corales (cubrimiento de coral menor de 10%). Pueden observarse orejones casi todos muertos aunque aun en pie. El relieve el fondo es pobre

Debe tomarse en cuenta que, si bien las crestas de arrecifes son estructuralmente muy fuertes pueden ser afectadas por los eventos extremos y el Cambio Climático. Entre los primeros se encuentra el impacto de los ciclones tropicales.

Durante el impacto de un período de inusitada frecuencia de huracanes, específicamente entre 2001 y 2006, en los arrecifes del sur y este del Golfo de Batabanó (en crestas y arrecifes frontales) se comprobó una tendencia a la reducción del cubrimiento de corales y del diámetro promedio de éstos y a un cambio del predominio de especies que más aportan a la construcción y al relieve del arrecife (*Acropora palmata* y complejo *Montastraea annularis*) por otras oportunistas más resistentes al

oleaje y a la sedimentación (*Siderastrea radians*, *Porites astreoides*, *Acropora prolifera* y *Millepora* spp.) (Alcolado *et al.*, 2009b).

A lo anteriormente expuesto se añaden las grandes avenidas de agua producidas durante fuertes lluvias, como fue el caso de Rincón de Guanabo en junio de 1982 (Martínez-Estalella y Herrera, 1989).

El calentamiento del agua a causa del Cambio Climático propicia la aparición de nocivos eventos masivo de la enfermedad de blanqueamiento de corales, así como la incidencia de otras enfermedades que son de origen microbiano. Estas enfermedades empezaron a manifestarse de manera más evidente desde principios de los años ochenta, si bien hay reportes aislados en los setenta. El aumento de la acidez del agua debido al incremento de CO₂ disuelto en la misma. Eso afecta la capacidad de los corales de formar su esqueleto calcáreo, y se está convirtiendo en otro factor, además de las temperaturas anormalmente altas, que también provoca blanqueamiento en los corales (Alcolado *et al.*, 2011).

El aumento del nivel del mar no produce daño directo sobre los corales de la cresta ya que ocurre de manera muy lenta y los corales en una cresta saludable son capaces de crecer verticalmente a la par que ocurre ese fenómeno. Sin embargo una cresta deteriorada perderá capacidad de proteger las costas en la medida que esta pierde continuamente su relieve a causa de la erosión (fenómeno denominado aplanamiento de las crestas (Alvarez-Filip *et al.*, 2009, citado por Alcolado *et al.*, 2011) y a la vez se incrementa el nivel del mar.

En cualquiera de los escenarios futuros desaparecerían los arrecifes de borde de plataforma para el año 2050, sin descartar que queden algunos remanentes en zonas con características muy particulares, que pudieran constituir fuentes de larvas para la recuperación de arrecifes degradados o desaparecidos cuando las condiciones ambientales o una posible adaptación biológica lo permitieran.

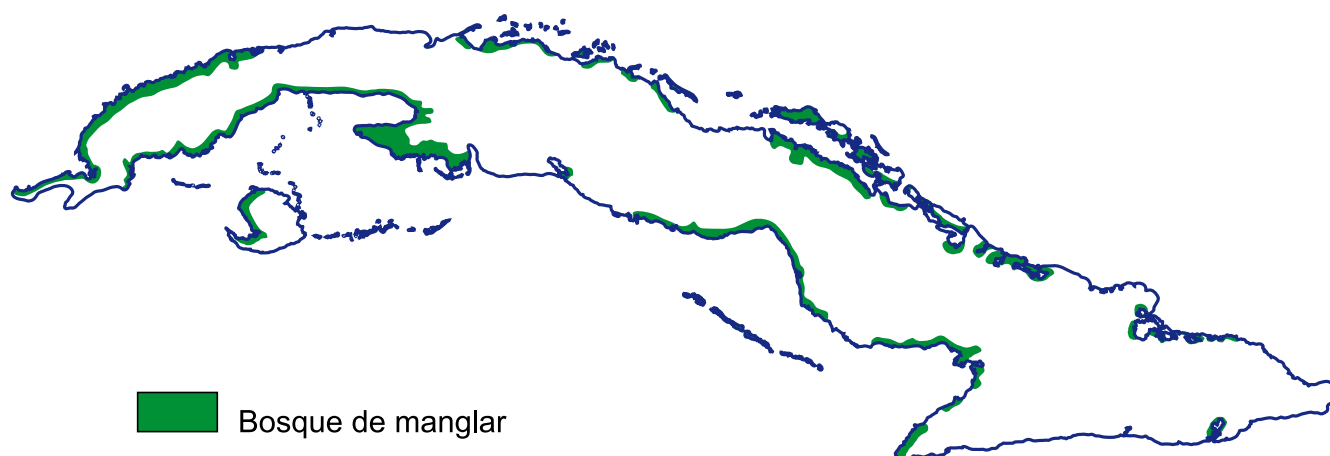
5.6.3. MANGLARES

Los manglares son los ecosistemas más productivos del planeta. Para mantener esta productividad ellos demandan nutrientes de fuentes externas como el escurrimiento, los ríos y la marea, y de la intensa actividad de reciclado de la actividad béntica y microbiana. Independientemente de los diferentes tipos de manglares, los asentamientos de estos, dominados por la descarga de ríos y el intercambio de la marea, son los más importantes para la sedimentación de materia orgánica en la zona costera. Ellos reciben una elevada entrada de material biogénico y abiogénico de la tierra y del océano, y se encuentran en permanente intercambio con las aguas costeras (Jennerjahn y Ittekkot, 2002).

El manglar desempeña un conjunto de funciones vitales para el buen funcionamiento de los ecosistemas de la región. Actúa como protector de la línea de costa y contribuye con la formación del suelo. Constituye un importante refugio para gran cantidad de especies de animales, muchos de los cuales se reproducen aquí. Es uno de los ecosistemas más productivos, aportando gran cantidad de nutrientes, que son aprovechados por especies de alto valor comercial, las cuales desarrollan parte de su ciclo vital en este hábitat. En Cuba hay cuatro especies de mangle: *Rhizophora mangle* (Mangle rojo), *Avicenia germinans* (Mangle prieto), *Laguncularia racemosa* (Patabán) y *Conocarpus erecta* (Yana) (Hernández - Zanuy *et al.*, 2007).

Cuando los manglares están en la línea de costa, se presentan por lo general con una distribución consecutiva tierra adentro, en el mismo orden que se han referido anteriormente. En la ribera de los ríos y canales se pueden presentar con otra disposición, en ocasiones formando bosques de una sola especie, a los que se les llama yanales o patabanales, según la especie de que se trate (Hernández-Zanuy *et al.*, 2007).

Las áreas de manglares, por su ubicación en las zonas costeras más bajas, coinciden aproximadamente con las áreas de inundación permanente por ascenso del n.m.m. relativo. En este sentido se encuentran expuestas directamente a uno de los procesos primarios y de las consecuencias más obvias del cambio climático.



Además de los manglares y en estrecha relación con ellos, se encuentran a veces otros hábitats de gran importancia natural y socio-económica que serán también afectados por el incremento del nivel medio del mar. Estos son: herbazal y complejo de vegetación de manantial de ciénaga, Marismas y lagunas costeras, mManglares del sistema fluvial de los ríos, estuarios y seibadales, crestas arrecifales y terrazas marinas y el bosque de ciénaga, que es la frontera de la ciénaga (Hernández M. *et al.*, 2003).

Las elevadas tasas de producción y acumulación de carbono en los manglares y en la exportación de los mismos, así como el incremento de la fertilidad de las aguas adyacentes, se deben a la intensa productividad biológica en los manglares y al permanente intercambio de materia y energía con las aguas costeras adyacentes. La reducción planetaria de los manglares en las últimas décadas tendrá graves consecuencias para estos procesos (Jennerjahn y Ittekkot, 2002).

Los manglares suelen asentarse en las áreas fango-arenosas que se encuentran fuera de la influencia del oleaje, acelerándose de esta forma el proceso de acumulación de limos y el avance de la línea de costa, con lo que en una serie de casos se protege a la costa del efecto erosivo de las olas, por lo que los manglares tienen un importante papel en la formación de costas acumulativas, así como en la protección de éstas contra la influencia del oleaje. En general, los mangles ejercen cierta influencia contrapuesta a la acción destructiva de las olas, estabilizando la superficie de los cayos interiores y de los bancos, reduciendo la influencia del oleaje, favoreciendo el avance de la línea de costa y la acumulación de los sedimentos orgánicos y minerales y como consecuencia de ello convierten los bancos sumergidos, de los sectores de ascenso tectónico de la plataforma, en cayos-barras (Guerra *et al.*, 2005).

Los movimientos neotectónicos han ejercido determinada influencia sobre el desarrollo de los mangles. No se excluye que la capa de depósitos organogénicos en la superficie de los bancos y de los cayos se haya formado, no solo en condiciones de elevación eustática del nivel medio del mar sino también de hundimiento tectónico de las estructuras geológicas en cuyos límites se encuentran. (Guerra *et al.*, 2005).

Los impactos sobre los manglares pueden incluir algunas pérdidas; pero la migración hacia tierra adentro, cambios en la dominancia e incremento de área a corto plazo, dependerán de las características del lugar. Si la duración de la inmersión diaria fuera modificada por eventos climatológicos, tectónicos, sedimentológicos o hidrológicos, las especies se ajustarían a las nuevas condiciones o sucumbirían definitivamente. La morfología de los manglares suele mostrar una relativa estabilidad variando poco en cientos de años, aunque variaciones en la hidrología o régimen de marea puede causar mortalidades notables. Los cambios del nivel medio del mar en el Holoceno muestran que las pequeñas islas serán particularmente vulnerables a la pérdida de los manglares, por lo que las cayerías que rodean a la isla de Cuba se encuentran seriamente amenazadas por el ascenso del nivel medio del mar o pueden sufrir grandes afectaciones geomorfológicas debido al mismo (Hernández M. *et al.*, 2003). Por ejemplo, en Douglas, Kearney y Leatherman (2001) se describe la desaparición de un islote en la costa Oeste de los Estados Unidos que todavía en los años 40 recibía turismo.

5.6.4. PASTOS MARINOS

Este acápite está basado principalmente en los resultados de años de investigación sobre los pastos marinos expuestos por Martínez-Daranas (2007).

Los pastos marinos son cada vez más reconocidos como un recurso natural de gran importancia por los servicios que prestan a otros ecosistemas marinos y al hombre. Constituyen el ecosistema costero de mayor valor entre los fondos blandos, por su contribución a la estabilidad y al desarrollo de los procesos biogeoquímicos de los sedimentos, así como en la morfogénesis y protección de la zona costera. Además, sostienen una alta diversidad biológica, porque proporcionan refugio, sustrato y alimento a numerosos organismos y constituyen la base de la trama trófica para muchas especies de importancia comercial o conservacionista, como tortugas y sirénidos.

Los pastos marinos han estado experimentando un declive a escala global desde hace varias décadas, con una tasa de alrededor del 1-2% año⁻¹ y parece acelerarse durante los últimos años, lo que los sitúa entre los ecosistemas más vulnerables del planeta. Esto ha sido atribuido a diversos factores físicos (erosión, enterramiento, disminución de la transparencia del agua) y químicos (aportes de sales nutrientes y de materia orgánica, como resultado del desarrollo antrópico, así como a efectos del cambio climático (incremento de la temperatura, del nivel del mar y de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos). Entre las causas naturales que pueden impactar severamente a los pastos marinos se encuentran eventos geológicos y meteorológicos. La abundancia de los pastos marinos también es afectada por interacciones biológicas inter e intraespecíficas, tales como: competencia por los recursos, ciclos naturales de desarrollo y envejecimiento de las plantas, el herbivorismo, enfermedades y la acción de organismos que alteran los sedimentos.

Entre las causas antropogénicas de la declinación de los pastos se destacan:

- **Eutrofización:** este fenómeno ha sido ampliamente estudiado en todo el mundo, y se produce al aumentar la descarga de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) por residuales de la actividad humana como albañales, industrias y fertilización agrícola. El incremento de nutrientes en la columna de agua favorece el desarrollo del fitoplancton y de macroalgas oportunistas de crecimiento rápido, que obstruyen el paso de la luz hasta las plantas.
- **Sedimentación:** el incremento de asentamientos humanos en las costas ha provocado cambios en el uso de la tierra en todo el mundo, por lo que se realiza la deforestación para producciones agropecuarias o para la obtención de madera y carbón vegetal, implicando el aumento de la erosión y del transporte de sedimentos hasta el mar, impidiendo que la luz llegue a las plantas y produciendo el enterramiento de los pastos.
- **Contaminación química:** diversas actividades humanas conducen a la contaminación de los mares con sustancias o elementos tóxicos para las plantas y los animales, como metales pesados, hidrocarburos y pesticidas.
- **Daños mecánicos:** los producidos por artes de pesca (como los chinchorros arrastreros), anclas y la turbulencia generada por embarcaciones (en zonas turísticas de mucho tráfico de naves pequeñas) que han provocado la eliminación de pastos en áreas extensas.
- **Cambios hidrológicos:** acciones ingenieras en la zona costera, como construcciones, viaductos, dragados y diques, han producido cambios en la hidrodinámica de algunos cuerpos de agua, lo que ha provocado la muerte de grandes extensiones de pastos marinos en el mundo.

Los pastos marinos desempeñan un papel muy importante en la atenuación de los efectos del cambio climático en la zona marino-costera cubana, principalmente en las zonas bajas y de amplia plataforma insular, que resultan las más amenazadas por la inundación gradual y permanente; ya que amortiguan la energía del oleaje y retienen partículas suspendidas en el agua, mejorando su transparencia. Las angiospermas y algas asociadas absorben los nutrientes del agua y los sedimentos, actuando como filtros. Las hojas y el sistema radicular de las angiospermas favorecen la estabilización de los sedimentos y reducen su resuspensión, protegiendo a las costas contra la erosión y a los arrecifes coralinos contra la sedimentación excesiva; la acumulación de hojas en las playas disipa la energía de las olas y retienen los sedimentos, son fuente de sedimentos producto de los esqueletos carbonatados de los organismos que viven en ellos.

Las observaciones a escalas de tiempo largas en pastos marinos son bastante escasas, y por ello, los efectos del cambio climático no están bien documentados. Es aun difícil atribuir a las variaciones climáticas los cambios observados en la distribución espacial y en la densidad de angiospermas marinas. Existen diversos criterios sobre el papel que desempeña el hombre en estos cambios, y es muy frecuente la simultaneidad de dichos cambios con otros de tipo ambiental. No obstante, se han realizado algunas predicciones sobre la degradación de los pastos marinos relacionadas con el cambio climático, como el incremento de la temperatura superficial del mar, del nivel del mar (vinculado a la erosión de la zona costera) y de la presión parcial del dióxido de carbono en el agua de mar. Algunos de estos factores pueden tener efectos positivos y otros negativos sobre los pastos marinos.

Recuadro 3. Vulnerabilidades e impactos

La erosión en las playas es un fenómeno generalizado en el archipiélago cubano y ocurre con un ritmo estimado de retroceso de la línea de costa de 1,2 m/año, aunque existen reportes superiores a 2,5 m/año en varios puntos del país. Esta intensidad es similar a la reportada para la región del Caribe.

Los arrecifes son muy vulnerables al impacto del ascenso del nivel medio del mar, de forma indirecta, y de la temperatura de las aguas, de forma directa. Los arrecifes son también vulnerables a los huracanes, la sobre-pesca y otros efectos antrópicos. Debido a esto, cualquiera de los escenarios resultantes de los dos métodos aplicados implicarían la desaparición de los arrecifes de borde de plataforma para el año 2050.

Los manglares dependen del recurso agua por lo que compiten con los usos priorizados agrícolas, industriales y domésticos del mismo. Las áreas de manglares por su ubicación en las zonas costeras más bajas coinciden aproximadamente con las áreas de inundación permanente por ascenso del n.m.m. relativo. En este sentido se encuentran expuestas directamente a uno de los procesos primarios y de las consecuencias más obvias del Cambio Climático, que es el ascenso del nivel medio del mar.

Los pastos marinos se encuentran fuertemente expuestos a la sinergia del efecto antrópico y la evolución del medio ambiente a largo plazo debido al Cambio Climático.

El aumento de la vulnerabilidad debido a la disminución gradual de la resiliencia y la resistencia de los ecosistemas marinos analizados debido a efectos antrópicos negativos reducirán la capacidad de adaptación autónoma de los mismos haciendo inviable la adaptación estratégica como posible solución en manos del hombre. De esta forma, principalmente en las zonas de áreas costeras más expuestas por inundación permanente, la aceleración del deterioro de los ecosistemas y hábitats dará lugar a la aceleración de los restantes en las zonas adyacentes. A largo plazo, este proceso de interacciones dará lugar a una mayor desprotección de la línea de costa y a una intensificación del proceso de los impactos del Cambio Climático en múltiples direcciones.

Los resultados positivos de las actuaciones costeras en las playas cubanas representan un ejemplo de las posibilidades de regeneración de los ecosistemas marinos ante los eventos extremos de corto plazo y los procesos de largo plazo del Cambio Climático.

5.7. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

El archipiélago cubano reúne casi todas las características inherentes a las zonas costeras a escala global: aumento de la presión demográfica, incluida la población flotante constituida por los turistas, y vertimiento de contaminantes de diverso tipo así como la expansión de la infraestructura del turismo; las cuales figuran entre los principales factores que contribuirán en su sinergismo con el cambio climático, al aumentar la vulnerabilidad de la zona costera. En la zona costera más de la mitad de los sectores mejor potenciados para la actividad turística constituyen playas, lo cual revela la importancia que tienen para la economía nacional el recurso playa y su protección.

Algunas medidas de adaptación ante la variabilidad y tendencia de los regímenes hidrometeorológicos y biogeomorfológicos de la zona costera debido al ascenso del

n.m.m. ya se han puesto en práctica, como resultado de estudios sobre dinámica y manejo costeros (Juanes *et al.*, 1996). En este sentido, playas como la de Varadero se encuentran prácticamente destinadas a vivir artificialmente. Esto significa además, que el impacto del cambio climático es un evento actual y no “futuro” y que de las medidas de adaptación u otras acciones en la zona costera que hoy se ejecutan depende en gran medida la respuesta del ecosistema costero en la primera mitad del siglo XXI.

En el caso de los hábitats marinos la afectación sería favorable siempre que se mantenga la línea de mangle rojo protegiendo la costa de la erosión. Si esta faltara como ocurre en la costa Sur de La Habana (Hernández-Zanuy *et al.*, 2005), ocasionaría la desaparición paulatina de la vegetación sumergida por falta de luz, con el consecuente incremento de la intrusión salina y salinización posterior de los terrenos agrícolas (Hernández M. *et al.*, 2003). De mantenerse el mangle rojo se evitaría el incremento de sólidos en suspensión, evitando así la pérdida de las praderas de *Thalassia testudinum* y por tanto del elemento retenedor del sedimento y principal productor primario y de los arrecifes de coral.

Para garantizar un adecuado funcionamiento del régimen hidrológico, las construcciones de viales y otras obras que pudieran interrumpir la circulación de las aguas (dulces y saladas), deberán construirse en lo posible perpendiculares a la línea de costa y evitando las paralelas, lo que atenuará el impacto esperado y permitirá el acomodo natural de los ecosistemas.

La protección de los elementos de la zona costera como los bosques de mangle, las playas y las barreras de coral, desempeñan un papel muy importante en la protección de la población contra las penetraciones del mar como se refiere en EM-NDC (2005). Debe considerarse además la introducción de diseños y tecnologías para la protección de los sectores costeros de los asentamientos urbanos (Córdova, 2006).

Según Feenstra *et al.*, (1996) las medidas de adaptación ante un incremento del nivel medio del mar se pueden agrupar en tres tipos de estrategias de respuesta que denominan: retroceso, acomodamiento y protección. Por otra parte, según esta misma fuente, las medidas de adaptación para un aumento del n.m.m., no se pueden ver fuera del marco de una concepción integrada del manejo costero donde se contemplen todas las demás variables. El aumento del n.m.m. a largo plazo debe verse con la óptica de un proceso que varía paulatinamente, variación sobre la cual se superponen otros fenómenos dependientes o relacionados con el mismo, de los cuales no pueden excluirse los procesos sociales en las zonas costeras.

Siguiendo la misma concepción planteada por Bijlsma *et al.*, (1996); Feenstra *et al.*, (1996) y UNESCO (1990 a), se elaboró las medidas de adaptación y el orden de prioridades de las mismas (tabla 5.7).

5.8. CONSIDERACIONES FINALES

Solo una adecuada adaptación estratégica brindará la oportunidad de que ocurran procesos de adaptación autónoma en los frágiles ecosistemas marinos costeros cubanos. Dicha estrategia debe contemplar incluso la renuncia de algunos de los usos que hasta la actualidad se han aplicado a recursos naturales. De lo contrario ocurrirá un debilitamiento de los ecosistemas; playas, arrecifes, manglares y pastos marinos; trayendo como consecuencia la aceleración de los procesos erosivos y la intrusión salina, la pérdida de territorio emergido por una más profunda inundación permanente y una reducción de la calidad de vida de la población.

Tabla 5.7. Propuesta de medidas de adaptación para la zona costera de Cuba

ESTRATEGIA DE RESPUESTA	TIPO DE ADAPTACIÓN	
	ADAPTACIÓN AUTÓNOMA	ADAPTACIÓN ESTRATÉGICA
RETROCESO		
<i>Progresivo abandono de las áreas altamente vulnerables y el reasentamiento de los habitantes. Reducir la densidad demográfica en las zonas bajas y en las partes bajas de las cuencas hidrográficas</i>		X
No construir áreas residenciales, fábricas u hoteles en las zonas bajas con perspectivas mayores que 50 años		X
ACOMODAMIENTO		
<i>Conservación de los ecosistemas en armonía con las áreas vulnerables ocupadas y en uso, y las respuestas de adaptación. Desarrollar programas integrados de manejo costero para todos los sectores la zona costera</i>	X	X
Desarrollar concepciones constructivas en la infraestructura, adaptadas a las inundaciones temporales para las zonas bajas		X
Desarrollo de la acuicultura como un medio de disminuir la presión que actualmente sufren los ecosistemas arrecifales por parte de las actividades pesqueras		X
PROTECCIÓN		
<i>Defensa de las áreas vulnerables, centros económicos y los recursos naturales. Repoblar las zonas de manglar en todos los sitios afectados por la deforestación y promover la reforestación de la zona costera con la especies propias de la misma</i>	X	X
Desarrollar la regeneración de las playas sobre la base de "soluciones blandas" en combinación con otras tecnologías	X	X
Creación de zonas protegidas con categorías restrictivas de uso para proteger de forma más efectiva a los ecosistemas marinos	X	X
Intensas acciones de educación ambiental para la población, los tomadores de decisiones y en los centros educacionales	X	X
Desarrollo de sistemas de monitoreo (mediciones sistemáticas) y de alerta temprana con tecnologías de punta, así como de nuevas tecnologías de ingeniería de costas	X	X

BIBLIOGRAFÍA

1. ACC (1989): Nuevo Atlas Nacional de Cuba. La Habana: IGT / ICGC.
2. Alcolado, P. M. S. L. Lorenzo e I. Almeida (2011): Localización y estado de deterioro de las crestas arrecifales en zonas priorizadas de Cuba. Informe anual del macroproyecto Escenarios de peligro y vulnerabilidad de la zona costera cubana, asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 2100. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 14 pp.
3. Alcolado, P. M., Caballero, H. & Perera, S. (2009a). Tendencia del cambio en el cubrimiento vivo por corales pétreos en los arrecifes coralinos de Cuba. Serie Oceanológica, 5, 1-14.
4. Alcolado, P. M., Hernández-Muñoz, D., Caballero, H., Busutil, L., Perera, S. Hidalgo, G. (2009b). Efectos de un inusual período de alta frecuencia de huracanes sobre el bentos de arrecifes coralinos. Rev. Cien. Mar. Cost., 1, 73-93.
5. Alcolado, P. M., E.E. García y M. A. Acosta (2007): Ecosistema Sabana – Camaguey. Estado actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad. Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey, CUB/98/G•32; CUB/99/G81. 183 pp.
6. Alvarez-Borrego, S. (2007): Principios generales del ciclo del carbono en el océano. En: Hernández-de la Torre B, Gaxiola-Castro G (eds.), Carbono en ecosistemas marinos de México. INE, Semarnat, CICESE, México. 11-28. pp.
7. Alvarez - Filip, L., Dulvy, N. K., Gill, J. A., Cote, I. M. y Watkinson, A. R. 2009. Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity. Proc. R. Soc. B, doi: 10.1098/rspb.2009.0339, pp, 1-7 <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2009.0339>.
8. AMA (2005): Evaluación rápida de los efectos ambientales de las inundaciones costeras por penetración del mar en la Ciudad de la Habana, al paso del huracán Wilma. Informe científico – técnico. Archivo AMA, 68 pp.
9. Ballester M. (2010): Variabilidad de la actividad ciclónica en la región del Atlántico Norte y su pronóstico. Editorial Academia. 170 pp.
10. Bijlsma, L., C.C. Ehtler, R.J.T. Klein, S.M. Kulshrtha, R.F. McLean, N. Mimura, R.J. Nicholls, L.A. Nurse, H. Pérez Nieto, E.Z. Stakhiv, R.V. Turner y R.A. Warrick (1996): Coastal Zones and Small Islands. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific – Technical Analysis, R.T. Watson, M.C. Zinyowera y R.H. Moss (eds.). Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, 289 – 324.
11. Blázquez, E. L. (1981): Algunos aspectos del régimen de la temperatura en la plataforma Noroccidental de Cuba y la región oceánica adyacente. Inf. Cient. Téc. Acad. Cienc. Cuba, 171: 1 -28.
12. Blázquez, L. y E. Romeu (1982): Contribución al estudio de la circulación general en el Golfo de Batabanó, Zona B. Rep. Invest., Inst. Oceanología., 1:1-33.
13. Blázquez L. J.P Rodríguez-Portal, I. Rosabal- Campos y R. Calderón-Hebra. (1988): Mediciones de corrientes en el Golfo de Batabanó. Reporte de Investigación del Instituto de Oceanología no. 14.
14. Blázquez, E. L. (1989): Anomalías del Nivel del Mar en La Habana, Cuba, durante el evento Oscilación del Sur-El Niño (OSEN), de 1982-83. Reporte de Investigación 6 (11), 8 pp.
15. Breitburg, D. (2002): Effects of hypoxia, and the balance between hypoxia and enrichment, on coastal fishers and fisheries. Estuaries. 25:767-781.
16. Casals, R.T. (2002): Cronología de las inundaciones costeras ocurridas en el sur de la provincia La Habana. Revista Cubana de Meteorología, ISSN-864-9, 9(1): 90 – 95 p.
17. Case, R. A. (1986): Atlantic Hurricane Season of 1985. Annual Summary. Monthly Weather Review. 114: 1390 – 1405.

18. Cerdeira S. (2003): Metodología para el Análisis de de la Temperatura Superficial del Mar alrededor de Cuba mediante imágenes del sensor cósmico AVHRR-NOAA" Tesis presentada en opción al Título de Doctor en Ciencias Técnicas. Archivo Científico del Instituto de Oceanología.
19. Chen A., M. Taylor, A. Centella y D. Farrell (2008): Climate Trends and scenarios. Report of Working Group I, Climate Change and Biodiversity in Caribbean Island. CANARI Technical Report No 381. December, 2008, 70 pp.
20. Córdova L. L. (2006): Solución Integral de protección contra inundaciones en el tramo más crítico del Malecón de la Ciudad de La Habana. Seminario sobre Desarrollo Sostenible del Medio Costero en el Caribe y Taller sobre Vulnerabilidad de las Zonas Costeras en el Caribe. ISPJAE-HR Wallingford-UNISA. 28/X-1/XII.
21. Chelton, D.B. y D.B. Enfield (1986): Oceans Signals in Tide Gauge Records. Journal of Geophysical Research, August 10, 91 (B9): 9081-9098.
22. Claro, R.; G. Bustamante; B.V. Koshelov y A.J. Baisre (1994): Ecología de los peces marinos de Cuba. 525pp. Ed. México.
23. De la Paz. M., A. Gómez-Parra y J. Forja, J. (2007): Inorganic carbon dynamic and air-water CO₂ exchange in the Gualdalquivir Estuary (SW Iberian Peninsula). Journal of Marine Systems. 68:265-277.
24. Douglas B.C., M.S. Kearney y S.P. Leatherman (2001): Sea Level Rise History. International Geophysics Series. Vol. 75. 232 pp.
25. Efimov, V.V. (1985): Las ondas en las zonas fronterizas del océano. Hidrometeoizdat, Leningrado. 280 pp [en ruso].
26. Emilsson Y. y J.J. Tápanes (1971): Contribución a la hidrología de la plataforma Sur de Cuba. Serie Oceanológica. 9:1-22.
27. Enfield, D.B. y J.S. Allen (1980): On the structure and dynamics of monthly mean sea level anomalies along the Pacific coast of North and South America. Journal of Physical Oceanography, 10 (4), April: 555 - 578.
28. Feenstra J., Burton I., Smith J., and Parry M, (eds.) (1996): Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies. DRAFT Version 1.3. October, 1996. Chapter 5. UNEP.
29. Friis, K., A. Koertzing y D. W. R. Wallace (2003): The salinity normalization of marine inorganic carbon chemistry data. Geophysical Research Letters. 30:2.
30. Furrzola, G. y K. Núñez, eds. (1997): Estudios sobre Geología de Cuba. La Habana: CNDIG, 527 pp.
31. GCRP-USA (2006): Our changing climate. [Internet]. Disponible en: <http://www.gcric.org/NationalAssessment/index.htm>. 29 pp.
32. GEF/PNUD (1996): Protección de la Biodiversidad y Establecimiento de un Desarrollo Sustentable en el Ecosistema Sabana-Camagüey. Informe final de proyecto (CUB/92/G31). Archivo Científico del Instituto de Oceanología.
33. González, C. (1999): Climatología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1916-1917 hasta 1996-1997. Revista Cubana de Meteorología, ISSN-864-9, 6(1): 15-19.
34. González, C. (2000): Características de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1916-17 hasta 1999-2000. Boletín SOMETCUBA [Internet] 6 (2). Disponible en: <http://www.met.inf.cu>.
35. Guerra, R. F., L. Rivas, L.I. Peña, M. Sosa, C.M. Peón, Caso, M. E. Chávez y G. Legrá (2005): Geología de la Plataforma Marina de Cuba. Versión Original Recuperada. Informe de Proyecto. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 355 pp.
36. Guerman, V.J. y S.P. Levikov (1988): Análisis probabilístico y modelación de las variaciones del nivel del mar. Edit. Hidrometeoizdat. Moscú, 1988. 229 pp. [en ruso].
37. Hernández M. (2012): Variabilidad y pronóstico de la componente aperiódica del nivel del mar de origen meteorológico en el archipiélago cubano. 145 pp. (Oceandocs, en prensa).

38. Hernández M.,(2011): Estructura espectral de la componente aperiódica del nivel del mar de origen meteorológico en la escala sinóptica de frecuencias, *Revista Cubana de Meteorología*, 17(1) 60-74 p.
39. Hernández, M. y O. Marzo (2011): Estimación de las anomalías, tendencia, proyección y los períodos de retorno de los valores extremos del nivel del mar relativo durante el presente siglo a partir de mediciones de la Red Mareográfica Nacional. Informe anual de proyecto. 120 pp. Directiva 1 del Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias. Archivo Científico del Instituto de Oceanología.
40. Hernández, M., O. Marzo y A. Acanda (2010): Tendencia lineal del nivel medio del mar en algunas localidades del archipiélago cubano. *Serie Oceanológica*. No. 7, ISSN: 2072-800X. <http://oceanologia.redciencia.cu>.
41. Hernández, M. y O. Marzo (2009): Variabilidad estacional del nivel del mar en el archipiélago cubano. *Serie Oceanológica*. no. 6, ISSN: 2072-800X. WWW. <http://oceanologia.redciencia.cu>. p. 1 – 15.,
42. Hernández, M., J. Cárdenas, L. Arriaza, S. L. Lorenzo, L. Rodas, O. Ramírez, J. F. Montalvo, E. O. Linares, O. Marzo, A. Morales, J. Viamontes, R. García, C. Martínez, G. Legrá, J. Gutiérrez y M.M. Rivero (2006): Desarrollo de métodos y tecnologías para el pronóstico de procesos oceanográficos en la plataforma insular cubana. Informe final de proyecto. Programa Ramal de Protección del Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible Cubano. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 300 pp.
43. Hernández, M. y G. Díaz (2003): Some considerations on synoptic sea level variability in the Gulf of Batabanó. *Serie Oceanológica*, no. 1. ISSN: 2072-800X. <http://oceanologia.redciencia.cu>.
44. Hernández, M. y G. Díaz (2001a): Influences of ENSO on seasonal and inter – annual sea level variability in the Cuban Archipelago. *Serie Oceanológica*. No. 0. ISSN: 2072-800X. <http://oceanologia.redciencia.cu>
45. Hernández, M. y G. Díaz (2001b): Algunos aspectos de la variabilidad mensual del nivel del mar en. La Habana, Cuba. Afro América GLOSS News. Patrocinada por la UNESCO y el COI. <http://www.mares.IDO.usp.br/aagn/ind.html>.
46. Hernández M., P. Parrado y M. Izquierdo (2000): Preliminary considerations on the probable impact of sea level rise and water temperature in some localities of the coastal zone of the Cuban archipelago. *Climate Change Impacts and Responses. Proceedings of the Conference on National Assessment Results of Climate Change*. Páginas de la 183 a la 202. Edited by Nobuo Mimura. Printed by the Japan Environment Agency and Overseas Environmental Cooperation Center. 751 pp.
47. Hernández, M. y G. Díaz (1999): Variabilidad del Nivel del Mar en aguas de México y Cuba. Informe final de proyecto. Programa Nacional de Cambios Globales y Evaluación del Medio Ambiente Cubano. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 64 pp.
48. Hernández M., A. Hernández-Zanuy, L. Arriaza, J. Simanca, S. L. Lorenzo, S. Cerdeira, L. Rodas, G. Díaz, I. Hernández, O. Marzo, J. L. Chang, A. Oviedo, H. M. Alfonso (2003): Evaluación de la tasa de incremento del nivel medio del mar y su influencia sobre algunas características oceanográficas y de las áreas de manglares de la plataforma insular cubana. Informe Final de Proyecto. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 160 pp.
49. Hernández-Zanuy A., E. Tristá, M. Guerra, s. Lorenzo, M. Martínez, M. Hernández, P. M. Alcolado, L. Peña, M. Esquivel, R. Tomás-Capote, M. Sosa (2007): Diagnóstico para la rehabilitación ecológica del tramo de costa comprendido entre Surgidero de Batabanó y Mayabeque, costa Sur de la Habana. Informe Final de Proyecto. Archivo Científico Instituto de Oceanología. 2007:150 pp.
50. IGBP (1993): Land - Ocean Interaction in the Coastal Zone. Science Plan. Global Change. Report 25. 50 pp.
51. IOC (1990): Global Sea Level Observing System (GLOSS) Implementation Plan. Technical Series, 35. 90 pp.

52. Ionin A.C., I.A. Pavlidis y O.A. Suarez, (eds.) (1977): Geología de la plataforma cubana. Edit. Nauka. Moscú. URSS. 217 pp. [en ruso].
53. IPCC (2007): Cambio Climático - Base de Ciencia Física. Contribución del Grupo de Trabajo I al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. (ISBN 978 0521 88009-1 Libro, 978 0521 70596-7 Folleto). [Internet]. Disponible en: <http://www.ipcc.ch/>
54. Jennerjahn T.C. y V. Ittekkot (2002): Relevance of mangroves for the production and deposition of organic matter along tropical continental margins. *Naturwissenschaften*. 89: 23-30. Published online: 12/12/2001. Springer-Verlag.
55. Juanes, J.L. (1996): La erosión de las playas en Cuba. Alternativas para su control. Tesis para el grado de Doctor en Ciencias Geográficas. Archivo Científico del Instituto de Oceanología.
56. Juanes J.L., Y. Rodríguez, L. Rivas, A. Niévares, Á. L. Chirino, R. González, B. L. Frías, P. Sánchez, H. R. Rondón, M. Nadal, L. Herrera, I. Hernández, M. García, R. A. Rodríguez, R. Pérez (2010): Proyecto 8. Actualización y evaluación de la evolución de las playas para los años 2050 y 2100. MACROPROYECTO (PNAP): Escenarios de peligro y vulnerabilidad de la zona costera cubana, asociados al ascenso del nivel medio del mar para los años 2050 y 2100. 26 pp.
57. Laws, E. A. (1992): El Niño and the Peruvian Anchovy Fishery. Oceanography Department, University of Hawaii, Honolulu.
58. Lluís-Riera (1972): Estudios hidrológicos del Golfo de Batabanó y de las aguas oceánicas adyacentes. Serie Oceanológica (14), 49 pp.
59. Lluís-Riera (1977): Estudios hidrológicos de la plataforma suroriental de Cuba y aguas oceánicas adyacentes. Edit. Academia de Ciencias de Cuba, (16), octubre, 29 pp.
60. Lluís-Riera (1983): Características físico químicas de la plataforma de Cuba y aguas oceánicas adyacentes. *Informacionni Bulletin*, Centro de coordinación del CAME para el problema mundial, Moscú 15:29-45p. [en ruso].
61. Martínez-Canals, M., Montalvo, J. F., Miravet, M. E., Lugioyo, G. M., Losa, S., Pérez, R. (2004): Informe final del proyecto Evaluación de las zonas de impacto antrópico en el Golfo de Batabanó. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 71 pp.
62. Martínez - Daranas (2007): Características y estado de conservación de los pastos marinos en áreas de interés del archipiélago Sabana – Camagüey, Cuba. 103 pp. + Figuras y Tablas en anexos.
63. Martínez-Estalella, N. y Herrera, A. (1989): Estudio de la comunidad coralina del arrecife del Rincón de Guanabo, Cuba. Cuba, Instituto de Oceanología. Reporte de Investigación (9), 28 p.
64. Menéndez L. y J. M. Guzmán (eds.) (2002): Ecosistemas de manglar en el archipiélago cubano. Editorial Academia. 465 pp.
65. Miravet, M. E., M. Lugioyo, S. Losa, , D. Enriquez, E. Perigó, J. F. Montalvo (2000): Informe final del proyecto Evaluación del estado de salud de los arrecifes coralinos y fondos blandos a partir de indicadores microbiológicos en la plataforma suroccidental y noroccidental de Cuba. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 56 pp.
66. Mitrani, I., R. Vega, R. Pérez Parrado e I. Salas (1999): Determinación de las características extremas del viento, el oleaje, y la sobreelevación del nivel del mar en las costas de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*. ISSN-864-9, 6 (1): 38-42.
67. Mitrani, I., I. Salas, M. Ballester e Y. Juantorena (2000a): Penetraciones del mar en la zona costera del Golfo de Batabanó por afectación de sures, con escenario actual y previsto por posible incremento del nivel medio del mar. *Boletín SOMETCUBA* [Internet], 6 (1). Disponible en: <http://www.met.inf.cu/>
68. Mitrani, I. y O.O. Díaz (2000b): Influencia de los factores hidrometeorológicos en el medio marino de la zona suroccidental de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*. ISSN-864-151-X. 7 (1): 45-50.
69. Mitrani, I., R. Parrado, I. Salas, M. Ballester, C. Rodríguez, A. Pérez. Monografía, (2001): Las

- penetraciones del mar en las costas de Cuba, las zonas más expuestas y su sensibilidad al Cambio Climático [Inédito]. UDICT-INSMET, La Habana, Cuba.
70. Montalvo, J. F., E. Perigó, J. Espinosa y I. García (2000): Prospección de variables hidroquímicas de calidad ambiental en la zona litoral entre el río Hatiguanico y Majana, costa sur occidental de Cuba. Contribución a la educación y la protección ambiental. 1: 193 – 197.
 71. Montalvo, J. F., I. García, S.C. Esponda, M.E. Cesar, O.C. Albuquerque (2009 a): Compuestos del ciclo del carbono en la zona litoral del municipio Playa, Ciudad de la Habana, Cuba. Serie Oceanológica. No. 5,88-98
 72. Montalvo, J. F., I. García, S.C. Esponda, D. López, M. Martínez, O. C. Albuquerque, R. García, M. Blanco, N. y García (2009b). Estudios preeliminares de compuestos del ciclo del CO₂ en algunas áreas costeras de la plataforma cubana. Serie oceanológica 6, 65-78.
 73. Morales A (1996): Estudios Oceanográficos para la construcción de una plataforma para la prospección de petróleo en Cayo Rabihorcado. Informe Científico Técnico. GEOCUBA E.M.
 74. Moreno, A. e I. Salas (1976): Surgencias originadas por tormentas tropicales, sus causas y efectos. Archivo Científico del Instituto de Meteorología, La Habana, 23 pp.
 75. NC-25 (1999): Hidrosfera. Especificaciones y procedimientos para la evaluación de los objetivos hídricos para uso pesquero.
 76. Oliveira, A. P., M. Nogueira y G. Cabeçada (2006): Variabilidad de CO₂ en aguas superficiales adyacentes al estuário del Tajo (Portugal). Ciencias Marinas. 32:401-411.
 77. Parker B. B. (1992.): Sea level as an indicator of Climate and Global Change. Marine Technology Society Journal, 25 (4). 11 pp.
 78. Pérez R. (2008): Ciclones tropicales y cambio climático. Taller "Cambios Globales y Medio Ambiente": Tendencias mundiales, resultados y proyecciones de trabajo. 25-26 marzo 2008. Acuario Nacional de Cuba.
 79. Perigó, E., M. Martínez-Canals, J. F. Montalvo, R. Pérez (2000): Evaluación de la calidad ambiental del Golfo de Batabanó. [Inédito]. Informe final. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 130 pp.
 80. Pugh, D. (1986): Tides, Surges and Mean Sea-Level. Natural Environment Research Council. Swindon, UK. John Wiley & Sons. ISBN 0 471 91505 X. Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 486 pp.,
 81. Pugh D.T. y G.A. Maul (1999): Coastal Sea Level Prediction for Climate Change. Coastal and Estuarine Studies 56, 377-444.
 82. Ramírez, I. (1991): Propagación de señales en registros de nivel del mar, en la costa occidental del México. Atmósfera, 4, 23-35.
 83. Ramírez, O. y M. Hernández (2006): Ondas atrapadas a la costa en el sector noroccidental de Cuba. Serie Oceanológica. 2. [Internet]. ISSN: 2072-800X. Disponible en: <http://oceanologia.redciencia.cu>
 84. Rodríguez, J. y J.F. Rodríguez (1983): Las mareas en las costas cubanas. Reporte de Investigación. 6, enero, 34 pp.
 85. Rubiera, J. y A. Caymares (1998): Eventos del tiempo severo inducidos por el ENSO en la temporada invernal cubana. UNESCO [Internet]. Disponible en: <http://www.unesco.org.uy/phi/libros/enso/rubiera.pdf>
 86. Sabine, C. L., R. A. Feely, N. Gruber, R. M Key, K. Lee, J.L. Bullister, R. Wanninkhof, C.S. Wong, D. R. W. Wallace, B. Tilbrook, F.J. Millero, T.H. Peng, A. Kozyr, T. A. Ono, A. F. Rios (2004): The oceanic sink for anthropogenic CO₂. Science 305,367–371.
 87. Salas I., R. Pérez–Parrado, S.T. Samper, J. D. Chávez, A. L. Pérez, C. Rodríguez, B. Pantaleón, L. Favier y R. Restivo (2006): Impacto de la Surgencia en el Archipiélago Cubano, considerando los Cambios Climáticos. Informe de proyecto del Programa Nacional de Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano. Archivo Científico del Instituto de Meteorología, 220 pp + anexos.

88. Smirnov, G.N. (1987): Oceanología. Leningrado. Hidrometeoizdat. 407 pp. [en ruso].
89. Sukhovey, V.F. (1980): Hidrología del Mar Caribe y el Golfo de México. Leningrado. Hidrometeoizdat. 120 pp. [en ruso].
90. Sukhovey, V.F. (1986): Mares del Océano Mundial. Leningrado. Hidrometeoizdat. 287 pp [en ruso].
91. Sweet W. C. Zervas y S. Gill (2009): NOAA Technical Report NOS CO-OPS 051. Elevated East Coast Sea Level Anomaly: June – July 2009. Department of Commerce. United States of America. Silver Spring, Maryland. August 2009. 29 pp.
92. Toledo, M., H. Alfonso, F. Piedra, L. Díaz, B. Molina, M. Ribot, S. Matousek, H. Carrasco, M. Hernández, I. Hernández, J. L. Chang (2005): Características geólogo-geomorfológicas de las costas cubanas. Incidencia en la vulnerabilidad de éstas y su dinámica litoral. [CD-ROM], La Habana: Sociedad Cubana de Geología. 12 pp.
93. Todd L. Walton Jr. (2007): Projected sea level rise in Florida. Ocean Engineering 34, 1832-1840.
94. UNESCO. (1990 a): Strategies for adaptation to sea level rise. Report of the Coastal Zone Management Subgroup.
95. Victoria, I., M. Hernández, L., Rodas, J. Simanca, A. Cabal, H. Puentes (1990): Características Oceanográficas de la Fosa de Jagua y de la Zona Económica Exclusiva al Sur de Cuba. Informe final de proyecto. Archivo Científico del Instituto de Oceanología. 296 pp.
96. Voitoiriez, B. y J. Guy (1999): El Niño. Realidad y ficción. Foro de los Océanos. Ediciones UNESCO, 142 pp.





Diversidad biológica
Foto: Richard Molina

CAPÍTULO 6

DIVERSIDAD BIOLÓGICA

6.1. EL ESTUDIO DE LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

En este capítulo se utiliza el concepto de diversidad biológica adoptado por la Convención de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica, que reconoce como tal, *la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente; incluidos los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte, y comprende también la diversidad entre las especies y los ecosistemas.*

La importancia que tiene para Cuba la temática de la diversidad biológica y su interrelación con el cambio climático antropogénico ya se reconoce en la *Estrategia Nacional Ambiental 2007-2010* del CITMA, al caracterizar entre los cinco problemas principales ambientales cubanos actuales y futuros: los impactos de la variabilidad actual del clima que pudieran atribuirse o no al cambio climático, la degradación de los suelos y la pérdida de la diversidad biológica tanto terrestre como marina. Estos tres problemas ambientales están vinculados sobre todo en un próximo futuro con el cambio climático. En el primero su vínculo está claro, en el segundo la degradación de los suelos lleva implícita la pérdida de fertilidad biológica, es decir la desaparición de flora y fauna asociada. La literatura internacional valora que la pérdida de fertilidad biológica del suelo puede alterarse como consecuencia del calentamiento global, y de posibles cambios en la distribución y montos de las precipitaciones. La degradación y pérdida o fragmentación de los hábitats actuales es debida a las transformaciones de origen humano del ambiente, a la sobreexplotación de bienes y servicios que brinda la diversidad biológica y los incendios, por citar tan solo algunas causas. Existe un elevado consenso científico, avalado por experiencia y modelaciones, de que la vulnerabilidad de la diversidad biológica se elevará al incrementarse los impactos ocasionados por el cambio climático. El estado actual de los ecosistemas cubanos, así como su grado de fragmentación, es decisivo para poder definir las posibles estrategias de adaptación al cambio climático.

Para los científicos dedicados a las ciencias del mar la preocupación también es grande pero el reto es aun mayor, ya que el clima depende totalmente de su controlador, el océano, y son precisamente los estudios de los procesos de interacción entre la atmósfera y el océano, los que permitirán prepararse para mantener habitable el planeta por la actual combinación de formas de vida y sus interacciones con el medio físico en un nuevo escenario climático.

Esta evaluación sobre la diversidad biológica y el cambio climático en Cuba, aborda el estudio de la misma tanto en su componente marino, como costero y terrestre. Se debe resaltar que aunque la diversidad biológica cubana es una sola, hay una disparidad muy grande entre la marina y la terrestre, pues cada una de ellas se desarrolla en ambientes ecológicos distintos: el mar y la atmósfera terrestre; ocasionando diferencia marcadas en las técnicas de estudio y en los resultados. Por esta razón, en el capítulo hay secciones dedicadas a la diversidad marina y costera y a la terrestre y costera.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC siglas en inglés) publicó en 2002 un Reporte Técnico V sobre *Cambio Climático y Diversidad Biológica* (Gitay *et al.*, 2002), que aborda la temática, posteriormente el IPCC en su Cuarto Reporte (Parry *et al.*, 2007), atribuye al cambio climático impactos ya observados en sistemas biológicos e identifica futuros impactos sobre los mismos en las próximas décadas. La Convención sobre la Diversidad Biológica también ha abordado esta temática, publicando dos números de su serie técnica, el no. 10 *Interlinkages between Biological Diversity and Climate Change* (2003) y la no. 41 *Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation* (2009). Aunque las metodologías usadas para abordar estos estudios están poco desarrolladas y sus proyecciones futuras revisten grandes incertidumbre, su importancia es muy grande por su vínculo con los bienes y servicios que brindan los ecosistemas (diversidad biológica).

6.2. DIVERSIDAD BIOLÓGICA CUBANA

Este epígrafe está basado en el *IV Informe Nacional al Convenio sobre la Diversidad Biológica de la República de Cuba*, (CITMA, 2009). Publicación que refleja la visión de forma sintética, actualizada y consensuada con la mayoría de los expertos nacionales y todas las instituciones del país que estudian y manejan la diversidad biológica.

En el Estudio Nacional sobre la Diversidad Biológica de la República de Cuba (ENDB), se realizó la revisión y actualización de la biota cubana hasta 1996 (Vales *et al.*, 1998); y en los años siguientes las cifras para algunos grupos se actualizaron parcialmente en los informes anuales a la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE), para su publicación en el Anuario Estadístico. A partir del 2005, el Centro Nacional de Biodiversidad del Instituto de Ecología y Sistemática (CeNBio-IES), ha venido realizando la actualización de las cifras de diversos grupos de la biodiversidad del país, los cuales permiten documentar los datos que a continuación se presentan (tabla 6.1).

La tabla 6.1 permite apreciar la riqueza, que constituye la principal característica de la diversidad biológica conocida tanto terrestre, marina, como dulceacuícola.

6.3. BIODIVERSIDAD TERRESTRE Y COSTERA

6.3.1. CARACTERÍSTICAS

En el territorio cubano la distribución de las especies terrestres no es uniforme, ya que se concentra en las regiones más antiguas y estables, como son los macizos montañosos de occidente, centro, norte oriental y sur oriental de la Isla; así como en áreas de condiciones extremas, como las colinas y llanuras de serpentinas, las costas semiáridas surorientales y las llanuras de arenas silíceas del occidente (Vales *et al.*, 1998, CITMA, 2009).

El elevado endemismo de la biodiversidad terrestre y costera cubana (tabla 6.2), se debe, entre otros factores, al aislamiento geográfico dado por la condición de insularidad del archipiélago cubano, el mosaico de suelos resultante de la complejidad y heterogeneidad geológica, así como las diferencias latitudinales y climáticas.

La fauna cubana se caracteriza por el predominio de las formas voladoras sobre las terrestres, la ausencia de megafauna (grandes carnívoros y herbívoros) y la presencia de enanismos (especies catalogadas dentro de las más pequeñas en sus grupos, como ocurre en anfibios y aves). La fauna cubana es mayormente insular, por lo que muestra una gran afinidad con otras islas de las Antillas Mayores y con el norte de América Central; otros grupos la presentan con el norte de América del Sur y Norteamérica.

Tabla 6.1. Diversidad de la biota cubana en cifras año 1998 y 2008*

VALES <i>et al.</i> , 1998 (ENDB)	CLASIFICACIÓN ACTUAL	PHYLA/DIVISIÓN	CONOCIDAS		TERRESTRES		MARINAS		DULCEACUÍCOLAS (PALUSTRES)	
			CeBio		CeBio		CeBio		CeBio	
NO INCLUIDA	Archaea	Euryarchaeota	2				2			
	Archaea		2				2			
Cyanophyceae	Bacteria	Cyanobacteria	108				44		64	
Bacteriae	Bacteria	Firmicutes	27				27			
Bacteriae	Bacteria	Actinobacteria	7				7			
Bacteriae	Bacteria	Bacteroidetes	3				3			
Bacteriae	Bacteria	Proteobacteria	104				104			
	Bacteriae		249		21		185		64	
Algae	Eukaryota	Cryptophyta	3				1		2	
Algae	Eukaryota	Haptophyta	25				25			
Algae	Eukaryota	Ochrophyta	289				288		1	
Algae	Eukaryota	Sagenista	4				4			
Algae	Eukaryota	Bacillariophyta	85				83		2	
	Eukaryota	Oomycota	39		33				6	
Algae	Eukaryota	Rhodophyta	262				262			
	Reino Chromista		707		33		663		11	
Algae	Eukaryota	Dinoflagellata	199				199			
Protozoa	Eukaryota	Ciliophora	62				62			
Algae	Eukaryota	Euglenozoa	4				1		3	
Algae	Eukaryota	Foraminifera	694				694			
	Eukaryota	Plasmodiopharomycota	2		2					
Protozoa	Eukaryota	Protozoa	365				22		343	
Myxomycota	Eukaryota	Myxomycota	114		114					

*IV Informe Nacional al Convenio sobre la Diversidad Biológica de la República de Cuba, CIMA (2009)

Tabla 6.1. (continuación)

VALES <i>et al.</i> , 1998 (ENDB)	CLASIFICACIÓN ACTUAL	PHYLA/DIVISIÓN	CONOCIDAS		TERRESTRES	MARINAS	DULCEACUÍCOLAS (PALUSTRES)	
Reino Protozoa			CeNBio		CeNBio	CeNBio	CeNBio	
Fungi + Líquenes	Eukaryota		1 440		116	978	346	
			5 844		5 697	39	108	
Reino Fungi			5 844		5 697	39	108	
Algae	Eukaryota	Chlorophyta	1 069			200	869	
Bryophyta	Eukaryota	Hepatophyta	500		500			
Bryophyta	Eukaryota	Anthocerotophyta	7		7			
Bryophyta	Eukaryota	Bryophyta	411		411			
Pteridophyta	Eukaryota	Monilophyta	557		548		9	
	Eukaryota	Lycophyta	44		44			
Gimnospermae	Eukaryota	Coniferophyta	11		11			
Gimnospermae	Eukaryota	Cycadophyta	8		8			
Angiospermae	Eukaryota	Magnoliophyta	6 500		6 038	12	450	
Reino Plantae			9 107		7 567	212	1 328	
Porifera	Eukaryota	Porifera	280			280		
	Eukaryota	Ctenophora	6			6		
Coelenterata	Eukaryota	Cnidaria	370			370		
Chaetognata	Eukaryota	Chaetognatha	9			9		
Annelida	Eukaryota	Annelida	481		51	430		
Mollusca	Eukaryota	Mollusca	2 913		1300	1 545	68	
	Eukaryota	Bryozoa	84			84		
	Eukaryota	Sipunculida	8			8		
	Eukaryota	Acanthocephala	14		11	3		
Platyhelminthes	Eukaryota	Platyhelminthes	290		193	97		
Nematoda	Eukaryota	Nematoda	561		473	76	12	
	Eukaryota	Arthropoda						

Tabla 6.1. (continuación)

VALES <i>et al.</i> , 1998 (ENDB)	CLASIFICACIÓN ACTUAL	PHYLA/DIVISIÓN	CONOCIDAS		TERRESTRES		MARINAS		DULCEACUÍCOLAS (PALUSTRES)	
			CeNBio		CeNBio		CeNBio		CeNBio	
Arachnida	Eukaryota	- Clase Arachnida	1 422		1 417				5	
	Eukaryota	- Clase Pycnogonida	12					12		
Crustacea	Eukaryota	- Superclase Crustacea	1 548		60		1 348		140	
Chilopoda	Eukaryota	- Clase Chilopoda	43		43					
Diplopoda	Eukaryota	- Clase Diplopoda	94		94					
Insecta	Eukaryota	- Clase Insecta	7 493		6 813				680	
Equinoderma	Eukaryota	Echinodermata	387				387			
	Eukaryota	Chordata								
Ascidacea	Eukaryota	- Clase Ascidacea	62				62			
Pisces	Eukaryota	- Clase Cephalochordata	2				2			
Pisces	Eukaryota	- Clase Myxini	2				2			
Pisces	Eukaryota	- Clase Elasmobranchii	78				78			
Pisces	Eukaryota	- Clase Holocephali	1				1			
Pisces	Eukaryota	- Clase Actinopterygii	982				908		74	
Amphibia	Eukaryota	- Clase Amphibia	62		48				14	
Reptilia	Eukaryota	- Clase Reptilia	153		142		6		5	
Aves	Eukaryota	- Clase Aves	366		214		83		69	
Mammalia	Eukaryota	- Clase Mammalia	78		56		21		1	
Reino Animalia			17 801		10 915		5 818		1 068	
TOTAL			35 150		24 349		7 897		2 925	

Fuente: Cejas y Amaro CeNBio, 2008

Tabla 6.2. Diversidad y endemismo de la biota terrestre cubana

GRUPOS TAXONÓMICOS PRINCIPALES	NOMBRES COMUNES	ESPECIES		
		Conocidas ^(a) (U)	Endémicas (U)	Endémicas (%)
Plantae				
Bryophyta	Musgos y hepáticas	921	78	8,5
Pteridophyta	Helechos	500	53	10,6
Gymnospermae	Coníferas	19	12	63,2
Angiospermae	Plantas con flores	6 500	3 409	52,4
Animalia				
Platyhelminthes	Duelas, tenias	213	75	35,2
Nematoda	Nemátodos	268	79	29,5
Acanthocephala	Acantocéfalos	11	0	0
Mollusca	Moluscos	1 299	861	66,3
Annelida				
- Oligochaeta	Lombrices de tierra	32	24	75,0
Arthropoda				
- Arachnida	Arañas, escorpiones	1 302	677	52,0
- Crustacea	Crustáceos	200	12	6,0
- Chilopoda	Ciempiés	42	26	61,9
- Diplopoda	Milpiés	94	71	75,5
- Insecta	Insectos	8 317	3 325	40,0
Chordata				
- Actinopterygii	Peces	38	21	55,3
- Amphibia	Anfibios	61	59	96,7
- Reptilia	Reptiles	143	124	86,7
- Aves	Aves	280	28	10,0
Mammalia	Mamíferos	37	16	43,2
TOTAL		20 277	8 950	43

Fuente: Cejas y Amaro CeNBio, 2008

Para la flora, se han reconocido los distritos fitogeográficos de mayor endemismo para cada región según Samek, 1973 (tabla 6.3), donde se puede apreciar que el elevado endemismo de nuestra flora está presente en todas las regiones del país.

Los bosques en Cuba, están principalmente representados por formaciones húmedas tropicales, las cuales constituyen parte del límite boreal de la distribución de los bosques húmedos tropicales, en relación con la posición geográfica de Cuba. Estas formaciones boscosas van desde bosques pluviales (selvas) y bosques nublados hasta bosques siempre verdes, humedales y manglares, además también se presentan bosques semidecíduos y pinares (CITMA, 2009).

Los bosques incluyen tanto los no manejados, poco manejados por el hombre, como los intensamente manejados, ejemplo las plantaciones. En este libro se incluye un capítulo especialmente dedicado a los mismos. Tanto los bosques, como la vegetación arbustiva, albergan a la mayoría de la diversidad biológica, endémica o no.

Tabla 6.3. Endemismo vegetal por distritos fitogeográficos seleccionados

DISTRITOS POR REGIÓN	TOTAL (U)	DE ELLO: ESTRICTO	
		Cantidad (U)	(%)
Occidental			
Sierra del Rosario	312	29	9,3
Sierra de los Órganos	249	64	25,7
Arenas Blancas, Pinar del Río	230	43	18,7
Meseta de Cajalbana	207	45	21,7
Central			
Macizo de Guamuhaya	325	83	25,5
Costa Norte Centroriental	237	51	21,5
Llanura Centroccidental	213	13	6,1
Llanura Centroriental	231	20	8,7
Oriental			
Moa-Toa	959	327	34,1
Meseta de Nipe	543	92	16,9
Sierra Cristal	449	60	13,4
Alturas del Pico Turquino	399	131	32,8
Costa de Maisí- Guantánamo	362	79	21,8
Santa Catalina	341	54	15,8

Fuente: Cejas y Amaro CeNBio, 2008

El ecosistema de manglar tiene gran importancia para el país, por la diversidad biológica asociada, los bienes y servicios que presta, así como por su extensión. Los manglares cubanos (figura 6.1) ocupan el 26% de la superficie boscosa del país y el 70% de las costas (Menéndez y Priego, 1994). A escala regional por su extensión este ecosistema ocupa el primer lugar entre los países del Caribe insular (Suman, 1994). Es de destacar también que los cayos e isletas que rodean a la isla de Cuba, están conformados fundamentalmente por manglares, así como en los regímenes estuarios. Este ecosistema es abordado por diferentes capítulos de este libro desde diferentes perspectivas.

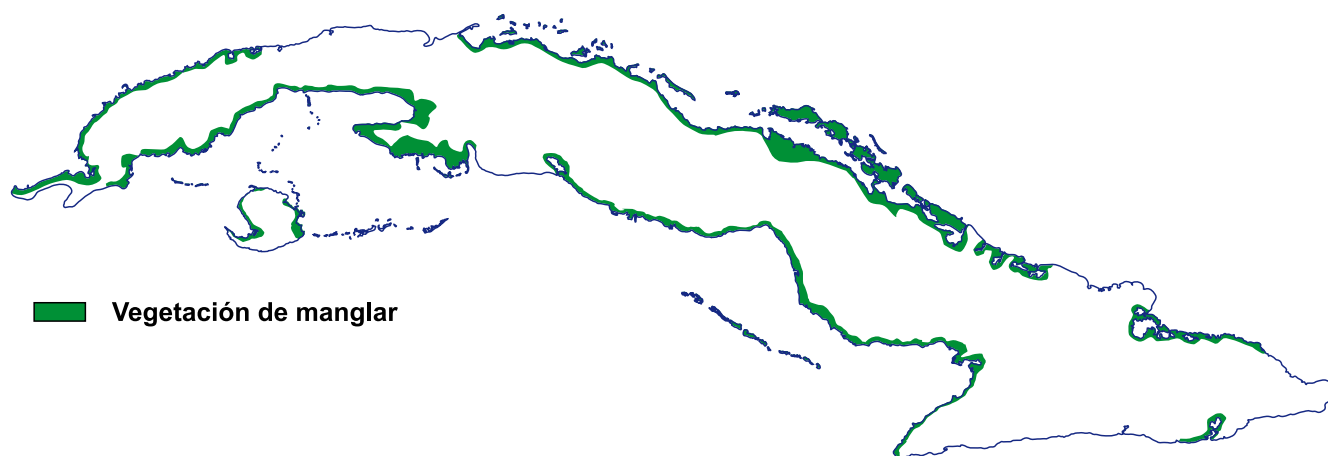


Figura 6.1. Ubicación de los manglares costeros (tomado de CITMA, 2009)

Autores como Menéndez *et al.*, (2003), estimaron que más del 30% de los manglares existentes en Cuba han sido afectados. Estas afectaciones han tenido dos orígenes fundamentales, las causadas por procesos y eventos naturales (fundamentalmente la disminución de la precipitación) y las ocasionadas por la actividad humana (transformaciones del hábitat, contaminación). Mitriani *et al.*, (2000), reconoce a los manglares como uno de los ecosistemas de mayor vulnerabilidad. Suárez *et al.*, (1999), identifica a los ecosistemas costeros cubanos como una de las zonas ecológicamente sensibles asociado a la elevación del nivel del mar y a posibles cambios en la intensidad de algunos eventos extremos, autores como Hernández *et al.*, (2005), consideran controvertibles afectaciones a los mismos proyectados por algunos escenarios.

El país presta gran atención, al fortalecimiento de los bancos de germoplasma y promueve una serie de iniciativas nacionales para la conservación de los recursos genéticos al constituir una riqueza incalculable para el país. Las condiciones climáticas cambiantes que las especies cultivadas deben enfrentar en un futuro próximo pueden requerir un trabajo por los mejoradores para la adaptación de esos cultivos a las nuevas condiciones climáticas. Para el mejoramiento se requiere de nuevo germoplasma compatible con la especie cultivada. En el estudio de caso 6.3.6, que se presenta en este capítulo, los autores discuten la existencia en el país de 750 especies y subespecies de plantas endémicas emparentadas con plantas cultivadas, las que constituyen una potencial riqueza para el país y un medio que brinda la diversidad biológica para que la agricultura pueda adaptarse al cambio climático.

En Cuba, existe una voluntad política de fortalecer las estructuras organizativas y los mecanismos para orientar con pasos seguros el reordenamiento de la conservación

de la diversidad biológica, lo que entraña la aplicación de métodos de conservación tanto *in situ* como *ex situ*. Los primeros representados por el sistema nacional de áreas protegidas, el establecimiento de protección jurídica de especies endémicas, amenazadas y corredores biológicos; y los segundos, representados por colecciones biológicas vivas como arboretos, acuarios, jardines botánicos, museos, bancos de semillas, parques zoológicos, cultivos de tejidos, viveros forestales y las regulaciones para la explotación de recursos naturales, previa evaluación de su potencial, así como la consolidación o creación de redes de conservación *ex situ*.

Con el objetivo de garantizar la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica del país, lo cual está en correspondencia con la *Estrategia Ambiental Nacional* (EAN) 2007-2010, con el *Plan de Acción de la Estrategia Nacional para la Diversidad Biológica* ENBIO 2006-2010, se creó el Sistema Nacional de Áreas Protegidas de la República de Cuba (SNAP).

Durante el año 2008 se ha realizado un exhaustivo proceso de revisión y actualización del SNAP para elaborar el Plan 2009-2013 del referido sistema. Como resultado, se han identificado un total de 253 áreas protegidas; de ellas, 91 de Significación Nacional y 162 de Significación Local.

Según establece el Decreto-Ley 201 de 1999, las categorías de manejo de las áreas protegidas del SNAP son:

1. Reserva Natural (RN).
2. Parque Nacional (PN).
3. Reserva Ecológica (RE).
4. Elemento Natural Destacado (END).
5. Reserva Florística Manejada (RFM).
6. Refugio de Fauna (RF).
7. Paisaje Natural Protegido (PNP).
8. Área Protegida de Recursos Manejados (APRM).

El área que ocupan las 253 áreas del SNAP (figura 6.2) representa el 19,95% del territorio nacional, incluyendo la plataforma insular marina. Del total de la superficie terrestre, queda bajo cobertura de áreas protegidas el 16,85% del territorio nacional.

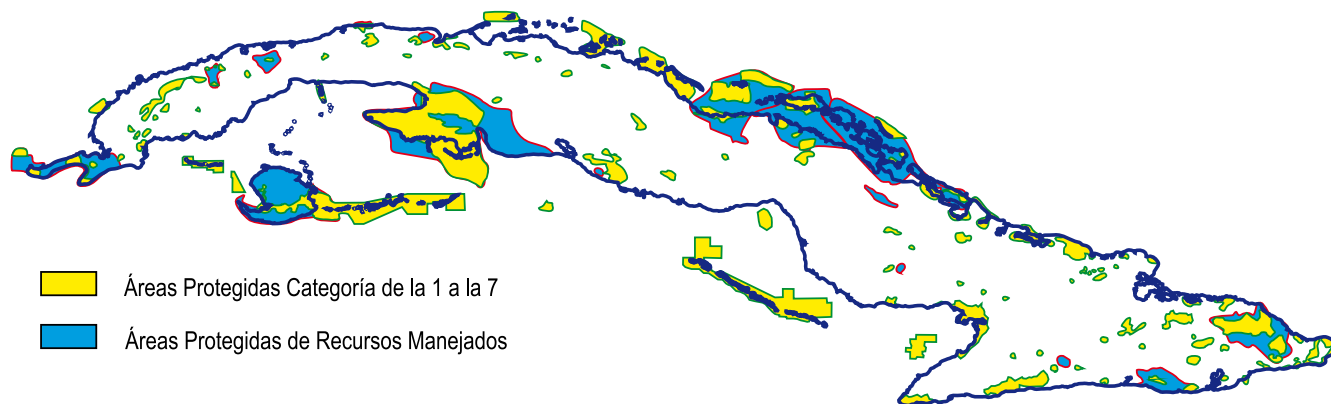


Figura 6.2. Áreas protegidas del SNAP

El sistema brinda cobertura en cuanto a la flora, al 89% de las especies autóctonas; al 85,3% de las especies endémicas y al 77% de las especies amenazadas. Respecto a la fauna, las áreas legalmente aprobadas cubren el 75,1% de los grupos de vertebrados cubanos analizados; el 78,4% de las especies endémicas y el 82,3% de las especies amenazadas.

Existe un grupo de áreas del SNAP (CITMA-2009) que poseen reconocimiento internacional, entre ellas se encuentran:

- Seis Reservas de la Biosfera: Guanahacabibes, Sierra del Rosario, Ciénaga de Zapata, Buenavista, Baconao y Cuchillas del Toa.
- Dos Sitios de Patrimonio Natural de la Humanidad: PN Desembarco del Granma y PN Alejandro de Humboldt.
- Seis Sitios Ramsar: Ciénaga de Lanier y Sur de la Isla de la Juventud; Ciénaga de Zapata; Río Máximo-Camagüey; Gran Humedal del Norte de Ciego de Ávila; Delta del Cauto y Buenavista.

6.3.1.1. AMENAZAS

Entre las principales amenazas actuales y potenciales a la diversidad biológica terrestre y costera cubana identificadas por Vales *et al.*, (1998), están el represamiento de las aguas fluviales; la contaminación por residuos agrícolas, industriales y albañales; la contaminación térmica; la sedimentación provocada por la deforestación y por la minería; la pesca no sostenible; las construcciones costeras; las actividades turísticas no controladas; la explotación no sostenible de organismos de valor ornamental; la captura y comercialización de especies amenazadas, raras, carismáticas o de poblaciones reducidas y la introducción de especies exóticas.

En el IV Informe Nacional al Convenio sobre la Diversidad Biológica (CITMA, 2009), se identificaron como amenazas a la diversidad biológica, por su significado y relevancia nacional e internacional actuales, la fragmentación de hábitats, el cambio climático y las especies exóticas invasoras, de las cuales debemos conocer sus tendencias nacionales de manera priorizada.

Todas las amenazas identificadas por Vales *et al.*, (1998) y CITMA (2009), contribuyen a la pérdida de especies y a la fragmentación de los hábitats. El área de los fragmentos de hábitats se asocia a la capacidad del hábitat para mantener los procesos vitales de la diversidad biológica (Reid *et al.*, 1993). En trabajos realizados por Capote *et al.*, (2006), se encontró que en la cobertura vegetal predomina la fragmentación de mediana a alta, con fragmentos de vegetación de hasta 100 km².

Las Especies Exóticas Invasoras (EEI) constituyen una de las principales amenazas a la diversidad biológica terrestre. En Cuba, el conocimiento sobre las EEI en áreas naturales de importancia para la conservación y su entorno aun es insuficiente y fragmentado; las investigaciones en este sentido han sido esporádicas y las acciones de manejo para la contención, el control y la erradicación han sido puntuales. Actualmente se han identificado diversas EEI que nos están afectando por ser más agresivas y de mayor plasticidad ecológica, por ejemplo el marabú (*Dichrostachys cinerea*) la casuarina o pino de Australia (*Casuarina equisetifolia*) y el Jacinto de agua (*Eichhornia crasipes*). Sobre esta amenaza, la literatura mundial alerta que como consecuencias de los impactos ocasionados por el cambio climático antropogénico puede ampliarse su difusión (CITMA, 2009).

Sobre la amenaza que representa el cambio climático antropogénico para la diversidad biológica, terrestre y costera se ha publicado poco. El primer intento en Cuba, de abordar el estudio de las interrelaciones existentes entre la diversidad biológica cubana y el cambio climático antropogénico, y su adaptación, se presentó en el capítulo 7: Biodiversidad y Vida Silvestre (Suárez *et al.*, 1999), en el marco de los estudios previos sobre vulnerabilidad y adaptación al cambio climático (Gutiérrez *et al.*, 1999). Publicándose un extracto de los resultados obtenidos en la Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático Centella *et al.*, (eds.), 2001. Posteriormente se publicó por Ferrás *et al.*, (1999), un trabajo sobre los impactos del cambio climático proyectados en la flora endémica.

6.3.2. ESCENARIOS CLIMÁTICOS PARA LOS AÑOS 2050 Y 2100

Estas consideraciones son para los escenarios de precipitación estacional y la temperatura anual del Modelo ECHAM-4-A2, para las regiones occidental, central y oriental (tabla 6.4):

- La precipitación tiene una gran variabilidad tanto para 2050 como para 2100; con una tendencia a la reducción, mayor en el año 2100 que en el 2050, aunque en algunas regiones, años y períodos del año la variación de las precipitaciones podía tener valores desde positivos a negativos. En general se evaluó este parámetro como con una tendencia hacia un clima más árido, con mayor intensidad en 2100 que en 2050.
- La temperatura media en °C para ambos períodos del año se incrementa, en un rango entre +1,4 a +2 en el año 2050 y entre +2,6 a + 4,0 para el 2100. Luego podría esperarse un incremento en la evapotranspiración potencial que agravaría la tendencia observada hacia la aridez.
- Se reconoció que los valores de las variables climáticas, temperatura y precipitaciones, son medias para un período de tiempo, y que los organismos individualmente deben enfrentar valores diferentes y durante períodos de tiempo diferentes en su microclima. Los organismos vivos tratan de acomodarse o se trasladan a ambientes más adecuados, siempre que les sea factible, cuando no, pueden llegar a extinguirse.
- Hubo un consenso general de que las salidas brindadas por el Modelo ECHAM-4-A2 son útiles para los especialistas en diversidad biológica terrestre-costera pues indican cómo será el clima futuro y a que debe enfrentarse la biodiversidad durante este siglo (2050 y 2100).
- Se consideró que estos valores están en consonancia con los brindados por la literatura científica mundial. Comentándose que para trabajos futuros serían útiles a los ecofisiólogos obtener otros valores, como los valores medios mínimos y máximos de estas variables y otras variables como la evapotranspiración potencial.
- Recomendando que se instrumente la utilización de los resultados de esta modelación para correr modelos biológicos de envoltura y otros, como se presentan en los casos de estudio terrestres-costeros presentados en la sección 6.3.5.1 de este informe.

Tabla 6.4. Resumen de las salidas de la precipitación media (%) en época de seca y de lluvia y la temperatura media anual (°C) del Modelo ECHAM4-A2 para tres regiones de Cuba para los años 2050 y 2100

ECHAM4 -A2	OCCIDENTE		CENTRO		ORIENTE	
	LLUVIA	SECA	LLUVIA	SECA	LLUVIA	SECA
2050 Precipitación Temperatura	-50,00% +1,4	-20,00% +2	-40 a 40 % +1,4	-30,00% +2x°	-50,00% +1,7	-20 a 10 % +1,6
2100 Precipitación Temperatura	-20 a 20% +2,7	-60,00% +4	-30 a 40% +3,2	-50,00% +2,6	-30,00% +2,9	-30,00% +2,8

Fuente: INSMET

6.3.3. VULNERABILIDAD DE ECOSISTEMAS Y GRUPOS BIOLÓGICOS

Para analizar la vulnerabilidad por los posibles impactos del cambio climático en algunos ecosistemas y grupos biológicos terrestres y costeros del país, una reunión de expertos compartió y debatió sus criterios, experiencias e hicieron recomendaciones para futuras investigaciones. El equipo de expertos reunió a zoólogos, botánicos, ecólogos y ecofisiólogos vegetales.

Los expertos evaluaron la vulnerabilidad de algunos de los grupos biológicos y ecosistemas a impactos ocasionados por la elevación de la temperatura ($\uparrow T$), incremento o decremento de las precipitaciones (ΔP), elevación del nivel del mar ($\uparrow nm$) y eventos climáticos extremos, usando la información brindada por el modelo climático ECHAM (tabla 6.4), como se muestra en la tabla 6.5, los estudios de casos que se adjuntan, así como su experiencia personal sobre la sensibilidad a variaciones en el clima de los ecosistemas y grupos biológicos analizados.

- *Anfibios terrestres y costeros como muy vulnerables* por su elevada sensibilidad a la temperatura, a la aridez y poca capacidad colonizadora.
- *Moluscos terrestres y costeros como muy vulnerables* por ser muy sensibles a decremento de las precipitaciones, poca capacidad colonizadora y determinadas especies costeras por la destrucción de sus hábitats por la elevación del nivel del mar.
- *Reptiles terrestres y costeros como muy vulnerables* por su elevada sensibilidad a la temperatura, a la aridez y determinadas especies costeras por la destrucción de sus hábitats por la elevación del nivel del mar.
- *Aves acuáticas de zonas costeras como muy vulnerables* por su elevada sensibilidad a la destrucción de sus hábitats por la elevación del nivel del mar.
- *Manglares y otros humedales costeros como muy vulnerables* por su sensibilidad a la elevación del nivel del mar y a eventos climáticos costeros (surgencias, huracanes). Su tala y destrucción eleva la vulnerabilidad de todos los sistemas costeros.
- *Bosque nublado típico como muy vulnerable* por reducción de extensión por un aumento de 3 °C de temperatura media, situados a 800 m s.n.m. en la zona de Sierra de Cristal y Macizo del Turquino.

- *Subpáramo (monte fresco) como muy vulnerable*, por reducción de extensión por un aumento de 3°C de temperatura media, situados a 800 m s.n.m. en la zona de Sierra de Cristal y Macizo del Turquino.
- *Semideciduo mesófilo con humedad fluctuante como muy vulnerable* por reducción de extensión por un aumento de 3°C de temperatura media, situados a 800 m s.n.m. en la zona de Sierra de Cristal y Macizo del Turquino.
- *Matorral montano bajo con elementos de pinar como muy vulnerable* por reducción de extensión por un aumento de 3°C de temperatura media, situados a 800 m s.n.m. en la zona de Sierra de Cristal y Macizo del Turquino.

Tabla 6.5. Grado de vulnerabilidad de un grupo biológico o ecosistema terrestre costero de los analizados y la variable o variables que según el estudio determina los impactos.

GRUPO BIOLÓGICO O ECOSISTEMA	VARIABLE	GRADO DE VULNERABILIDAD
Anfibios terrestres y costeros	(↑T), (↓P)	●
Moluscos terrestres y costeros	(↓P), (↑nm.)	●
Reptiles terrestres y costeros	(↑T), (↓P) (↑nm.)	●
Aves acuáticas de zonas costeras	(↑nm.)	●
Bosque nublado típico	(↑T)	●
Subpáramo (monte fresco)	(↑T)	●
Semideciduo mesófilo con humedad fluctuante	(↑T)	●
Matorral montano bajo con elementos de pinar	(↑T)	●
Manglares y otros humedales costeros	(↑nm.)	●

Leyenda:

(↑T); incremento o decremento de las precipitaciones (↑P) o (↓P); elevación del nivel del mar (↑nm.). El grado de vulnerabilidad se evalúa como muy vulnerable rojo; vulnerable amarillo y poco vulnerable verde

El grupo de expertos convocado a la evaluación de la vulnerabilidad de los grupos o ecosistemas, considera que basándose en los resultados obtenidos de los diferentes estudios de casos terrestres y costeros presentados se debe tomar en cuenta para un trabajo futuro algunos de los resultados más relevantes obtenido tales como:

- La biota costera se debe modelar independientemente de la terrestre, pues los factores ambientales, bióticos e históricos que la determinan al menos parecen ser muy diferentes.
- Se debe tener presente en la modelación el importante papel del suelo en la distribución de la biota, en determinados lugares parece que desempeña un papel más importante que el clima y otros factores.
- En los estudios de caso se presentan al menos tres métodos diferentes para modelar los impactos del cambio climático, tanto sobre grupos biológicos como sobre los ecosistemas terrestres y costeros. Se deben emplear estas técnicas en conjunto para modelar grupos y ecosistemas que ya tienen suficiente información sobre su distribución y composición. La información suministrada permitirá una mejor evaluación de la vulnerabilidad de la diversidad biológica.

- Se resaltó la importancia de la necesidad de completar y actualizar las colecciones biológicas, así como las bases de datos alfanuméricas sobre la biota y su ambiente, para poder acometer estos trabajos y las expediciones para verificar los resultados obtenidos.
- Se planteó la necesidad de información bibliográfica actualizada, así como la necesidad de programas de cómputo para esta tarea.

6.3.4. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Conjunto de medidas identificadas para la adaptación al cambio climático antropogénico de la diversidad biológica terrestre y costera.

- Incorporar al Sistema Nacional de Áreas Protegidas los resultados sobre la vulnerabilidad de grupos biológicos y ecosistemas sensibles al cambio climático.
- Identificar otros grupos biológicos y ecosistemas sensibles al cambio climático empleando los métodos y técnicas apropiadas.
- Promover la conservación y recuperación (con especies nativas) de los humedales costeros, en primer lugar los manglares, como las defensas naturales de las costas ante impactos originados por el cambio climático antropogénico. Crear campañas de concientización de su importancia y valor entre la población local, dirigentes y los gobiernos locales, decisores políticos.
- Promover la conservación y utilización por los seleccionadores de los recursos genéticos emparentados con especies cultivadas (fundamentalmente los endémicos cubanos) para asegurar promover la seguridad alimentaria.
- Promover la cuantificación de los bienes y servicios que brinda la diversidad biológica para alertar sobre las pérdidas que ocasionan su deterioro y el beneficio económico que brinda su conservación o uso sostenible.
- Incrementar las bases de información sobre la diversidad biológica y de las características del ambiente en que se desarrollan, así como completar los inventarios de los recursos biológicos pues constituyen las bases fundamentales para el desarrollo de las investigaciones para conocer el impacto del cambio climático sobre la misma.
- Promover el uso sostenible y la conservación de la diversidad biológica. Fortalecer el SNAP y los centros de investigación sobre la misma.
- Incluir los posibles impactos del cambio climático sobre la diversidad biológica en los planes de manejo de las áreas protegidas y en las futuras evaluaciones de impacto para las nuevas inversiones.

6.3.5. ESTUDIO DE CASOS DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA TERRESTRE COSTERA

6.3.5.1. ANFIBIOS DEL GÉNERO *ELEUTHERODACTYLUS*

Para evaluar el efecto del cambio climático sobre las especies cubanas de anfibios del género *Eleutherodactylus*, se emplearon modelos de máxima entropía para explorar la relación entre su distribución geográfica y el clima actual, y proyectar su distribución potencial en el futuro, según el escenario de cambio climático A2.

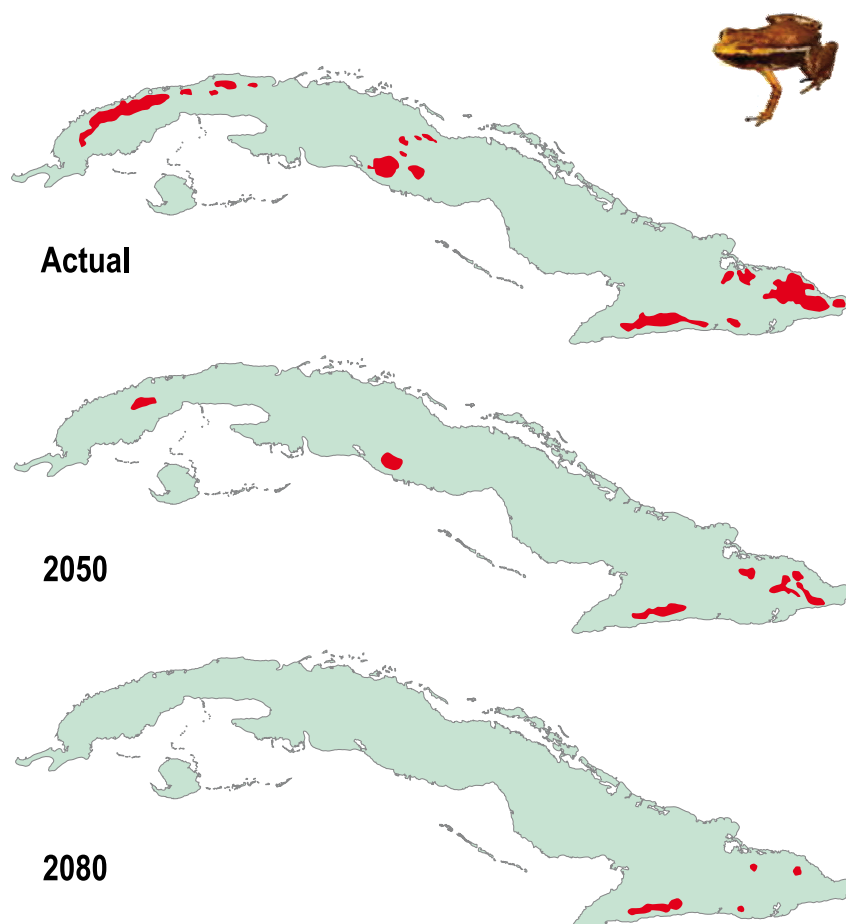


Figura 6.3. Cambios en la distribución geográfica de *Eleutherodactylus limbatus* producto del cambio climático. Se ilustran la distribución presente y las proyecciones para el clima del 2050 y 2080, estimadas a partir de modelos de máxima entropía

Se empleó el software MaxEnt y un conjunto de 19 variables bioclimáticas (con una resolución de 1 km²) para desarrollar modelos de distribución de las especies a partir del método de máxima entropía y empleando, como información de base, 1 157 registros de presencia de las especies. Se obtuvieron modelos con buena capacidad predictiva (AUC: 0,97-0,86) para 32 especies. Los modelos de distribución obtenidos fueron proyectados hacia el clima estimado para 2050 y 2080 según el escenario A2 de cambio climático.

Los resultados indican que 30 de las especies disminuirán su rango de distribución en un promedio de 85% para el 2050 y un 97% para el 2080. Por ejemplo, las áreas de distribución geográfica de *Eleutherodactylus limbatus* se reducirán progresivamente hasta quedar restringidas a las zonas montañosas más altas del oriente de Cuba (figura 6.3). Siete de ellas: *E. glamyrus*, *E. cubanus*, *E. albipes*, *E. jaumei*, *E. maestrensis*, *E. melacara* y *E. turquinensis*, pudieran desaparecer totalmente en el 2050 y otro grupo de 11 especies se extinguirán en el 2080. Las zonas donde se prevé un mayor número de extinciones para el 2080 se ubican en la Sierra del Rosario y la cordillera Nipe Sagua-Baracoa, donde podrían desaparecer entre 10 y 13 especies (figura 6.3). Solo dos especies, *E. thomasi* y *E. guanahacabibes*, podrían aumentar su distribución como consecuencia de cambio climático.

6.3.5.2. AVIFAUNA ACUÁTICA ASOCIADA A ECOSISTEMAS COSTEROS

Las áreas consideradas con altos niveles de inundación costera, en las que se ha previsto una importante reducción de sitios de alimentación y reproducción para las aves son: Ciénaga de Zapata, Ciénaga de Birama, Refugio de Fauna Río Máximo y Archipiélago de Sabana-Camagüey. Estas áreas son consideradas sitios de relevante importancia para la conservación de la avifauna acuática en el territorio cubano, en las que se registran durante el verano más de 200 000 parejas nidificantes, pertenecientes a 46 especies, y cientos de miles de individuos de 67 taxones migratorios, que residen o transitan cada año desde el otoño hasta la primavera en el país. Estas afectaciones se producen en 10 de las 14 áreas protegidas de significación nacional y 4 de significación local, que a su vez cubren territorios de 10 áreas Importantes para las aves (IBAs-Cuba) y cinco Sitios Ramsar establecidos entre el 2001 y 2010.

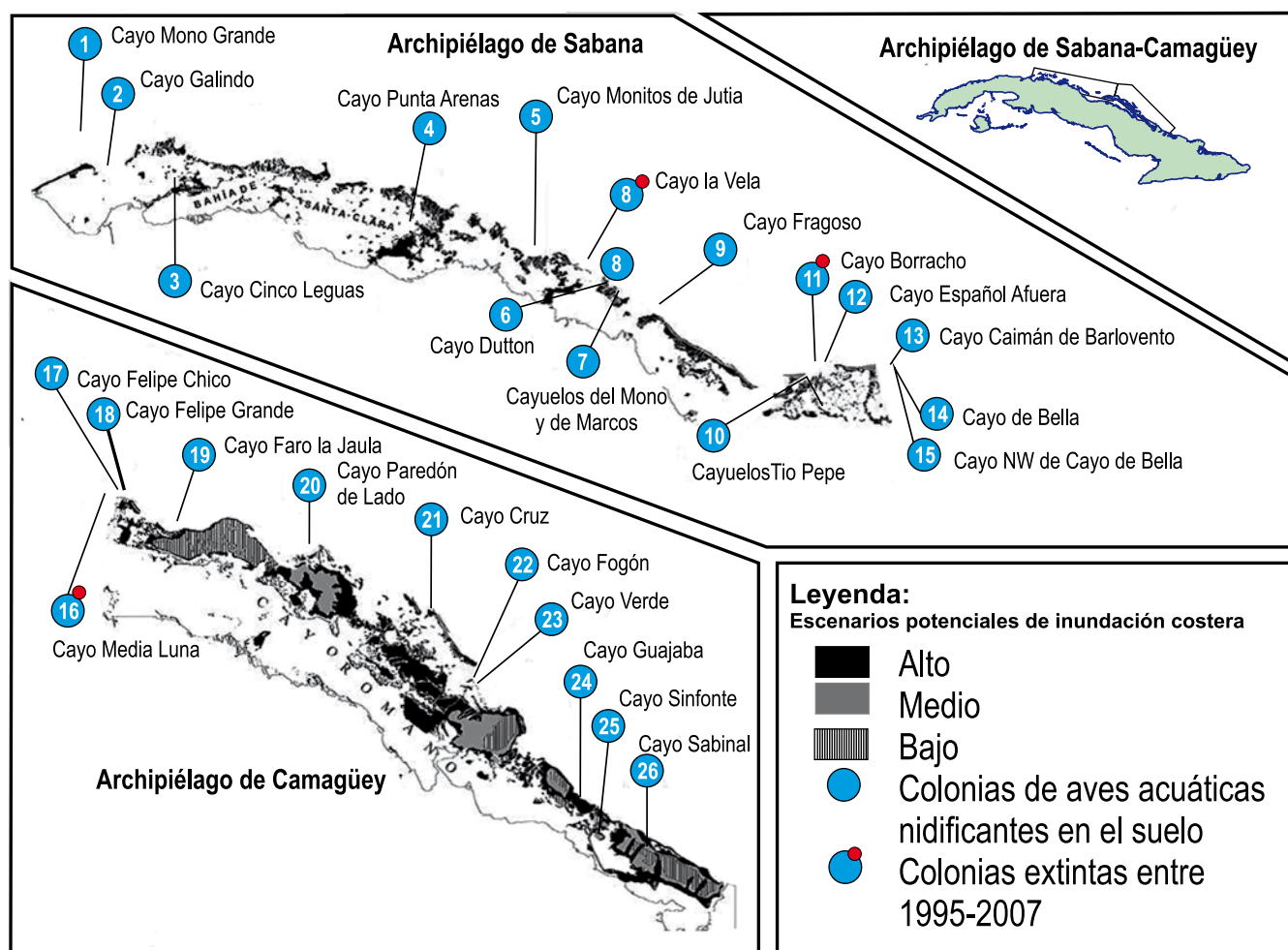


Figura 6.4. Distribución de sitios de reproducción colonial de aves acuáticas y marinas de las familias Laridae y Phoenicopteridae sobre los escenarios potenciales de inundación en el Archipiélago de Sabana-Camagüey presentados por Rodríguez *et al.* (2008)

El mayor impacto del cambio climático se prevé en la avifauna nidificante en el Archipiélago de Sabana Camagüey, donde se localiza cerca del 60% del número total de sitios de reproducción de aves marinas y acuáticas registradas en el país y donde existe una especial preocupación por el riesgo que corren 12 especies coloniales nidificantes en el suelo, de los órdenes Caradriformes y Phoenicopteriformes, como consecuencia de la inundación marino costera vinculada al ascenso del nivel medio del mar. Se ha valorado que las afectaciones por cambio climático en las poblaciones reproductoras de aves coloniales nidificantes en el suelo en el Archipiélago de Sabana-Camagüey, y en particular en colonias de especies de la familia Laridae, tendrán implicaciones regionales; debido a que más del 90% de los individuos que se reproducen en esta región corresponden a taxones migratorios que arriban al país durante la primavera procedentes de varias áreas del Caribe y zonas costeras del norte de América del Sur.

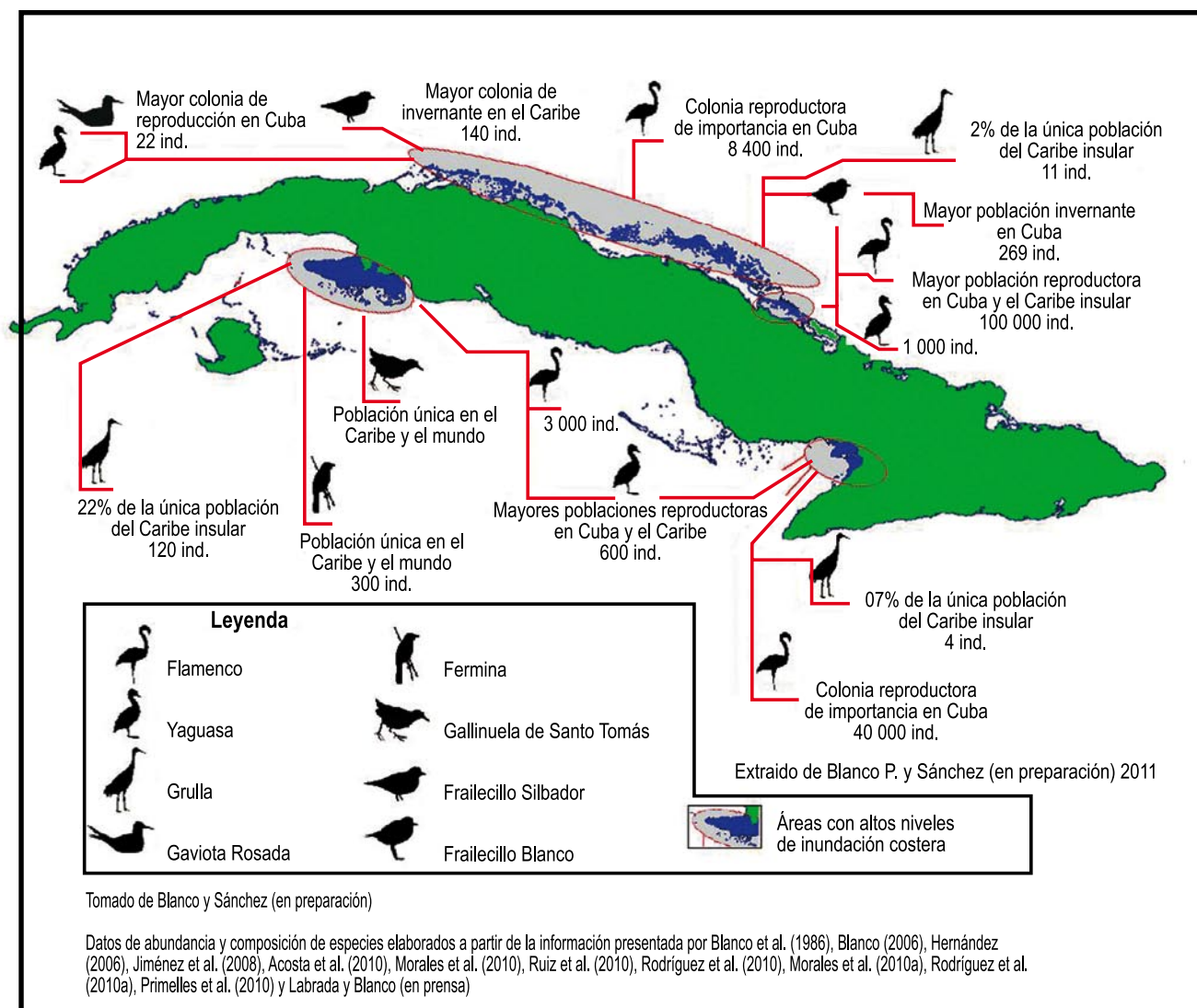


Figura 6.5. Distribución de especies en áreas costeras de Cuba de gran valor dado su tamaño poblacional, exclusividad o restringida localización a escala regional del Caribe para altos niveles de inundación marina para el año 2100

Las variaciones en los patrones de abundancia y distribución de las comunidades de aves acuáticas asociadas a ecosistemas costeros cubanos por los efectos del cambio climático, será un indicador fundamental sobre cambios en el funcionamiento de estos como sitios de alimentación, reproducción y refugio invernal para las aves. Lo cual tendrá importantes implicaciones en la abundancia poblacional y diversidad de la avifauna acuática de la región del Caribe y el hemisferio occidental, dado el considerable número de individuos migratorios que emplean el territorio cubano para nidificar e invernar durante las épocas de verano e invierno.

Los cambios en la estructura y deterioro en el funcionamiento de algunos hábitats costeros que sirven para el refugio, la alimentación y la reproducción de las aves, vinculados a la ocurrencia de impactos climáticos, podrían traer graves y costosas consecuencias a la aviación (aeropuertos y rutas aéreas); la salud humana y animal (introducción de enfermedades y plagas); acuicultura y agricultura (usadas por las aves como fuente de alimentación); turismo de naturaleza y caza deportiva (reducción o desaparición de lugares y especies de su interés) y ambientales (reducción de la diversidad biológica existente y de los servicios que presta).

6.3.5.3. REPTILES

En general, los reptiles no pueden controlar internamente su temperatura corporal, para lo que se valen de mecanismos conductuales como el asoleamiento o posición sobre lugares previamente calentados por el sol. Cada especie tiene un entorno de temperatura necesaria para alimentarse y reproducirse. Por otro lado, necesitan sitios húmedos donde depositar los huevos, en los que la temperatura para la incubación no debe pasar de límites determinados. Es evidente que con las estimaciones climáticas para el futuro, la diversidad de reptiles se verá alterada, la dependencia de ellos de la temperatura y la humedad para su supervivencia y por el aumento del nivel medio del mar que afectará a muchos de sus hábitats actuales.

Al menos, 47 especies y 14 subespecies de reptiles endémicos cubanos son vulnerables ante los efectos del cambio climático, debido al aumento de la temperatura, la disminución de las precipitaciones, la elevación del nivel medio del mar o las surgencias al paso de los huracanes:

- El aumento de la temperatura ambiental podría alterar la reproducción de jicoteas y cocodrilos, ya que el sexo de los embriones depende de la temperatura, si es más alta de la normal nacen solo hembras de jicoteas y solo machos de cocodrilos.
- En el occidente, *Anolis vermiculatus* (lagarto caimán), habita en la Cordillera de Guaniguanico en un rango de temperatura entre 25,5 y 27,2 °C. Especies endémicas de lagartos, como *Anolis mestrei* y *Chamaeleolis barbatus*, cuyas temperaturas medias corporales son de 27,5 y 27,3 °C y *Anolis barstchi*, con temperatura del aire entre 24,2 y 26,6 y corporal entre 24,3 y 27,2 °C; la culebrita ciega *Typhlops golyathi* que habita en farallones donde la temperatura del aire varía entre 15 y 29 °C. Son vulnerables al aumento de la temperatura y a la disminución de las precipitaciones lo mismo el lagarto *Anolis allogus* que, aunque no es endémico de la Cordillera, habita en sus bosques más húmedos, donde su temperatura corporal media es de 26,9 °C. En cuanto al efecto de las surgencias, la zona baja de la Península de Guanahacabibes y ciénaga oriental de la Península de Zapata, son las más proclives a la afectación de reptiles. En el primer caso, las tortugas

marinas (*Caretta caretta*, *Chelonia mydas* y *Eretmochelys imbricata*), pierden sitios importantes de anidación; y una de las dos especies endémicas, el majasito *Tropidophis xanthogaster*, que vive en cuevas muy cercanas a las costas, puede perder su hábitat al ser inundado con agua salada. Dos especies endémicas de Zapata, la salamanzquita *Sphaerodactylus richardi* y la culebrita *Arrhyton procerum*, habitan en la manigua costera muy cerca de Playa Girón, por lo que pueden desaparecer por causa de los valores altos de surgencia de la región.

- En el centro del territorio nacional, los lagartos endémicos del bosque húmedo de las Montañas de Guamuhaya son sensibles al aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación, pues todos viven a la sombra y en los lugares más húmedos: *Anolis ahli*, *A. delafuentei*, *A. vanidicus*, *A. garridoi* y *Chamaeleolis guamuhaya*. Otras especies que viven en lugares húmedos, restringidas a la sombra, son los lagartos *Anolis allogus* y *A. isolepis*, y los majasitos *Tropidophis glacialis* y *T. hardyi*. El efecto de las surgencias más importante se registraría en los cayos del Archipiélago de Sabana-Camagüey. En cayo Francés habita una especie endémica, el chipoyo enano *Anolis pigmaequestrus*; el cayo tiene un área de 6,22 km² y quedaría prácticamente bajo el agua salada con el paso de huracanes de categoría 5 y dirección este, sureste o suroeste. Existen 14 subespecies endémicas de diferentes cayos de este archipiélago: Las Brujas, Francés, Santa María, La Vela, Bahía de Cádiz, Coco, Guillermo, Ensenachos, Lanzasillo, Caimán Grande y Sabinal, las inundaciones con agua salada debidas a los huracanes ocasionaría la pérdida de algunas o todas estas subespecies.
- En la región oriental se encuentran los valores más altos de diversidad y endemismo de reptiles; la mayor parte de ellos habita en los bosques húmedos siempreverdes y nublados de la Sierra Maestra y del Macizo de Nipe-Sagua-Baracoa. La disminución de la precipitación y el aumento de la temperatura, afecta notablemente las características de la vegetación de estos lugares. En la Sierra Maestra se hallan los lagartos endémicos *Anolis altitudinalis*, *A. clivicola*, *A. guazuma*, *A. incredulus*, *A. oporinus* y *A. rejectus* y las salamanzquitas *Sphaerodactylus cricoderus* y *S. pimienta*. En el Macizo de Nipe-Sagua-Baracoa viven los lagartos endémicos *Anolis alfaroi*, *A. macilentus*, *A. vespertinus*, *A. fugitivus* y *A. toldo*, la salamanzquita *Sphaerodactylus bromeliarum*, la culebrita *Arrhyton supernum* y el majasito *Tropidophis fuscus*. Asimismo, en ambos sistemas montañosos coexisten otras especies endémicas, como *Anolis allogus*, que solo se halla en los bosques húmedos de las mayores alturas de Cuba. Diversos reptiles en esta región cuyo hábitat está ubicado cercano a la costa son sensibles al incremento del nivel del mar y de los eventos de surgencias.

6.3.5.4. MANGLARES

Los manglares constituyen una parte importante de los humedales costeros, conformando una barrera con importantes funciones, entre las que se destaca la protección de las costas. La función protectora de los manglares se dimensiona ante la elevación del nivel medio del mar debido al cambio climático.

Se ha determinado la capacidad de protección de los bosques de mangles de Cuba por tramos o sectores costeros, como elementos de atenuación al oleaje y las inundaciones producidas por marejadas o eventos meteorológicos extremos. Para

ello, a partir del mapa del estado de salud de los manglares y la estimación del ancho de la franja que ocupa este tipo de vegetación, se elaboró una matriz que permitió evaluar la función protectora del manglar ante oleajes e inundaciones (tabla 6.6). La tabla 6.7 muestra las categorías de protección por los manglares de las costas cubanas (figura 6.6).

Tabla 6.6. Categorías y valores de protección de la franja de manglares a la costa

PROTECCIÓN DE MANGLARES A LA COSTA	VALOR
Muy Alta	5
Alta	4
Media	3
Baja	2
Muy baja	1

Tabla 6.7. Tramos de costas de la isla de Cuba y la Isla de la Juventud con categorías de protección de los manglares expresados en km

CATEGORÍAS DE PROTECCIÓN	km	%
Muy Alta (5)	198,6	3,21
Alta (4)	1 847,2	29,89
Media (3)	2 552,6	41,30
Baja (2)	1 581,22	25,58

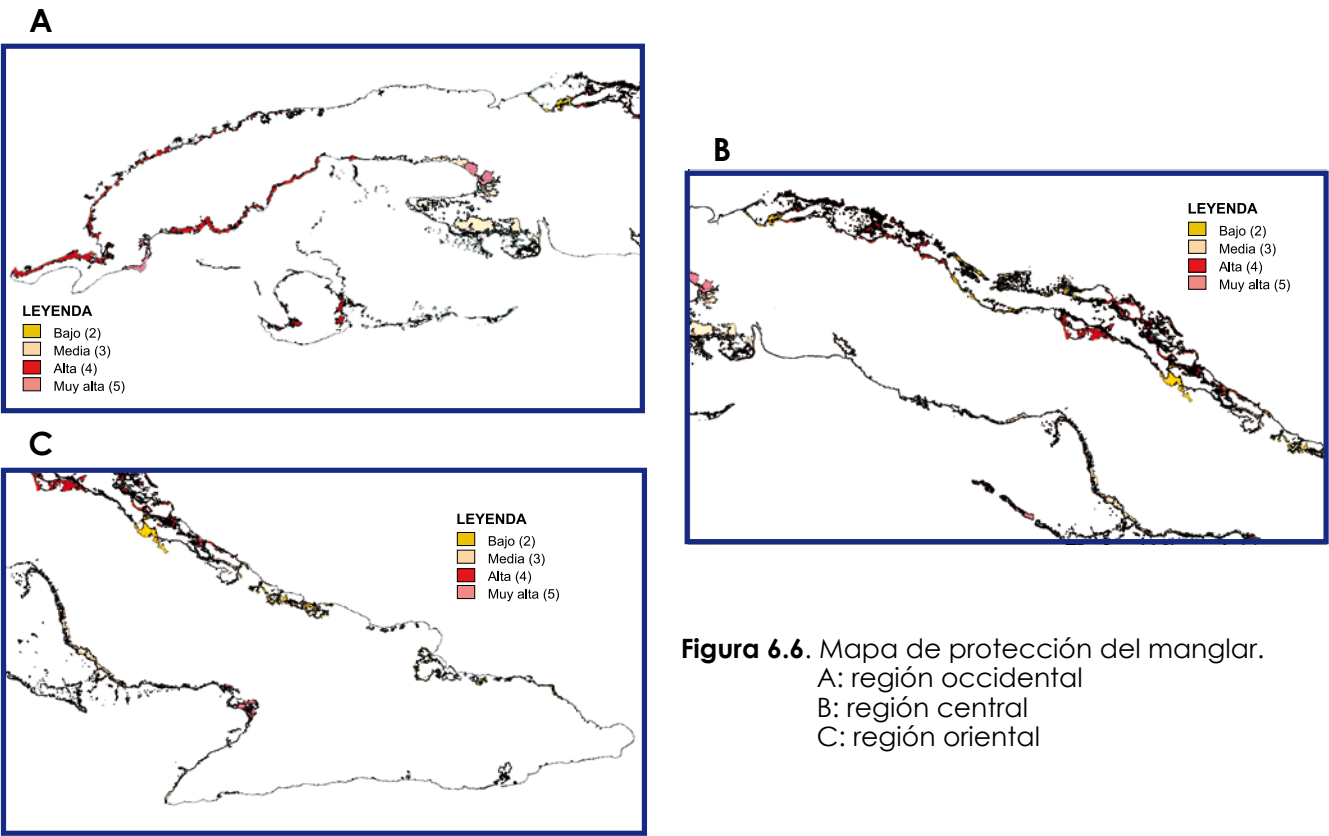


Figura 6.6. Mapa de protección del manglar.
A: región occidental
B: región central
C: región oriental

Este caso de estudio sugiere la importancia que reviste para la protección costera ante la elevación media del mar o eventos extremos la conservación y/o reconstrucción de esta defensa natural que protege las costas.

6.3.5.5. FORMACIONES VEGETALES Y EL AUMENTO DE LA TEMPERATURA

La diversidad biológica, aparte de los factores históricos, es también un resultado de la diversidad de los factores abióticos y de las condiciones ecológicas. Por ello, este estudio de caso modela el comportamiento que tendrían determinadas formaciones vegetales, si ocurriera un aumento de 3 °C en la temperatura media del aire, con el mismo régimen de precipitación y considerando que no existirán alteraciones bruscas en el suelo y en la altitud. Como área de estudio se escogió, en las provincias orientales, aquellas zonas situadas a más de 800 m s.n.m., donde la precipitación oscila entre 1 800 y 2 600 mm, la temperatura de menos de 16 a 24 °C, y los suelos son pardos, ferralíticos y fersialíticos. Estas áreas se ubican hacia el Macizo del Turquino y la Sierra de Cristal:

- *Bosque pluvial submontano bajo*: típico de las Sierras Cristal, Moa y Nipe, se establece bajo condiciones ecológicas muy húmedas, sobre suelo muy friable, que facilita la percolación del agua y el escurrimiento subsuperficial. Un aumento de la temperatura del aire, con el consiguiente incremento de la evaporación, incidiría en la descomposición acelerada del sustrato orgánico del suelo y el aumento de la erosión, afectando las características del suelo antes mencionadas. Esto puede conducir a la desaparición de algunas áreas, produciéndose un obstáculo para la migración de especies tropicales y pueden ocurrir cambios en la composición florística hacia las zonas más elevadas, sobre todo en el noroeste de la región oriental, disminuyendo también las especies que requieren menores temperaturas del aire.
- *Bosque pluvial montano alto*: la modelación estima que ocupará áreas de otras formaciones, donde la temperatura sea de 16 a 23 °C. Por ejemplo, en el Macizo del Pico Turquino, pasa a ocupar parte de las zonas ocupadas por el bosque nublado.
- *Bosque nublado típico*: se ubica en alturas por encima de 900 a 1 900 m s.n.m., con precipitaciones entre 1 800 y 2 200 mm, temperaturas menores a 16 °C y suelo fersialítico. Con un clima más cálido, las especies del bosque nublado en el Macizo del Turquino, tenderán a desplazarse hacia elevaciones superiores. Con ello sufrirán una restricción en área, lo que les hará más vulnerables a las presiones genéticas y medio ambientales. Especies como *Weinmania pinnata*, *Torrallasia cuneifolia* y *Garrya fadyenii*, presentes también en las pluvisilvas y en algunos matorrales, superarán las tolerancias fisiológicas extremas; mientras otras especies, originalmente situadas cerca de las cimas, así como algunas lianas y epífitas, no encontrarán hacia donde desplazarse, y serán sustituidas por las especies relativamente termófilas provenientes de alturas inferiores. Este ecosistema es el más vulnerable de la región en estudio, porque un desplazamiento vertical de 200 m y un incremento en la temperatura del aire de hasta 2 °C, sería suficiente para reducir drásticamente su extensión y dar lugar incluso a extinciones locales.
- *Subpáramo (monte fresco)*: se localiza en áreas expuestas a la acción del viento y con baja pluviosidad; en la zona de condensación de nubes en el Macizo del Pico Turquino. Como las otras especies, pueden desplazarse tanto en altitud, y similar al caso anterior, con un aumento de temperatura, las tenderán a buscar su entorno climático óptimo, restringiendo su área de distribución en los lugares

donde las condiciones se convierten en inadecuadas, que posiblemente pasen a ser ocupadas por especies típicas de pluvisilva, para las que dichas condiciones mejoran.

- *Bosque de pinos*: presente tanto en el Macizo del Pico Turquino como hacia el noreste de la región oriental. Dicha formación también sufriría una restricción del areal como consecuencia del aumento de la temperatura y de la desecación asociada.
- *Complejo de vegetación de mogote*: formación establecida bajo condiciones extremas, en cimas y zonas muy áridas expuestas al sol; un aumento en la temperatura no cambiaría forzosamente sus necesidades fisiológicas, por lo que debe mantener su estructura; mientras que las especies de pluvisilva, localizadas en las laderas con sombras y hoyos, la temperatura se mantendría dentro de sus rangos de tolerancia.
- *Bosque siempreverde mesófilo submontano*: está también entre las formaciones vegetales que menos variación presentarían con el incremento en temperatura del aire.

La tabla 6.8 contiene una comparación entre la distribución bioclimática actual de las formaciones vegetales analizadas y la futura como consecuencia del cambio climático, bajo las condiciones establecida en este estudio de caso para la modelación.

Tabla 6.8. Área de distribución actual: prevista y diferencia entre la distribución, de las formaciones vegetales presentes en Cuba oriental, en áreas con las siguientes características (temperatura media anual actual menor de 24 °C, precipitación media anual actual entre 1 600 y 2 400 mm, suelos ferralíticos, fersialíticos o pardos y altitud mayor de 800 m)

FORMACIÓN VEGETAL	ÁREA (km ²)		
	ACTUAL	PREVISTA	DIFERENCIA
Pluvial submontano bajo (400 - 800 m)	3,80	4,20	0,40
Pluvial montano alto (800 -1 600 m)	230,51	234,68	4,17
Nublado típico (1 600 -1 900 m)	26,30	22,34	- 3,96
Subpáramo (Monte fresco)	3,23	2,97	- 0,26
Complejo de vegetación mogote	0,09	0,09	00,00
Semideciduo mesófilo con humedad fluctuante	12,61	11,43	-1,18
Vegetación segetal	3,74	3,73	- 0,01
Sabanas seminaturales	32,68	32,68	0,00
Vegetación secundaria	12,55	13,78	1,23
Siempreverde mesófilo submontano (400 - 800 m)	102,73	110,03	7,30
Pinar con <i>Pinus maestrensis</i>	22,72	22,72	00,00
Matorral montano bajo con elementos de pinar	7,70	00,00	- 7,70

6.3.5.6. RECURSOS GENÉTICOS DE ENDEMISMOS EMPARENTADOS CON PLANTAS CULTIVADAS EN CUBA

Las fuentes genéticas disponibles están limitadas, por lo que la agricultura ha tenido que recurrir cada día más a las plantas silvestres y a las variedades locales como fuentes principales de genes. Las condiciones históricas en que evolucionó la biota cubana, propiciaron la aparición de una flora con gran capacidad para resistir condiciones ambientales extremas, por lo que las especies autóctonas constituyen un importante recurso genético para el mejoramiento de los cultivos, contribuyendo de modo significativo a aumentar la adaptación de la agricultura al cambio climático.

En Cuba se utilizan solo una pequeña cantidad de especies autóctonas en las actividades agropecuarias y forestales, mientras que la mayoría de las más de 6 000 especies de plantas superiores que conforman la flora, con más del 50% de endemismo, han permanecido como algo inútil o en el peor de los casos molesto a la agricultura. La papa (*Solanum tuberosum* L.), uno de los cultivos fundamentales del país, es un ejemplo notable de esta situación. En el país no existen variedades de papa que alcancen los volúmenes de productividad que se logran en otros países (Torres, 1985); sin embargo, hasta el momento no se han utilizado para su mejoramiento ninguna de las 32 especies cubanas del género.

Se han identificado en el país cerca de 750 taxones infragenéricos (especies y subespecies), correspondientes a 113 géneros y 60 familias, lo que constituyen alrededor del 25% del total de las especies de fanerófitas endémicas cubanas emparentadas con plantas cultivadas. Las familias más representadas a nivel de género son (tabla 6.9): Fabaceae (14), Poaceae (8), Euphorbiaceae (7) y Asteraceae y Myrtaceae con cinco géneros cada una. A nivel de especies, las familias más representadas son Myrtaceae (112) Euphorbiaceae (99), Asteraceae (56), Piperaceae (46) y Fabaceae (45). De las cuatro grandes familias con especies cultivadas a nivel mundial (Poaceae, Fabaceae, Rosaceae y Solanaceae) solo Fabaceae se encuentra entre las más representadas en Cuba a nivel de especie. A los géneros de Fabaceae y Poaceae presentes en Cuba pertenecen fundamentalmente especies de pastos y forrajeras: Acacia, Albizia, Caesalpinia, Crotalaria, Eritrina, Mimosa, Pithecellobium en el caso de la primera familia y Andropogon, Cenchrus, Chloris, Digitaria, Eragrostis, Eriochloa, Panicum y Setaria.

La conservación de estos recursos genéticos puede representar una riqueza incalculable para el país. Las condiciones climáticas cambiantes que las especies cultivadas deben enfrentar en un futuro requerirán de un trabajo por los mejoradores para la adaptación de esos cultivos a las nuevas condiciones climáticas. Para el mejoramiento se requiere de nuevo germoplasma compatible con la especie cultivada. Poseer 750 especies y subespecies de plantas endémicas emparentadas con plantas cultivadas, constituye una potencia riqueza para el país y un servicio de la diversidad biológica para la adaptación de la agricultura al cambio climático.

6.3.5.7. HONGOS DE LA FAMILIA MELIOLACEAE (ASCOMYCOTA), PREDICTOR DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para los hongos la aplicación de modelos predictivos tales como: técnicas de envolturas y perfiles climáticos (climate envelopes and profiles), para el diagnóstico del impacto del cambio climático en la distribución futura de especies, se dificulta por depender grandemente la distribución de estos organismos de factores microclimáticos y del sustrato en que se desarrollan.

Tabla 6.9. Algunos géneros de plantas que presentan endemismos cubanos, y a su vez tienen plantas cultivadas

GÉNERO	PLANTA CULTIVADA
Acacia (Fabaceae)	Acacia
Agave (Agavaceae)	Henequén
Annona (Annonaceae)	Chirimoya, Guanábana, anón
Calophyllum (Clusiaceae)	Ocuje
Coccoloba (Polygonaceae)	Uva caleta
Copernicia (Arecaeae)	Yarey, Jata
Cordia (Boraginaceae)	Ateje, Baría
Crescentia (Bignoniaceae)	Güira
Cyperus (Cyperaceae)	Papiro
Dioscorea (Dioscoreaceae)	Ñame
Dracaena (Dracaenaceae)	Drago
Erythroxylum (Erythroxylaceae)	Coca
Eugenia (Myrtaceae)	Pitanga
Ficus (Moraceae)	Jagüey, Higo
Hibiscus (Malvaceae)	Marpacífico, Flor de Jamaica
Indigophera (Fabaceae)	Indigo
Ipomoea (Convolvulaceae)	Boniato
Jatropha (Euphorbiaceae)	Piñón botija
Juglans (Juglandaceae)	Nogal
Juniperus (Cupressaceae)	Enebro, Sabina
Linum (Linaceae)	Lino
Manilkara (Sapotaceae)	Zapote
Morinda (Rubiaceae)	Noni, Garañón
Opuntia (Cactaceae)	Tuna
Panicum (Poaceae)	Hierba de Guinea
Passiflora (Passifloraceae)	Maracuyá
Persea (Lauraceae)	Aguacate
Piper (Piperaceae)	Pimienta
Portulaca (Portulacaceae)	Verdolaga
Pouteria (Sapotaceae)	Mamey
Psidium (Myrtaceae)	Guayaba
Quercus (Fagaceae)	Encino
Rubus (Rosaceae)	Frambuesa
Solanum (Solanaceae)	Papa
Terminalia (Combretaceae)	Almendro de la India
Vanilla (Orchidaceae)	Vainilla
Xanthosoma (Araceae)	Malanga
Zanthoxylum (Rutaceae)	Ayúa

Otra técnica empleada es trabajar con especies con requerimientos estrechos de hábitat y recursos, y una biología inflexible, ya que son más vulnerables a cualquier cambio ambiental y por lo tanto serán las más sensibles al cambio climático. Por lo que se propone trabajar con la familia de hongos Meliolaceae (división Ascomycota), que comprende a especies parásitas de las plantas con alta afinidad hacia el hospedero, parasitando en muchos casos una sola especie de planta. En Cuba una buena parte de las especies de melioláceas descritas parasitan a plantas endémicas, algunas de las cuales tienen una distribución restringida, por lo que son vulnerables a cambios como la elevación de la temperatura o la variación del régimen de precipitaciones.

La determinación de los patrones climáticos de distribución de las plantas hospederas (y por tanto de sus parásitos) se hizo con los resultados del modelo PRECIS de las variables climáticas: Temperatura Media anual (Tmed), Temperatura Mínima anual (Tmin), Temperatura Máxima anual (Tmax), Humedad relativa (Hrel), Velocidad del viento (Velv), Precipitaciones anuales (Pmm) y Presión atmosférica (Hpa). Para relacionar

las localidades de colecta con las variables, se realizó un análisis de correspondencia canónico; porque permite inferir patrones climáticos de la distribución de especies vegetales y las melioláceas asociadas a ellas, de gran utilidad para la predicción del efecto del cambio climático en la distribución futura de dichas especies. Este método da la posibilidad de trabajar con la predicción de los impactos del cambio climático en la distribución de los hongos en el país.

En el análisis se muestran tres grupos de especies: el primero está determinado por valores bajos de **Hpa**, en el cuadrante inferior izquierdo y está formado por especies que parasitan plantas que viven en lugares montañosos, lo cual explica su posición en el gráfico opuestas a la presión atmosférica que está inversamente relacionada con la altura. Un segundo grupo se forma en el cuadrante superior derecho y parece estar condicionado por valores bajos de **Hrel**. El tercer grupo se encuentra en el cuadrante inferior derecho y presumiblemente responde a valores altos de **Tmin** y bajos de **Tmax**, es decir a localidades con poca amplitud térmica (figura 6.7).

El tercer eje canónico, está relacionado con las variables **Tmed**, **Tmax** y **Pmm** (figura 6.8). El efecto de estas variables nos permiten explicar el agrupamiento de las especies *Meliola acristae* e *Irenopsis comocladiae* (cuadrante superior izquierdo), cuyos hospederos son *Copernicia gigas* y *Comocladia intermedia*, especies de lugares abiertos con valores bajos de humedad relativa y altos de la temperatura media. La posición en el gráfico de *M. magnoliae* (MELMAG), está determinado por la influencia de las variables de presión atmosférica y precipitaciones. Su hospedero, *Magnolia cubensis*, se encuentra en las montañas lluviosa de Baracoa y Guamuahaya.

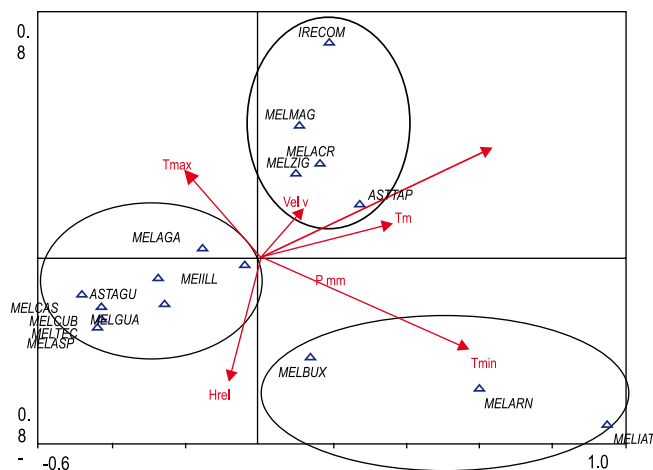


Figura 6.7. Análisis de correspondencia canónico, Ejes 1 y 2. Hpa: presión atmosférica, Hrel: humedad relativa, Tmin: temperatura mínima, Tmax: temperatura máxima, Tm: temperatura media, Pmm: precipitaciones, Velv: velocidad del viento

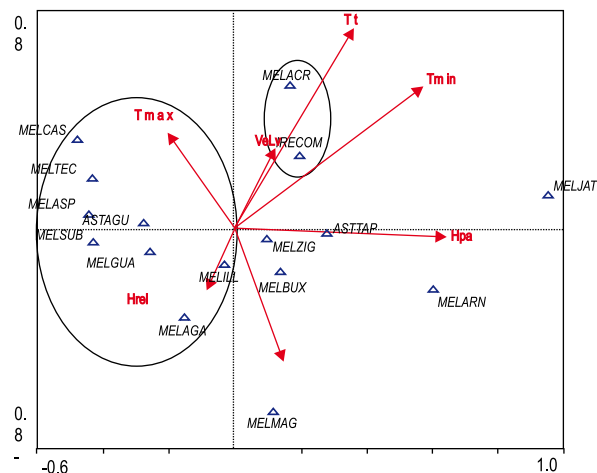


Figura 6.8. Análisis de correspondencia canónico, Ejes 1 y 3

Los resultados de este análisis nos permiten inferir patrones climáticos de la distribución de especies vegetales y las melioláceas asociadas a ellas, de gran utilidad para la predicción del efecto del cambio climático en la distribución futura de dichas especies. También permiten identificar la influencia de otros factores que influyen en las distribución histórica de las especies vegetales hospederas, y por tanto, de sus parásitos

Por ejemplo, *Jatropha angustifolia* (hospedera de *M. jatrophae*) vive en las arenas cuarcíticas y regiones aledañas del occidente de Pinar del Río y la Isla de la Juventud. Por otra parte, *Meliola zigzag* se encuentra en dos especies endémicas (*Casearia aquifolia* y *C. sylvestris* sub. *myricoides*), que a pesar de no ser comunes, tienen una distribución amplia en el territorio nacional, incluyendo la Isla de la Juventud y está presente en una variedad de hábitats. En el caso opuesto se encuentra *Irenopsis comocladiae*, que parasita una especie endémica local (*Comocladia intermedia*).

De manera general se puede afirmar que:

- Las especies *Meliola caseariae-guianensis*, *M. subdentata*, *M. tecomae*, *M. asperipoda*, *M. guatteriae* y *Asteridiella aguariae*, están relacionadas con valores bajos de la presión atmosférica, debido a que son especies que habitan zonas montañosas. *M. jatrophae* y *M. arnoldii*, por su parte están asociados con altos valores de la temperatura mínima y bajos de la temperatura máxima, por lo que pueden ser sensibles al aumento de la amplitud térmica.
- *Irenopsis comocladiae*, es la especie de hábitat potencial más restringido, pues su hospedero (*Comocladia intermedia*), es un endemismo local de la costa norte de Villa Clara. *Magnolia cubensis*, hospedera de *M. magnoliae*, está influida por altos valores de las precipitaciones, por lo que la disminución de las mismas en su área de distribución aumenta el riesgo de extinción de esta de ambas. La especie *M. acristae*, parásita de la palma *Copernicia gigas*, podría ampliar su distribución debido al cambio climático, pues está relacionada con valores altos de la temperatura máxima.

6.3.5.8. HETEROGENEIDAD ESPACIAL DE LA VEGETACIÓN EN LA REGIÓN OCCIDENTAL Y MODELOS PREDICTIVOS DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las plantas, suelen tener distribuciones que no siempre responden a las asunciones de los modelos de perfiles climáticos, pues además de la influencia de variables climáticas como la precipitación y la temperatura, desempeñan un importante papel los factores edáficos.

El desarrollo de herramientas para la evaluación de las escalas de heterogeneidad espacial de la vegetación, permiten determinar la prioridad en que se manifiestan los diferentes factores ambientales que influyen en los patrones de la distribución espacial de las especies vegetales. Para ello se ha utilizado con eficacia la *Amplitud Promedio de Nicho*.

Para la obtención de la información necesaria se realizó una búsqueda de los estudios de vegetación realizados en la región occidental de Cuba (Pinar del Río, La Habana, Ciudad de La Habana e Isla de la Juventud) entre los años 1969 y 2008. Se tomó esta región pues es en la que más parcelas de vegetación se han realizado en el país, lo que permitía hacer un análisis más completo. De este volumen de información fueron seleccionados aquellos muestreos que garantizaran un inventario representativo de las áreas estudiadas y, por tanto, fueran comparables entre sí, y se conformó una matriz de 1 159 especies y 60 localidades. A esta matriz se le añadió información sobre las localidades: (localización geográfica, geomorfología, tipo de formación vegetal, tipología bioclimática, litología, altitud) y las especies (si son herbáceas o leñosas y cuales son endémicas).

Se realizó un análisis de clúster utilizando el índice de similitud de Jaccard y el método agrupamiento de Ward. Utilizando la metodología de Casado *et al.* (1997), se determinó el espectro de valores de la *Amplitud Promedio de Nicho* (A) (Pielou, 1969, Pineda *et al.*, 1981), como medida de la heterogeneidad espacial para diferentes niveles jerárquicos del dendrograma, resultando que mientras menos grupos se tienen en cuenta en el dendrograma, menor es el valor de A y por lo tanto, mayor la heterogeneidad entre grupos. En el dendrograma obtenido para agrupar las parcelas se puede observar que las de áreas costeras se asemejan entre sí más que el resto y se puede distinguir a continuación una separación entre las parcelas de bosque y vegetación herbácea (pastizales). En el siguiente paso se pueden distinguir las parcelas de bosque y a las comunidades vegetales sobre “arenas blancas” de Pinar del Río y la Isla de la Juventud, caracterizadas por poseer un alto endemismo vegetal. En los niveles jerárquicos siguientes se separan los grupos correspondientes a las comunidades vegetales sobre rocas ultramáficas (serpentinitas), tanto en pastizales como en bosques. La presencia de este sustrato constituye uno de los factores de especiación y endemismo más importantes en Cuba (López, 1998) (figura 6.9).

La mayor disimilaridad se observa entre las parcelas costeras y el resto. En la vegetación no costera, la existencia de paisajes antropizados (pastizales) es la que determina en primer lugar la diferencia entre parcelas, debido fundamentalmente a la presencia de especies sinantrópicas no presentes en las formaciones naturales. La presencia de sustratos de arena cuarcítica (arenas blancas) y serpentinitas desempeñan también un papel importante en la heterogeneidad especial de la vegetación, quedando otros factores, como el clima y el relieve, relegados a escalas espaciales menores. Durante la concepción de modelos predictivos es necesario tener en cuenta estas consideraciones en el diseño del perfil climático para la modelación, para lograr niveles aceptables de exactitud en las predicciones.

6.4. DIVERSIDAD BIOLÓGICA MARINA COSTERA

6.4.1. CARACTERÍSTICAS

La biodiversidad marina y costera de Cuba es una de las más ricas del hemisferio occidental. Está representada por variados ecosistemas y hábitats, la mayoría de los cuales gozan de un favorable estado de salud, que irradian vida al resto de la región caribeña a través de las corrientes marinas; las que en su recorrido por el Caribe, bordean todas las costas cubanas, favoreciendo el flujo de larvas y el reclutamiento entre las distintas regiones que componen el Gran Caribe.

Los principales ecosistemas marinos de Cuba son los arrecifes coralinos, pastos y manglares, cuya indisoluble conectividad mantiene las poblaciones de recursos marinos que sostienen las pesquerías de plataforma, fundamentalmente de peces y crustáceos, una de las diez principales actividades económicas más importantes del país. En este sistema interconectado, que involucra desde los manglares costeros que rodean el 70% del perímetro de la isla principal y más de 4 000 cayos, los 3 215 km de arrecifes coralinos y la mitad de los fondos de la plataforma marina cubierta por pastos marinos, se desarrollan numerosas especies de plantas y animales, desde pequeños microorganismos hasta grandes mamíferos como delfines y manatíes (Claro *et al.*, 2007).

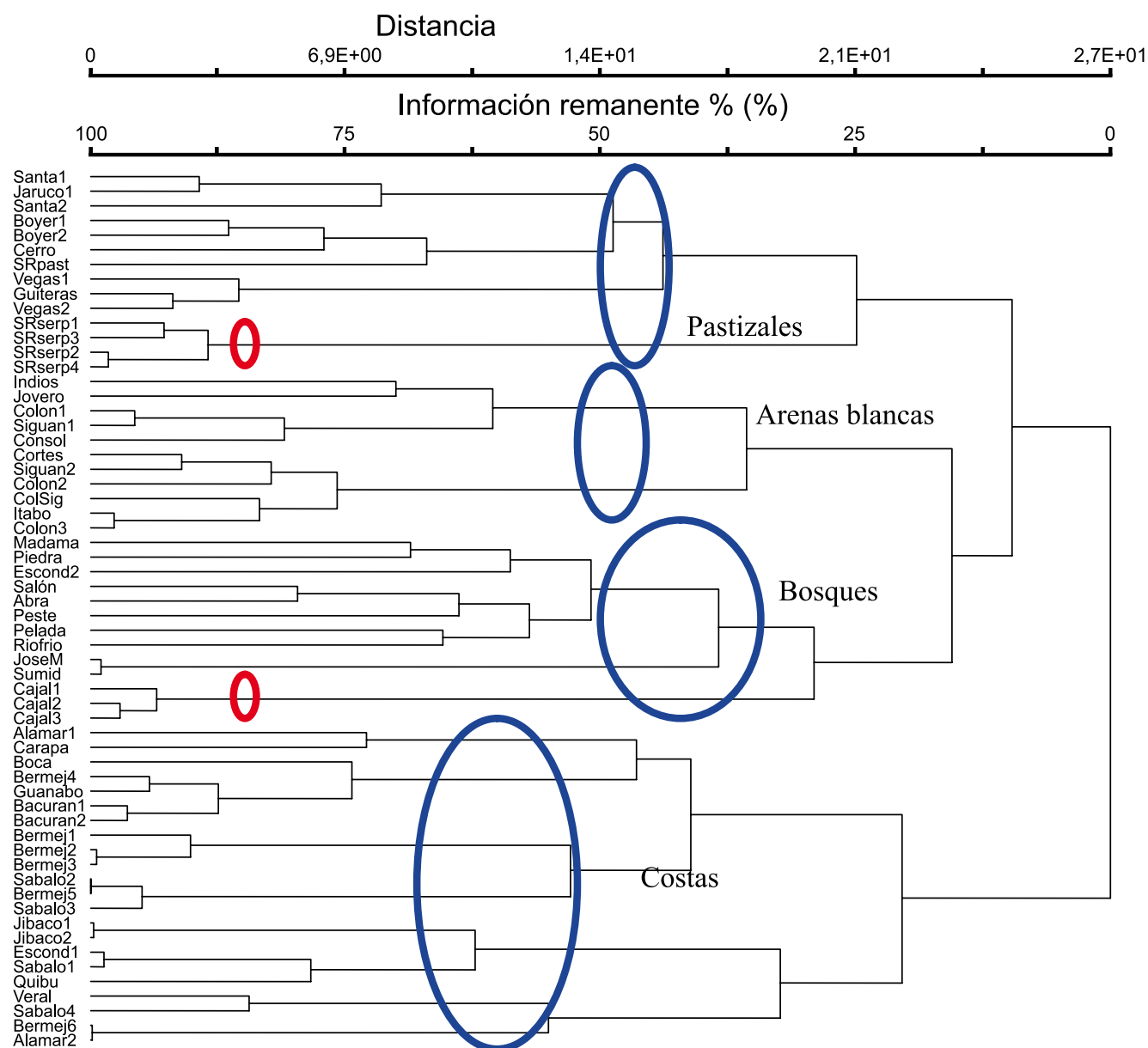


Figura 6.9. Análisis de agrupamiento de las parcelas utilizando el método de Ward y el índice de similitud de Jaccard. En los círculos pequeños a la izquierda se encuentran enmarcadas las parcelas de vegetación sobre rocas ultramáficas (serpentinias)

A partir de la línea costera de toda la isla de Cuba, bordeada por manglares en casi toda su extensión, existen macrolagunas poco profundas donde predominan fondos fango-arenosos con vegetación, y donde es notable la influencia de los aportes terrígenos. En dirección hacia el mar, generalmente aumenta gradualmente el contenido de arena en los sedimentos y las características químicas del agua van acercándose a las oceánicas. El fondo es cada vez más arenoso o rocoso y puede presentar arrecifes de parches o “cabezos”, con dimensiones muy variables. Generalmente en su parte más alejada de la costa se presentan islas y cayos, o en su lugar el arrecife trasero, la cresta arrecifal y el arrecife frontal, que se proyecta a grandes profundidades. Esta secuencia se encuentra frecuentemente interrumpida por los cayos y cayuelos que abundan en casi toda la plataforma (Claro *et al.*, 2007).

Entre los mencionados ecosistemas marinos y costeros se produce un estrecho intercambio de nutrientes y materia orgánica que define su distribución espacial y temporal. Grandes cantidades de material orgánico es deslavado de los manglares e incorporados a la trama trófica en el mar. La cantidad de hojarasca y detritus exportada por el manglar está en dependencia del grado de inundación y la elevación del bosque que posea la zona en cuestión, lo cual determina el grado y la frecuencia de inundación con agua marina. El manglar más alejado de la orilla, con un menor grado de inundación, puede exportar hasta 21% de hojarasca, mientras que el manglar del borde costero puede exportar como promedio 95% de la hojarasca. Datos obtenidos en Cuba (Menéndez *et al.*, 2006, Gómez y Torres 2006), calculan entre 6 000 y 12 000 kg/ha/año de hojarasca por los manglares cubanos con un máximo de producción en período lluvioso.

La entrada de gran cantidad de materia orgánica al medio marino proveniente de los manglares, producida en el período de lluvias, y el establecimiento de otras condiciones esenciales de temperatura, salinidad y oxígeno en la columna de agua, constituye un mecanismo de disparo para la reproducción y garantía de alimento seguro para las primeras etapas de la vida de los organismos marinos, que junto al refugio para sus juveniles, que ofrecen los pastos, manglares y arrecifes coralinos, mantienen la vida marina en la plataforma cubana.

Basado en las interacciones ecosistémicas mencionadas (Baisre, 1985), que considera la existencia de tres sistemas ecológicos en la plataforma cubana, litoral-estuarino, seibadal-arrecifal y oceánico; la interconexión de los principales ecosistemas marinos y costeros está siendo estudiada con mayor intensidad en los últimos años en el Caribe, debido a la gran importancia que el tema reviste para la conservación de la diversidad marina y recuperación de los recursos pesqueros (Mumby *et al.*, 2004). Se conoce que el hábitat de un pez adulto o un crustáceo no es generalmente el mismo que cuando este se encuentra en etapa juvenil y que los manglares funcionan como zonas de cría (Nagelkerken *et al.*, 2000, Mumby 2005), alimentación y refugio (Verweij *et al.*, 2006), para las primeras etapas de vida de la mayoría de las especies de interés comercial en el Gran Caribe. En algunas especies de peces de arrecifes, las distancias de dispersión larval pueden alcanzar entre 10 y 100 km. (Cowen *et al.*, 2006), por lo que las alteraciones de los procesos que ocurren en los hábitat costeros pudieran tener efectos muy negativos en hábitat marinos e incluso oceánicos, muy alejados de la costa.

La riqueza de la vida marina en las costas de Cuba ofrece numerosos servicios al hombre. Los productos de la pesca y la atracción que ejerce sobre el turismo la posibilidad de constatar la existencia de paisajes, especies y hábitats prístinos en las costas y mares, constituyen los principales servicios de la diversidad biológica marina para la población cubana (figura 6.10).



Figura 6.10. Principales ecosistemas marinos y costeros de Cuba. De izquierda a derecha: manglares, pastos marinos y arrecifes coralinos

El número de taxones o grupos superiores de organismos marinos conocidos en Cuba, es mayor en el mar que en la tierra, aunque el número de especies marinas conocidas es menor que el de las terrestres, probablemente debido a la complejidad y costos de los muestreos. Hasta la fecha, el número de invertebrados marinos registrados en Cuba sobrepasa la cifra de 5 700 especies y la de cordados más de 1 060 (principalmente peces). Considerando además, los microorganismos y la flora marina, en el año 2006 se conocían 7 650 especies (Claro, R. (ed.). 2007) y ya en el 2008, la cifra asciende a 7 894 (IV Reporte, CIGEA, 2009).

El nivel de conocimientos de la diversidad de organismos marinos (figura 6.11) es diferente en las distintas regiones de la plataforma cubana, consideradas como nueve zonas, según las características oceanográficas, físicas y biológicas (Taller de ecoregionalización, Areces *et al.*, 2002). Las zonas norte y sur orientales son las menos conocidas, con solo cerca de 500 especies de organismos marinos, la mayoría de los cuales corresponden a invertebrados y peces, mientras que las más conocidas son la costa norte desde La Habana hasta Camagüey, incluyendo el Archipiélago Sabana-Camagüey y la región suroccidental, donde se localiza el Golfo de

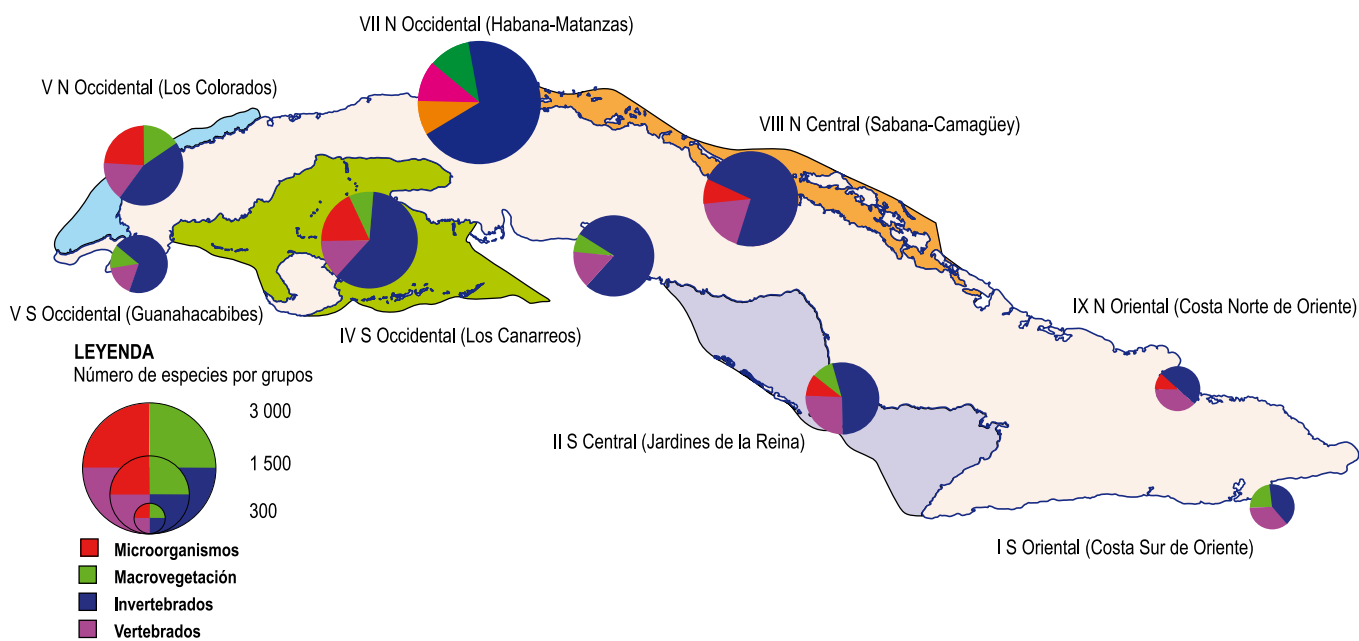


Figura 6.11. Número total de especies por grupos taxonómicos en las nueve zonas de la plataforma cubana determinadas en el Taller de Ecoregionalización (Areces *et al.*, 2002)

Batabanó. En ambas regiones, por ser las principales zonas pesqueras de Cuba, se han realizado numerosas investigaciones oceanográficas.

Para conocer la riqueza de especies en cada ecozona se calculó el Índice de Gleason (Frontier y Pichod-Viale 1991), teniendo en cuenta el área de la plataforma que cada ecozona encierra (calculada por Ricardo Sánchez, especialista del Instituto de Oceanología).

Los resultados indican que las zonas de mayor riqueza de especies se encuentran en la costa sur de los extremos de la isla, en primer lugar el sur de la región oriental y le sigue Guanahacabibes, en la zona suroccidental. Luego Jardines de la Reina, también en la costa sur, y el Archipiélago de los Colorados en la región noroccidental (tabla 6.10).

Tabla 6.10. Riqueza de especies de organismos marinos en las nueve ecozonas de la plataforma cubana determinadas en el Taller de Ecorregionalización (Areces *et al.*, 2002)

ECOZONA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Área sin cayos (km ²)	598,5	18 264,8	349,1	22 617,4	233,9	3 371,9	408,0	10 602,2	1 103,0
Índice de Riqueza de Gleason	18,2	0,08	0,07	0,04	0,1	0,06	0,03	0,05	1,8

A partir del conocimiento existente sobre la diversidad de especies en el Gran Caribe, se ha estimado (con muy variable nivel de apreciación para cada taxon) que el número de especies probables en las aguas marinas de Cuba, pudiera sobrepasar la cifra de 10 500. A partir de esta estimación, se infiere que al menos el 30% de las especies de la flora y fauna marina de Cuba aun está por descubrir. Estos porcentajes pueden ser mucho más elevados en relación con los microorganismos y con la fauna de aguas profundas, la cual, debido a su poca accesibilidad ha sido mucho menos estudiada (Claro *et al.*, 2007).

En Cuba existe una tendencia explícita a aumentar el conocimiento taxonómico y sistemático de las especies, se estudian con distintos grados de profundidad los diferentes ecosistemas y se han identificado indicadores para el monitoreo; labor en la que se continúa trabajando. Sin embargo, aun se debe hacer hincapié en el desarrollo de investigaciones y gestión de ecosistemas marino-costeros, dada la condición de archipiélago del país y avanzar rápidamente en la restauración, rehabilitación y monitoreo, lo que resulta una prioridad para la adaptación al cambio climático.

El conocimiento de la biodiversidad marina constituye un gran reto para la ciencia y la conservación debido a la gran extensión y limitada accesibilidad de los ecosistemas marinos. Aunque los procesos que mantienen la diversidad biológica en estos ambientes, en principio, son similares a los terrestres, existen grandes diferencias que es necesario considerar. En los últimos desempeñan un papel fundamental: la alta diversidad de especies, la existencia de especies endémicas, raras o amenazadas, los hábitats críticos o representativos de determinados tipos. Sin embargo, el medio marino se caracteriza por su alta conectividad a nivel regional y global, la naturaleza dispersa de las larvas, la existencia de notables gradientes espaciales, pobre endemismo, especies con amplia distribución y pocas posibilidades de extinción, alta renovación y mezcla de poblaciones, ausencia micro-hábitat específico y gran extensión y complejidad de los ecosistemas. Por ello la conservación de la diversidad ecológica, más que la diversidad de organismos, tienen el papel relevante en las evaluaciones

de la biodiversidad marina, ya que protegiendo los ecosistemas se garantiza en gran medida la conservación de la diversidad genética y de organismos (Claro, 2007).

6.4.1.1. AMENAZAS

Los posibles efectos del cambio climático y las alteraciones provocadas por el hombre han ocasionado la afectación de 30% del sistema arrecife-manglar-pastos marinos en las costas cubanas. La acción sinérgica de múltiples estresores (contaminación, represamiento, degradación de los hábitats, cambios globales, sobrepesca.) lógicamente pueden explicar la preocupante disminución de los recursos pesqueros y otras afectaciones a la biodiversidad marina de la plataforma cubana (Claro *et al.*, 2007).

Entre las causas de afectaciones a los arrecifes coralinos se encuentran la sedimentación inducida por la deforestación, la contaminación, la pesca y el turismo. Los fondos duros no arrecifales están sujetos a similares amenazas que los arrecifes coralinos, pero también son afectados por aquellos factores que amenazan a los pastos marinos, los arenales y los cabezos coralinos que de forma parchada cubren este biotopo. Los pastos marinos por su parte están afectados por la contaminación orgánica, el incremento excesivo de la salinidad, la pesca mediante rastreos con chinchorros, el uso de anclas, y el aumento de la temperatura a causa de los sistemas de enfriamiento de algunas industrias. En las lagunas costeras y los estuarios el represamiento de los ríos y otros cursos de agua ha conducido a la salinización y acumulación de sedimentos, con la consecuente reducción del espejo de agua y el incremento de la salinidad (Claro *et al.*, 2007).

Un resumen de las principales amenazas a la diversidad biológica marina de Cuba de carácter antrópico, actuales y potenciales, según Claro *et al.*, (2007), incluye las siguientes:

- El represamiento de las aguas fluviales, que disminuye el aporte de agua dulce y nutriente, provocando hiper-salinización de las aguas costeras, con grandes secuelas para la flora y fauna, y en algunas regiones podría provocar déficit de elementos biogénicos para la fotosíntesis.
- La contaminación por residuales agrícolas, industriales y albañales que contienen plaguicidas, herbicidas, hidrocarburos, metales pesados, sustancias orgánicas, sólidos en suspensión y basura, que afectan seriamente el ecosistema litoral.
- La contaminación térmica, por el uso de aguas costeras para los sistemas de enfriamiento de diversas industrias.
- La sedimentación provocada por la deforestación y por la minería en tierra, por los dragados y por otros factores que provocan erosión y arrastre de los sedimentos al mar, lo cual afecta a las lagunas costeras, los pastos marinos, los arrecifes coralinos y los manglares.
- La pesca no sostenible, principalmente el uso de artes de pesca nocivos (ej. redes de arrastre, redes de sitio), el excesivo esfuerzo pesquero, la pesca furtiva o no controlada, la explotación de las agregaciones de desove, y otras prácticas de pesca no responsables.
- Las construcciones costeras que interrumpen la circulación natural de las aguas litorales (pedraplenes, espigones, muelles), provocando cambios en el régimen hidrológico e hidroquímico, incrementos en la salinidad y temperatura del agua y

otros efectos que dañan a los hábitats, alteran los procesos ecológicos, afectan el reclutamiento y dificultan el desarrollo normal de la vida marina.

- Actividades de prospección y explotación de recursos minerales (principalmente hidrocarburos) en la zona costera.
- Las actividades turísticas no controladas, como el buceo no regulado, motos acuáticas, exceso de turistas en áreas ecológicamente sensibles, anclaje sobre arrecifes.
- Las actividades militares en la zona marino-costera.
- La explotación no sostenible de organismos de valor ornamental.
- La captura y comercialización de especies amenazadas, raras, carismáticas o de poblaciones reducidas (manatí, cocodrilos, tortugas, delfines, conchas de moluscos, coral negro, pez dama, guasas, caballitos de mar).
- La introducción de especies exóticas.

Otros elementos, relacionados con diferentes eventos naturales, en algunos casos asociados a las actividades antrópicas a nivel global o local, factores socio-políticos y otras causas, impactan directa o indirectamente a la biodiversidad marina:

- Las alteraciones provocadas por los cambios en el clima, como la elevación de la temperatura del agua, en particular durante los eventos *ENOS*, que provocan blanqueamiento de los corales y otras consecuencias sobre la fisiología de los organismos.
- Las enfermedades de los corales como la “banda blanca”, “mancha amarilla”, “mancha oscura”, “viruela blanca”, “banda negra”, “neoplasia” y otras.
- La proliferación excesiva de las algas en los arrecifes, como consecuencia de la reducción de los herbívoros y la nitrificación, exacerbada por el blanqueamiento y las enfermedades de los corales.
- La elevación del nivel del mar, que provoca inundaciones costeras con el consecuente cambio en la distribución y composición de las especies, incremento de la erosión en la línea de costas y afectaciones directas a los asentamientos humanos.
- Las tormentas y huracanes, que destruyen los manglares y los arrecifes coralinos (estos últimos se encuentran afectados por otros factores, y no resisten ni se recuperan fácilmente) y otros hábitats.
- La carencia de medios para garantizar el tratamiento o disposición adecuada de los residuales y productos químicos tóxicos, para la reutilización de las materias primas, el reciclaje y máximo uso de los productos, cuyos residuales en última instancia van a parar al mar.
- El funcionamiento ineficiente o ausencia de lagunas de oxidación y plantas de tratamiento de residuales líquidos, por falta de mantenimiento y limitaciones económicas para su operación, así como el deterioro de los medios de control y monitoreo de la calidad del agua proveniente de dichas instalaciones.
- El desconocimiento del valor económico de la biodiversidad y la carencia de una adecuada formación ambiental en la población, y en particular de muchos tomadores de decisiones.

- La pobre participación pública e insuficiente intervención de las autoridades locales en el manejo y conservación de la biodiversidad.
- El bloqueo económico impuesto por el gobierno de los Estados Unidos de América, que limita, encarece o impide la adquisición de recursos para disminuir la contaminación y establecer controles adecuados acordes con las regulaciones ambientales, promueve actividades económicas y militares emergentes para solucionar las necesidades de la población y garantizar la defensa del país, limita la investigación científica y muchas otras actividades de conservación.

La sinergia entre el incremento de la temperatura superficial del mar, la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos en las costas de Cuba y el actualmente discreto, pero probablemente sostenido y gradual, incremento del nivel del mar, aumenta el riesgo de pérdida de biodiversidad, y de sus bienes y servicios. Pues se encuentra muy amenazada en las áreas costeras donde el hombre ha transformado la costa como: en el sector sur de La Habana, donde se pierden 2,5 m de terreno costero por año, con la consecuente pérdida de vegetación y diversidad de fauna marina asociada. Los organismos ciclónicos, por su mayor frecuencia e intensidad, son los eventos asociados al cambio climático que más afectaron la biodiversidad marina y costera de Cuba en las últimas décadas (Hernández-Zanuy *et al.*, 2009).

A partir de 1988, coincidiendo con el embate del huracán Gilbert al Caribe, se inició un período de años con incrementos de la temperatura superficial del mar, muy cercanos o por encima de 30 °C y de mayor frecuencia e intensidad de los huracanes, que coincide con la abrupta degradación de las crestas coralinas en los Canarreos y con el declive de las pesquerías de la langosta espinosa y otros recursos marinos también dependientes del ecosistema arrecifal, lo que pudiera ser un indicador de que la arremetida de estos eventos meteorológicos con lapsos de tiempo menores de cinco años, no permiten al sistema arrecife-pastos-manglares, recuperar su funcionalidad plena (Hernández-Zanuy *et al.*, 2009).

Los ecosistemas de manglar y de pastos marinos al parecer poseen una resiliencia mayor que los arrecifes coralinos, manteniendo una elevada capacidad de recuperación ante eventos meteorológicos extremos, siempre que no hayan sufrido previamente alteraciones irreversibles ocasionadas por el hombre (Hernández-Zanuy *et al.*, 2009).

El archipiélago posee una doble barrera natural para el enfrentamiento y adaptación al cambio climático, compuesta por los ecosistemas marinos y costeros naturalmente preparados para soportar el embate de fuertes vientos, marejadas e intensos oleaje. Un arrecife coralino sano, con elevada complejidad estructural, la barrera protectora de mangle rojo compuesta por fuertes raíces que penetran los sedimentos y tupido follaje, son elementos de defensa de la naturaleza para mantener, en territorios frágiles como el cubano, una inmensa riqueza de especies, hábitats y ecosistemas para las presentes y futuras generaciones y para el sostenimiento de la vida en el planeta.

La principal amenaza natural sobre la biodiversidad marina, el incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos, pudiera aminorarse aumentando la resiliencia y protección de los ecosistemas marinos y las zonas costeras, para que disminuyan las inundaciones y la erosión en el litoral; así como desarrollando medidas que aumenten la adaptación de especies y ecosistemas con la reducción de tensiones no climáticas sobre ellos, como la contaminación, explotación excesiva, pérdida y fragmentación de hábitats e introducción de especies exóticas e invasoras.

A pesar de las amenazas relacionadas anteriormente, la magnitud de los impactos antrópicos sobre los ecosistemas marinos de Cuba parecen ser de menor magnitud que en otros países del área, debido a la aplicación de una creciente política ambiental, a la centralización estatal de los principales medios de producción y de los programas de desarrollo; aunque las limitaciones impuestas a ese desarrollo por las restricciones económicas derivadas de las agresiones políticas al país afectan a estos ecosistemas (Claro *et al.*, 2007).

Se prevé que el desarrollo del turismo internacional en general, y en particular el eventual levantamiento del bloqueo económico y comercial de los Estados Unidos, provocarán un flujo inusitado de turistas al país, con su secuela de impactos sobre los ecosistemas naturales, principalmente al medio marino-costero, donde se localizan la mayoría de los atractivos e infraestructuras. El gran aumento en el número de embarcaciones y personas, provocarán notables incrementos de consumo, transportación, producción de basura y muchas otras agresiones al medio marino costero. Esta amenaza constituye un verdadero reto para las autoridades encargadas de la protección ambiental, para lo cual debe prepararse con tiempo toda la infraestructura vinculada a esas actividades (Claro *et al.*, 2007).

En los últimos años se ha comenzado un proceso de exploraciones y posibles perforaciones de pozos petroleros en aguas oceánicas territoriales, que constituye una nueva amenaza para la biodiversidad marina y costera, que obliga a fortalecer los mecanismos regulatorios y sistemas de alerta ante contingencias ambientales para la prevención de desastres. La confección de mapas detallados de la sensibilidad y puntos críticos de la biodiversidad marina y costera ante derrames de petróleo, constituye un requisito para el desarrollo de proyectos que está siendo cumplido con la mayor rigurosidad.

El desarrollo portuario previsto para la Bahía del Mariel en la costa noroccidental, que asumirá el mayor puerto de la costa norte del país, representará un incremento notable del tráfico portuario y una nueva amenaza a la biodiversidad marina y costera de Cuba, sobretudo en el tema de la introducción de especies exóticas e invasoras. El fortalecimiento de la *Estrategia Nacional Ambiental* y el *Nuevo Plan de Acción de la Diversidad Biológica de la República de Cuba*, prevén la incorporación de acciones concretas para evitar la degradación de los hábitats marinos y costeros y la pérdida de biodiversidad en general asociada a estas nuevas líneas de desarrollo socioeconómico del país.

6.4.2. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

6.4.2.1. PARÁMETROS OCEANOGRÁFICOS ASOCIADOS A EVENTOS CLIMÁTICOS

Para conocer la posible influencia del cambio climático sobre la biodiversidad marina y costera en Cuba se utilizó la información del capítulo "Evidencias oceanográficas del cambio climático en las aguas marinas cubanas" (Fernández Vila *et al.*, 2009), basado en el análisis de los datos hidrológicos de las aguas de la plataforma cubana: 50 989 valores de temperatura y 12 751 valores de salinidad del agua, recopilados desde 1959 hasta el 2005 en 193 cruceros oceanográficos a las diferentes zonas de la plataforma cubana.

En el mencionado trabajo, el análisis de la variabilidad espacio-temporal de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en aguas oceánicas y de la plataforma cubana,

se realizó sobre la base de 20 series satelitales de TSM media diaria, (14 en zonas de la plataforma y 6 en aguas oceánicas cubanas), en el período 1985-2006, (22 años), de los radiómetros infrarrojos avanzados de alta resolución (*Advanced Very High Resolution Radiometer, AVHRR*), usando la Interpolación Óptima (IO), en una red de resolución espacial de 0,25° y resolución temporal de un día. (Reynolds *et al.*, 2007), 8 series de TSM mensual en ocho estaciones oceánicas al sur del Golfo de Batabanó, en el período 1950-2002, (53 años) y una serie anual de TSM para el cuadrante Cuba, en el período 1970-1998, (29 años), de la misma fuente. (Fernández Vila *et al.*, 2008). Una síntesis del estudio de los parámetros oceanográficos asociados al cambio climático que pudieran afectar a la biodiversidad marina y costera en Cuba se ofrece en la tabla 6.1 y los cambios estimados en la temperatura, la salinidad, el nivel del mar en Cuba y la frecuencia e intensidad de huracanes se resumen en la tabla 6.11.

Tabla 6.11. Cambios estimados en la temperatura, la salinidad y el nivel del mar en Cuba, así como la frecuencia e intensidad de huracanes, según Fernández-Vila *et al.*, (2009).

VARIABLES ASOCIADAS AL CAMBIO CLIMÁTICO	CAMBIOS DETECTADOS
Temperatura superficial del mar	Incremento medio general de 0,285 °C de la temperatura del agua, en las bahías del Archipiélago Sabana-Camagüey, en su conjunto, en los últimos 12 años. La TSM de las aguas oceánicas cubanas muestran anomalías con franca tendencia al aumento, con un amplitud promedio de 0,6 °C, en el período 1985-2007.
Salinidad del agua	Aumento del tenor halino en áreas afectadas por la acción humana: 57,01‰ en la bahía de Buenavista, 155,89‰ en la bahía de Los Perros y 95,00 ‰ en la bahía de Jigüey.
Incremento del nivel del mar	La tasa de ascenso del nivel medio del mar, estimada a partir de mediciones directas, varía entre 0,005 y 0,214 cm/año en el archipiélago cubano.
Frecuencia de eventos meteorológicos extremos	Para el Golfo de Batabanó y océano adyacente a él, la frecuencia de ocurrencia de huracanes ha aumentado en casi ocho veces durante el período reciente 1996-2005.

6.4.2.2. CLIMA ESPERADO

Los escenarios globales de cambios climáticos están basados en las predicciones realizadas por el *Panel Intergubernamental para el Cambio Climático*, IPCC (2007), que señalan un aumento de 0,2 °C por décadas para un rango de escenarios de emisiones (*Special Report on Emissions Scenarios-SER*) y donde se espera que la temperatura pueda aumentar entre 1,8 y 4 °C por encima del promedio de 1980-1999 (tabla 6.12). Según el IPCC (2007), el nivel del mar aumentará entre 0,18 y 0,59 m y los ciclones tropicales serán más intensos con vientos máximos y precipitaciones más intensas.

Tabla 6.12. Proyección global sobre el calentamiento superficial y el incremento del nivel del mar para el siglo XXI (IPCC, 2007)

CASO	TEMPERATURA (°C) MEJOR ESTIMADO	TEMPERATURA (°C) INTERVALO	INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR
Escenario B1	1,8	1,1 - 2,9	0,18 - 0,38
Escenario A1T	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,45
Escenario B2	2,4	1,4 - 3,8	0,20 - 0,43
Escenario A1B	2,8	1,7 - 4,4	0,21 - 0,48
Escenario A2	3,4	2,0 - 5,4	0,23 - 0,51
Escenario A1F1	4,0	2,4 - 6,4	0,26 - 0,59

6.4.3. VULNERABILIDAD ECOLÓGICA E IMPACTOS DEL CAMBIO

Según Botello y Villanueva-Fragoso (2010) la vulnerabilidad está en función de la sensibilidad de un sistema a los cambios del clima y de su capacidad para adaptarse a ellos. Para este análisis se seleccionaron seis de los principales componentes del elemento de la Diversidad Marina y Costera "Recursos Marinos y Costeros Vivos", (definido por la CBD) en Cuba. Cuatro de ellos: arrecifes coralinos, pastos marinos, pesquerías de la langosta espinosa, interacción tierra-mar en la región suroccidental de Cuba, habían sido analizados en el Informe de Proyecto "Evaluación de las posibles afectaciones del cambio climático a la biodiversidad marina y costera de Cuba" (Hernández-Zanuy et al., 2009), y actualizados en el Primer Taller de la Red CYTED "Evaluación integral de la biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros del litoral de iberoamérica" (Hernández-Zanuy y Alcolado, 2010). Otros tres elementos: tortugas, comunidades de esponjas y comunidades de fitoplancton se adicionan al análisis y se anexan como Casos de Estudios independientes al igual que los mencionados anteriormente.

A continuación se relacionan cuáles son los componentes evaluados y los argumentos que justifican su elección:

Arrecifes coralinos

- En la V Reunión de la Conferencia de las Partes (COP5/CBD) se tomaron decisiones para el estudio del efecto del cambio climático sobre los arrecifes coralinos, por ser el ecosistema marino más afectado por el incremento de la temperatura del mar, por lo que consta de un plan de trabajo individual (Apéndice II de la Decisión VII/5 del CBD).
- Existencia de datos históricos sobre el estado de salud de algunos arrecifes coralinos en Cuba y de publicaciones científico técnicas recientes dedicadas al estudio de las posibles afectaciones del cambio climático a los arrecifes coralinos.
- Ecosistema esencial para el mantenimiento de la biodiversidad marina y costera y de las especies comerciales de la plataforma cubana.

Pesquerías de la langosta espinosa

- Se conoce el ciclo de vida de la especie en Cuba y que el mismo vincula la costa con el océano.
- Existencia en Cuba de series largas de datos de pesquerías (varias décadas).
- Principal recurso pesquero de la plataforma cubana.

Tortugas marinas

- Se registran cinco especies para aguas cubanas.
- Se distribuyen prácticamente en toda la plataforma cubana donde existen pastos marinos, arrecifes coralinos y playas arenosas adecuadas para su alimentación y reproducción.
- Se encuentran entre los organismos marinos más amenazados por el incremento del nivel del mar y de la temperatura superficial del mar en el mundo.

Pastos marinos

- Ecosistema esencial para las especies comerciales de la plataforma cubana.
- Existencia de datos de abundancia y distribución de los pastos marinos en el Golfo de Batabanó y en Sabana-Camagüey.

Interacción tierra-mar

- Zona de mayor vulnerabilidad y peligro por inundaciones y por incremento del nivel del mar en Cuba.
- Existencia de información fotocartográfica de la mayor parte de la línea de costa, en tres momentos diferentes (1956, 1970 y 1997).
- Incluye una de las zonas de cría principales de la langosta espinosa y del camarón en el Golfo de Batabanó.

Fitoplancton

- Constituye el primer eslabón de la cadena alimentaria en el mar por lo que los cambios en su composición son esenciales para el mantenimiento de la vida marina.
- Existe información histórica sobre la estructura de la comunidad del fitoplancton costero y oceánico de las aguas marinas cubanas que permite una comparación.

Esponjas

- Están presentes prácticamente en todos los hábitats marinos, en los que tienden a ocupar casi siempre uno de los primeros lugares en biomasa.
- La diversidad de especies de esponjas es alta en los arrecifes coralinos.

A continuación se resumen las evidencias de los impactos que los cambios de algunos parámetros oceanográficos asociados al cambio climático están ejerciendo sobre los componentes de la biodiversidad marina y costera en Cuba, a partir de publicaciones, informes científico-técnicos y análisis de criterios de expertos nacionales en la temática. Los artículos originales de donde se obtuvo la información aquí sintetizada forman parte de este acápite en forma de Estudios de Casos.

Resulta difícil discernir entre los impactos ocasionados por causas naturales y los originados por el desarrollo socio-económico en la zona costera, más aun cuando estos actúan de forma sinérgica, por lo que en el informe se seleccionaron solo aquellos impactos mencionados en trabajos publicados o informes científico-técnicos con arbitraje, que muestran un vínculo directo entre algún componente de la BMC de

Cuba y alguno de los parámetros asociados al cambio climático que se discuten en el epígrafe 6.4.2: Escenarios de cambio climático.

El grado de vulnerabilidad de los componentes de la biodiversidad marina y costera analizadas se evalúa teniendo en cuenta la magnitud del impacto y su duración, según sugiere Bojorquez-Tapia (1998), pero sin calcular el índice básico de impacto ambiental debido a la dificultad que ofrece definir límites a la extensión de los componentes analizados. El grado de vulnerabilidad se indica en una escala de colores (rojo: muy alta, amarillo: alto y verde: medio) y se determinó a partir de criterios de expertos y tabla 6.10.

Todos los componentes de la BMC analizados en el informe son vulnerables a los cambios climáticos. Los ecosistemas marinos arrecifes coralinos y los manglares y pastos marinos en la interconexión tierra-mar de la región suroccidental de Cuba, así como las tortugas y pesquerías de langosta resultan los componentes con mayor vulnerabilidad ecológica entre los analizados.

Tabla 6.13. Grado de vulnerabilidad de los componentes de la biodiversidad marina y costera

COMPONENTE	GRADO DE VULNERABILIDAD
Arrecifes coralinos	
Pesquerías de la langosta espinosa	
Tortugas marinas	
Interconexión tierra-mar en la costa suroccidental de Cuba	
Pastos marinos	
Fitoplancton	
Eponjas	

Leyenda: rojo: muy alta amarillo: alto verde: medio

La interacción sostenida entre los componentes estudiados y otros no tenidos en cuenta en este informe, pero relevantes para la vida marina en Cuba, como las comunidades de peces, invertebrados bentónicos (moluscos, cangrejos, equinodermos, macroalgas, manatíes, delfines y otros organismos marinos) también son vulnerables a los cambios climáticos y deben ser objeto de estudio para conocer cómo los cambios en los parámetros oceanográficos asociados al cambio climático estarán afectando sus poblaciones, lo que permitirá la toma de medidas que mitiguen el impacto y contribuyan a garantizar los servicios de la BMC en Cuba, definiendo acciones concretas para la adaptación al cambio climático.

El incremento de la resiliencia de los ecosistemas, la ampliación y manejo de áreas protegidas marinas locales y regionales que protejan procesos ecológicos, no solo áreas geográficas y la rehabilitación de ecosistemas degradados, sin dudas contribuirán a la disminución de la vulnerabilidad ecológica de la BMC ante el cambio climático.

6.4.4. IMPACTOS EN LA DIVERSIDAD MARINA Y COSTERA

De mantenerse el estado actual de la dinámica costera y la degradación de los hábitats naturales, y teniendo en cuenta que se espera un incremento del nivel del mar entre 0,18 y 0,59 m, los ciclones tropicales serán más intensos con vientos máximos y precipitaciones más intensas (IPCC, 2007) los impactos esperados sobre la biodiversidad marina y costera en Cuba son los siguientes:

- Si sigue aumentando la temperatura superficial del mar, puede llegarse a la muerte fisiológica directa de los corales, sin mediación de enfermedades ni blanqueamiento.
- Aplanamiento de las crestas arrecifales con pérdida de su valor protector y complejidad estructural que disminuye la disponibilidad de sustrato, alimentación y refugio de numerosas especies.
- Desaparición de los arrecifes de tipo promedio al cabo de aproximadamente 7 a 26 años para crestas y 5 a 20 años para arrecifes frontales, si las tendencias ambientales se mantienen.
- Desaparición de los arrecifes de borde de plataforma cubana para el año 2050, sin descartar que queden algunos remanentes en zonas con características muy particulares que les confieren resiliencia, que pudieran constituir fuentes de larvas para una posible recuperación futura de arrecifes degradados o desaparecidos cuando las condiciones ambientales lo permitieran.
- Disminución de las poblaciones de peces arrecifales como resultado de la degradación de hábitat.
- De continuar el ascenso de la temperatura del aire, tanto la anidación como el comportamiento reproductivo de las tortugas sufrirá afectaciones severas con peligro para la supervivencia de la especie, por lo que pudiera producirse la pérdida de la especie en aguas cubanas.
- Pérdida del hábitat costero que afectarán la producción de huevos y proporción de sexos de los neonatos.
- Cambios en el hábitat oceánico que afectará la distribución de tortugas juveniles y adultas, así como sus fuentes de alimentación.
- Posible extinción de las especies de tortugas en aguas cubanas.
- Desaparición de áreas de anidación del carey en Cuba e interrupción de sus rutas migratorias.
- No se ha evaluado el impacto del incremento de las cianofíceas en la cadena trófica en el mar pero se espera que el cambio en la composición y abundancia del fitoplancton produzca transformaciones en el resto de los componentes de la trama trófica.
- Se pueden producir eventos severos de marea roja con la consiguiente producción de toxinas y muerte a organismos marinos.
- Colapso de las pesquerías de langosta espinosa por:
 - a) Afectación a la fisiología de la especie (rango óptimo de TSM entre 26,7 y 26,9 °C en profundidades entre 43 y 70 m. Variaciones de temperatura diferentes a esos valores óptimos producirán afectaciones en la fisiología tanto de larvas como de adultos.
 - b) Degradación del sistema arrecife-seibadal-manglar, esencial para el ciclo de vida de la especie.
 - c) Afectación a la construcción de esqueletos calcáreos por posible acidificación de los océanos.

- Disminución de la cobertura vegetal del fondo y riqueza de organismos asociados por disminución de la función protectora de los manglares de borde y cayo.
- Degradación de los ecosistemas de manglar y pastos marinos por pérdida de su cobertura espacial, promoviendo la pérdida de la función protectora de estos ecosistemas y consecuente exposición de las comunidades costeras y tierras agrícolas al inminente impacto del incremento del nivel del mar y embate de eventos meteorológicos extremos.
- Cambios en la abundancia y riqueza de especies con pérdida de numerosas especies y cambios en la dominancia de especies en los hábitats extremos: reducción de la diversidad biológica de estuarios con posible dominancia de la claria y del sistema pastos-arrecifes con posible dominancia del pez león (ambas especies exóticas invasoras), establecimiento de nuevas relaciones tróficas y conectividad ecosistémica.
- Posible incremento de enfermedades de esponjas.
- Incremento en la reducción del área de principales ecosistemas marinos y costeros captadores de carbono atmosférico y por tanto de su función como sumideros.
- Reducción de las poblaciones naturales de peces de arrecifes.
- Disminución de las capturas de pescado de plataforma.

A los impactos anteriores se añadirían los ocasionados en las especies y ecosistemas marinos subsiguientes, debido al intercambio de materia y energía que entre estos se produce y que serán afectados por el incremento de la temperatura superficial del mar y aumento de su acidez, lo que provocará la desaparición de los arrecifes coralinos del borde externo de la plataforma insular y los que habitan en los cabezos coralinos dispersos en los seibadales, así como valores asociados a la producción de arenas singulares como las oolitas que se producen en el Golfo de Batabanó que de cambiar el estado de la acidez de las aguas marinas de la región será fuertemente impactado (Estudio de Casos).

6.4.5. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

La adaptación en la diversidad biológica significa, en primer lugar, devolver la funcionalidad plena de los ecosistemas marinos y costeros como defensa natural y comprobada ante esta amenaza.

Para ello se debe:

- Devolver las condiciones físicas de la costa de manglar que permitan la rehabilitación natural y artificial de manglares, pastos y arrecifes coralinos y su funcionalidad ecosistémica.
- Eliminar las amenazas sobre la biodiversidad marina y costera promoviendo medidas de conservación de especies, hábitats y ecosistemas.
- Elaborar y controlar planes de manejo sostenible de los principales recursos pesqueros y orientar su explotación según compatibilización de intereses de sectores agrícola, hídrico, turístico, de transporte y alimenticio.

- Estudiar y ofrecer alternativas para la pesca de subsistencia en las comunidades costeras.
- Proponer y profundizar en alternativas para implementar el Manejo Basado en Ecosistemas e implementar el Planeamiento Espacial Marino como herramienta para el desarrollo sostenible en Cuba.
- Realizar acciones urgentes de rehabilitación ecosistémica que incluyan la construcción artificial de viveros de diferentes especies de mangle, de corales como *Acropora palmata* y fomentar el cultivo de peces depredadores como los pargos y meros y otros organismos marinos que contribuyan al control biológico de especies exóticas e invasoras en Cuba.

6.4.6. ESTUDIOS DE CASOS DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA MARINA COSTERA

6.4.6.1. CORALES

6.4.6.1.1. Blanqueamiento coralino

Según Alcolado (2010), los reportes de blanqueamiento en Cuba comenzaron desde 1983, pero se hicieron más frecuentes a partir de 1994. Los años 1995, 1998, 2005 y 2009 han sido de blanqueamiento generalizado, con reportes de mayor intensidad tanto en Cuba como el Gran Caribe. A pesar de la intensidad con que ha ocurrido el blanqueamiento en numerosos puntos del país, los informes han indicado una marcada tendencia a la recuperación, con casos aislados de mortalidad moderada, algunas de las cuales no fueron verificadas.

Existe una *Red de Monitoreo Voluntario de Alerta Temprana de Arrecifes Coralinos*, que involucra a centros de buceo, áreas protegidas, centros de investigación y colaboradores comunitarios. A partir de su creación en el marco del Proyecto PNUD/GEF Sabana-Camagüey, y mediante la firma de un memorando de entendimiento entre la Agencia de Medio Ambiente del CITMA, el Ministerio de Turismo y el Instituto de Oceanología de Cuba, se obtiene información sobre el estado de los arrecifes coralinos a nivel nacional.

En el último reporte de blanqueamiento de la red (Alcolado 2011), se considera que en el año 2010 ocurrió un evento de gran intensidad y extensión geográfica, junto con 1995, 1998, 2005 y 2009. No hubo un solo reporte indicando ausencia de blanqueamiento (figura 6.12). Existe blanqueamiento casi total (75-100%) en dos puntos de la mitad oriental del Archipiélago Sabana-Camagüey y en dos del extremo sudeste de Cuba (provincias de Santiago de Cuba y Granma). Los voluntarios de Granma (Base Náutica de Marea del Portillo), opinan que el masivo blanqueamiento observado en junio en esa provincia fue causado por la fumigación de campos de cebolla y otros cultivos. Esto es probable ya que en junio las temperaturas del mar no eran tan altas como para causar este fenómeno.

6.4.6.1.2. Degradación de los arrecifes coralinos

Los arrecifes coralinos en Cuba presentan diferentes grados de deterioro (Alcolado *et al.*, 2001 a y b), tanto los de crestas como los frontales, con una marcada tendencia al empeoramiento. Las causas de degradación son varias, y aparecen en diferentes

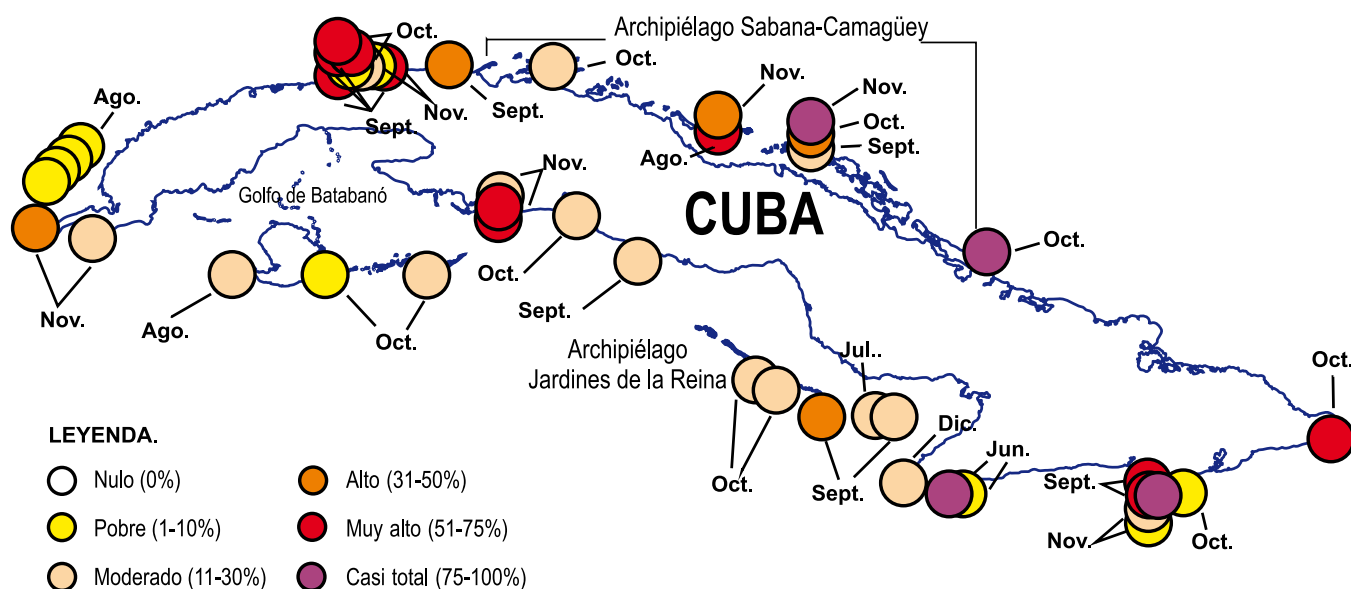


Figura 6.12. Nivel de blanqueamiento de corales

combinaciones, principalmente: proliferación excesiva de algas por gran escasez de animales herbívoros (como el erizo negro de espinas largas *Diadema antillarum* (figura 6.13), así como peces loros y barberos) y huracanes más frecuentes e intensos desde 2001. En menor grado han influido enfermedades de corales, incluido el blanqueamiento, y de manera muy localizada, la contaminación. Cálculos recientes realizados compilando toda la información nacional disponible arrojan un 91,3% de degradación de los arrecifes coralinos en Cuba (Alcolado *et al.*, 2011).

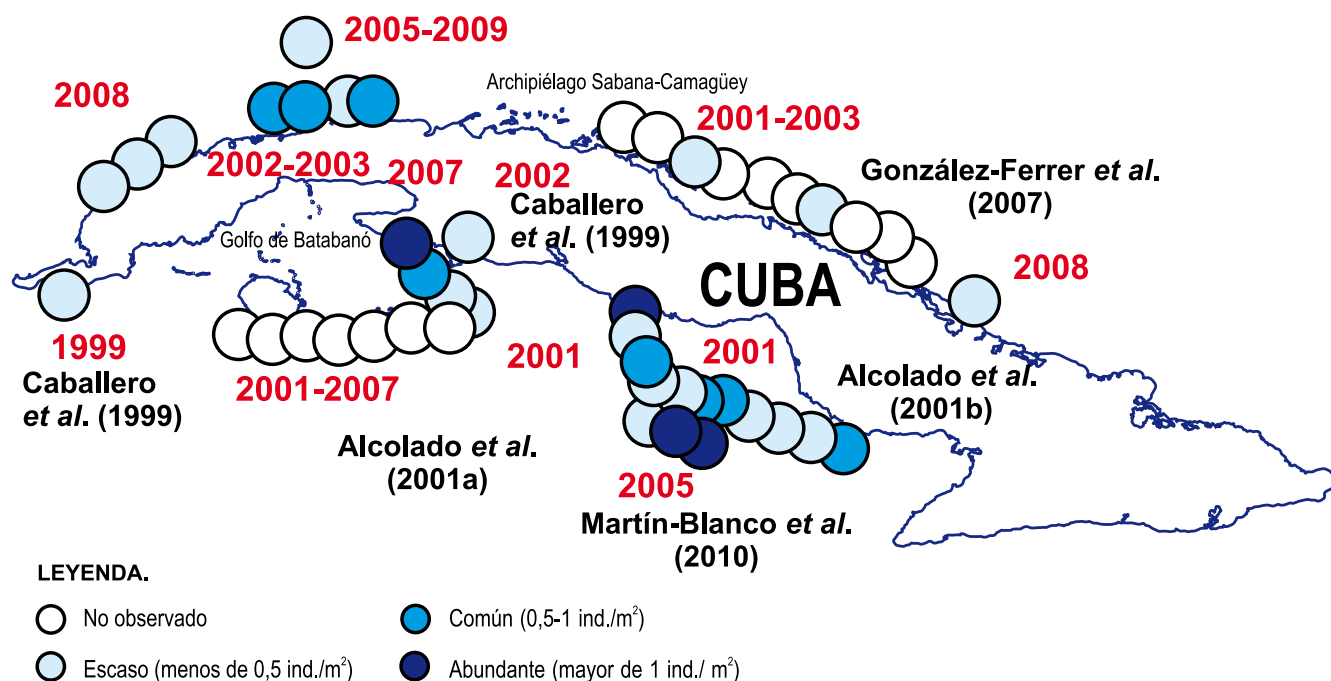
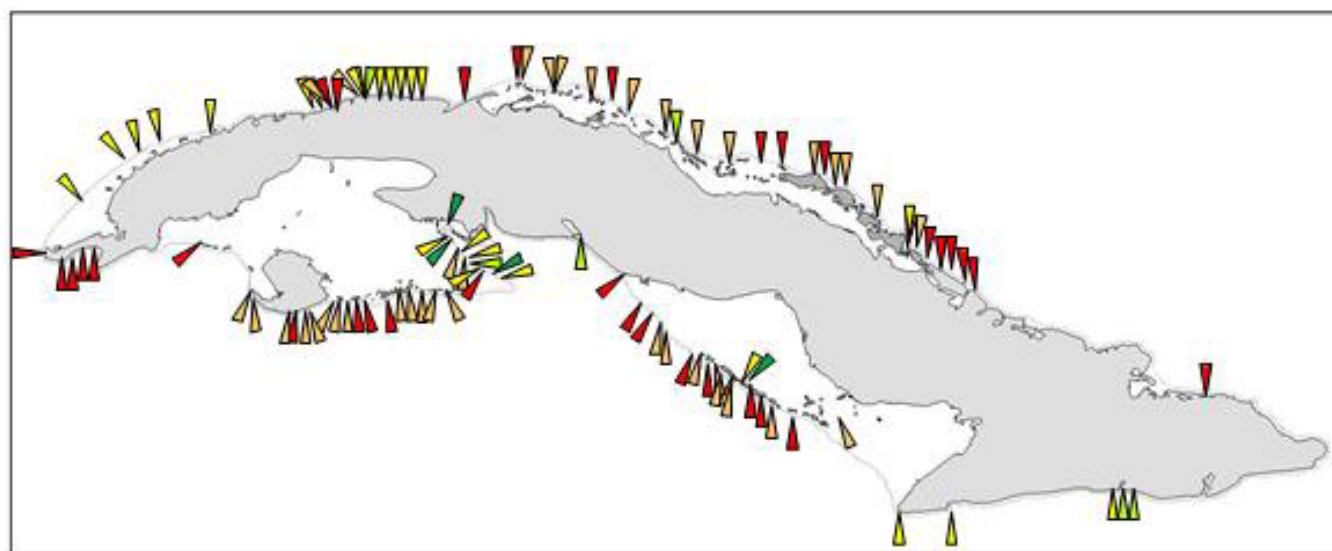


Figura 6.12. Abundancia del erizo negro (*Diadema antillarum*) en Cuba. Tomado de Alcolado *et al.*, 2011

6.4.6.1.3. Deterioro masivo de las crestas de los arrecifes coralinos

A partir de datos del Instituto de Oceanología, publicaciones, informes y reportes de la *Red de Monitoreo Voluntario de Alerta Temprana de Arrecifes Coralinos de Cuba*, el 70% de las crestas arrecifales están muy deterioradas; 21% deterioradas, y solo unas pocas (8%) en buen estado o poco deterioradas (Alcolado *et al.*, 2011, figura 6.14). Según Alcolado *et al.*, (2009), desde la destrucción física de las crestas arrecifales producida por el Huracán Gilbert y las subsiguientes TSM propiciadoras de blanqueamiento en 1993, 1995, 1997 y 1998, 1999 y 2000 se empeora el deterioro de los arrecifes coralinos en la costa sur de Cuba. Sin embargo, a partir de la figura 6.14 (Alcolado *et al.*, 2011), se infiere que la costa sur de Cuba posee los arrecifes coralinos mejor conservados. Según el número de localidades con diferente grado de conservación de las crestas arrecifales (escala de clasificación del grado de deterioro tomado de Alcolado *et al.*, 2011), en la región sur occidental, desde Guanahacabibes hasta Cienfuegos el 11%; y en la región sur centro oriental, desde Cienfuegos hasta Maisí, el 16% de las crestas arrecifales están en buen estado o poco deterioradas. Las zonas, noroccidental y el resto de la costa norte (desde Varadero hasta Holguín) solo se mantienen en buen estado el 4% de las crestas arrecifales evaluadas.



	En buen estado	3,5%	Sanas o casi sanas	7,8%	7,8%
	Poco deterioradas	4,3%			
	Deterioradas	20,9%	Deterioradas	20,9%	91,3%
	Muy deterioradas	40,0%	Muy deterioradas	70,4%	
	Extremadamente deterioradas	30,4%			

Figura 6.14. Estado general de las crestas de arrecifes de Cuba según la escala de clasificación del grado de deterioro. Tomado de Alcolado *et al.*, 2011

6.4.6.1.4. Cambios en los patrones de predominio de especies

Se produjeron cambios en el predominio de especies de corales hacia las que son más tolerantes a la sedimentación y el oleaje, y con crecimiento más rápido, como ocurrió en los cayos Palomo, Cantiles, Rosario y Rico en el la región suroccidental de Cuba entre los años 2001 y 2007 (Alcolado *et al.*, 2009, figura 6.15). Entre los corales de rápido crecimiento:

- *M. complanata* es muy resistente al oleaje y por su forma es poco afectado por la sedimentación (Alcolado *et al.*, 2009). La ocupación de esta especie es poco deseable desde el punto de vista del buceo, por su carácter muy urticante y, desde el punto de vista ecológico, por limitar la posibilidad que el espacio ocupado por esta sea recuperado por *A. palmata*, coral típico y de ventajosa función de refugio de organismos diversos, y de mantenimiento de la estructura física de la cresta, que no suple la especie sustituta. Por otra parte *A. palmata*, por su profusa ramificación y fortaleza, disipa con mayor efectividad la energía del oleaje.
- *P. astreoides* es resistente al oleaje, que por su hábito incrustante apenas contribuye a la armazón de la cresta ni funciona como refugio. Su extensión sobre el fondo también debe limitar la posibilidad de reclutamiento de nuevas *A. palmata* (Alcolado *et al.*, 2009).
- *Prolifera*, si bien puede crear abundante refugio con sus ramas, estas no tienen el grosor ni fortaleza de *A. palmata* como para garantizar la integridad futura de una cresta, y sus poblaciones pueden ser fácilmente destruidas por otro ciclón (Alcolado *et al.*, 2009).

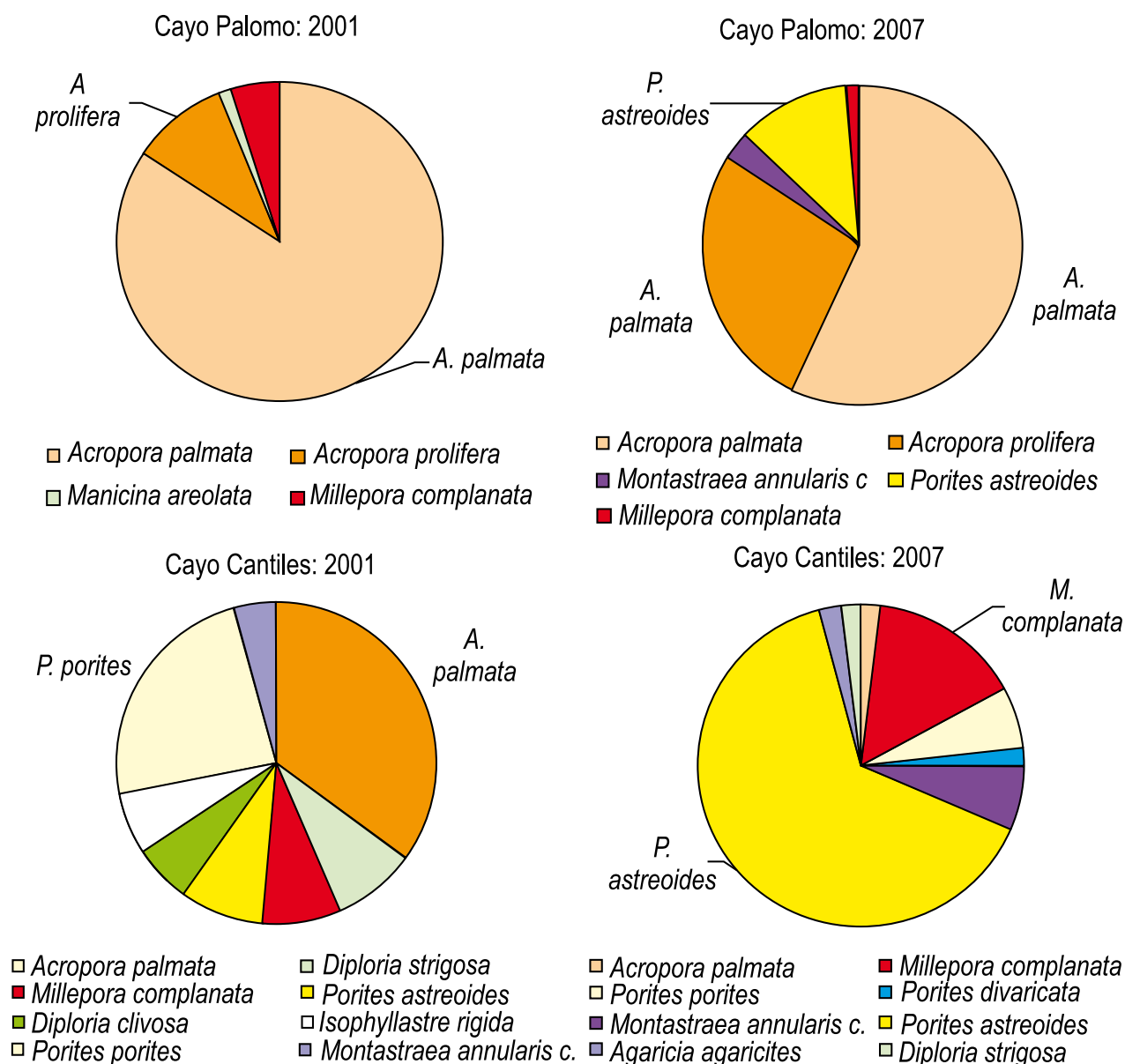
Estos cambios vienen sucediendo desde poco después de 1988 en los sitios del sur del golfo (Alcolado *et al.*, 2009), produciendo la pérdida de solidez de las crestas, el desarrollo estructural de su armazón y la funcionalidad de una cresta normal y, al menos las dominadas por el coral de fuego, deben haber perdido en buena parte la capacidad de volver a su estado inicial en un plazo corto o mediano. Solo la cresta donde *A. palmata* cedió parte de su predominio a *A. prolifera* (Boya de cayo Palomo) conserva el potencial de volver a su estado inicial, si una menor frecuencia e intensidad de los ciclones permite a *A. palmata* recuperar su predominio por diferentes mecanismos (por reclutamiento de nuevas colonias, refinación y desarrollo a partir de fragmentos vivos, o recapamiento de las ramas muertas por tejido vivo remanente o por tejido de nuevos reclutas).

6.4.6.1.5. Pérdida de funciones protectoras del ecosistema arrecifal

Las crestas coralinas se están volviendo menos efectivas como refugio para peces y como disipadoras del oleaje, a causa de la pérdida de complejidad estructural (Alcolado *et al.*, 2011). A lo largo de las últimas cuatro décadas, la complejidad arquitectónica del arrecife se está destruyendo más rápido de lo previsto en todo el Gran Caribe, ya que los esqueletos remanentes de los corales que van muriendo, sufren erosión acelerada (Álvarez-Filip *et al.*, 2009). Esto da lugar al fenómeno que los autores llaman “aplanamiento de arrecifes” (*reef flattening*). Debido a este proceso, los arrecifes van dejando de ejercer sus funciones ecológicas (refugio para depredadores y presas, protección de la base rocosa del arrecife) y de brindar sus

servicios ambientales (protección costera, pesca, turismo). Según los autores citados, la proporción de arrecifes con relieve complejo se ha reducido, aproximadamente, de 45% en 1969 a solo 2% en 2008. Una extrapolación de la tendencia de pérdida de complejidad arquitectónica, pronostica la desaparición de los arrecifes con estructura compleja para el año 2015 en el Gran Caribe. Por otra parte, deben reducirse enormemente las expectativas de recuperación de los arrecifes a través del recapamiento con tejido vivo de coral (Jordan-Dahlgren, 1992) y del reclutamiento de corales sobre las estructuras remanentes de antiguos corales.

La tasa de disminución anual promedio del cubrimiento vivo del fondo por corales pétreos para las crestas de arrecifes y para los arrecifes frontales de Cuba son de 1,76%/año y 1,42%/año respectivamente, con un promedio conjunto de 1,57%/año (Alcolado *et al.*, 2011). La disminución del cubrimiento vivo del fondo por corales pétreos constituye una pérdida de hábitat y afectación al ciclo de vida de numerosas especies arrecifales.



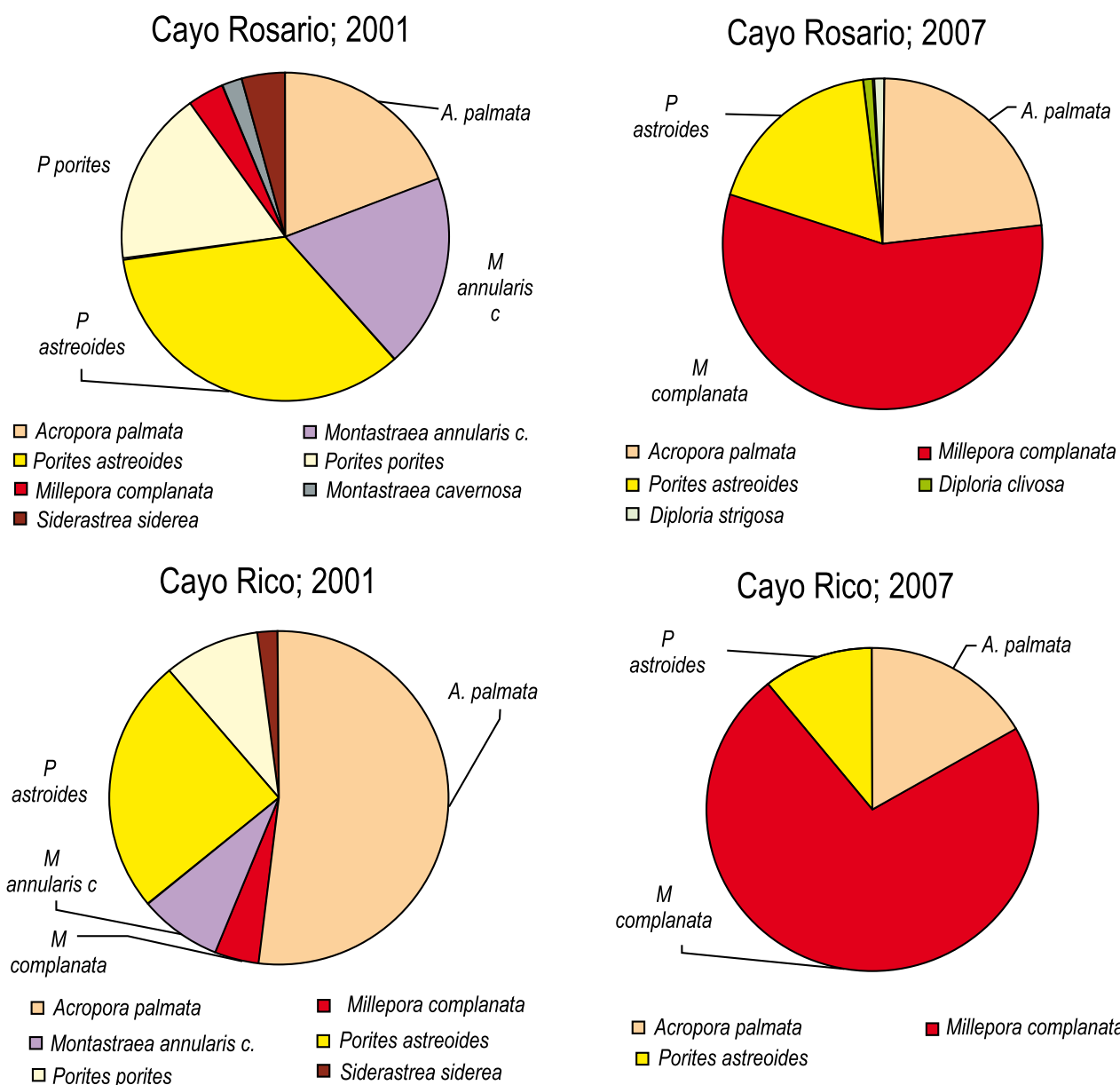


Figura 6.15. Porcentaje numérico de colonias de las especies de corales duros en los sitios de crestas. Tomado de Alcolado *et al.*, 2009

6.4.6.1.6. Incremento de las enfermedades por microorganismos

La incidencia de enfermedades producidas por microorganismos en arrecifes coralinos es generalmente inferior al menos de 2% de las colonias, y raramente excede de 5%. Las enfermedades más frecuentes observadas han sido plaga blanca, manchas oscuras, mancha amarilla, viruela blanca y banda blanca (en *Acropora cervicornis* principalmente). La banda negra es común pero ha aparecido en pocas colonias.

Las disminuciones en los porcentajes de corales enfermos no son significativas, y es notoria la frecuencia de valores cero en 2007, lo que pudiera ser una señal incipiente de una adaptación de los corales mediante reajustes de sus asociaciones microbianas, como se plantea en literatura reciente (Alcolado *et al.*, 2009).

El Caribe ha sido blanco de acción de enfermedades que han ocasionado serios problemas a los arrecifes coralinos y por tanto a la biodiversidad marina de la región, en general. La enfermedad de banda blanca provocó la muerte de miles de colonias de dos especies fundamentales en la construcción durante siglos de arrecifes; *Acropora palmata* y *Acropora cervicornis* por lo que desde el año 1972 se encuentran en la Lista de Especies Amenazadas (Aronson y Precht 2001).

6.4.6.2. LAS TORTUGAS

6.4.6.2.1. Proporción de sexos de las tortugas

El incremento anual en la proporción sexual favorable a las hembras, observado en las áreas de pesca de Nuevitas y Cocodrilo (Isla de la Juventud), a partir del monitoreo entre los años 1995 y 2006 para la tortuga carey, indica un predominio de las hembras en esas áreas (Moncada *et al.*, 2010).

A la temperatura de incubación de 29 °C, conocida como temperatura pivote, nace un 50% de cada sexo. Al aumentar la temperatura del aire aumenta la temperatura de incubación y se obtienen cada vez porcentajes más elevados de hembras, como indican estimaciones realizadas en diferentes playas de Centroamérica, Gran Caribe y la Florida en las que se han estimado porcentajes de hembras superiores al 95%.

6.4.6.2.2. Área de cría e interrupción del ciclo de vida de las tortugas

La evidencia de afectación de las tortugas marinas producto de factores asociados al cambio climático en Cuba está dada por la coincidencia de la temporada reproductiva con la temporada ciclónica, que provoca la destrucción de los huevos, nidos y neonatos (Moncada *et al.*, 2010), observado en los Archipiélagos de los Canarreos y Jardines de la Reina (tabla 6.14) durante el paso del huracán Paloma en el 2008 y en la Península de Guanahacabibes (tabla 6.15).

Tabla 6.14. Evaluación de pérdida de nidos causada por los ciclones en temporadas de reproducción en algunos sitios del Archipiélago de los Canarreos

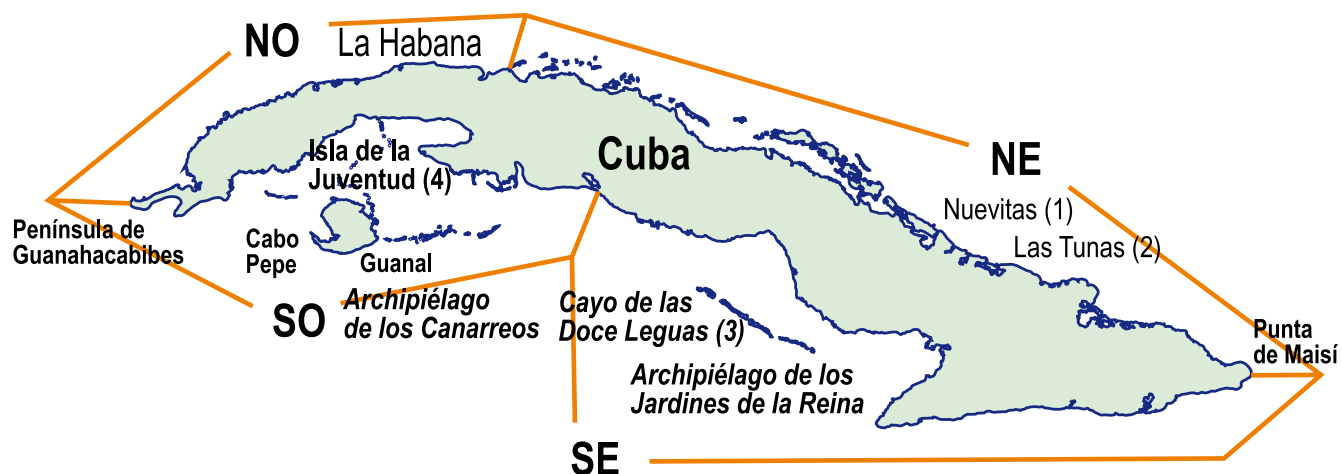
HURACANES 2008	ÁREA DE ANIDACIÓN	NIDOS DESTRUIDOS	ESPECIE	% DE PÉRDIDA	ESTIMACIÓN DE TOTAL DE HUEVOS DESTRUIDOS
Gustav e Ike	San Felipe	96	T. verde Caguama Carey	43,0	11 136
	Guanal	90	T. verde Caguama	28,3	10 500

Tabla 6.15. Evaluación de pérdida de nidos, huevos y neonatos, causada por tormentas y ciclones en temporadas de reproducción en la Península de Guanahacabibes (Azanza, 2009)

AÑO	2002	2003	2004	2005	2007
Tormentas	Isidore y Lily	Claudette	Charley e Iván	Arlene, Katrina y Wilma	Dean
Nidos destruidos	31	26	81	136	28
Huevos destruidos	3 019	2 964	9 234	15 504	3 192
Nidos eclosionados	607	168	60	113	309
Producción de huevos	69 198	19 152	6 840	12 882	35 226
Producción de neonatos	55 358	15 332	5 472	10 306	28 181
Porcentaje de pérdida	5	13	57	55	8

6.4.6.2.3. Nidificación y reproducción

Como consecuencia del aumento del nivel medio del mar, la incidencia de tormentas y huracanes en las áreas de cría, se producirán cambios en la nidificación y el comportamiento reproductivo de tres especies de tortugas, que se caracterizan por hacer usos diferentes de la playa para estos fines: el carey próximo o dentro de la vegetación, la caguama próxima a la línea de marea, y la tortuga verde intermedia, aunque más cercana a la vegetación (Moncada *et al.*, 1998; Nodarse *et al.*, 2004). Estos cambios fueron documentados en las playas de la Península de Guanahacabibes por Ibarra *et al.*, 2008 y Azanza, 2009). Las principales zonas de anidación de las tortugas en Cuba se encuentran en la costa sur (figura 6.16), donde son más frecuentes las afectaciones producidas por tormentas y huracanes.

**Figura 6.16.** Sitios de monitoreo: anidación (Archipiélago de los Canarreos, Archipiélago Jardines de la Reina y Península de Guanahacabibes). Tomado de Moncada *et al.*, 2010

6.4.6.2.4. Área de anidación del Carey

La afectación que provocan los huracanes y tormentas severas en las costas de arena, en ocasiones producen la pérdida de la playa, como en Cayo Anclitas, debido a la erosión y afectación a la vegetación por el paso de huracanes y en Cayo Alcatraz, ambos sitios en los Cayos y Laberinto de las Doce Leguas (Archipiélago Jardines de la Reina), principal área de anidación del Carey en Cuba (Moncada *et al.*, 1998, 1999).

6.4.6.2.5. Destrucción de huevos, nidos y neonatos

Según Moncada (2010) y Azanza (2009), la destrucción de huevos, nidos y neonatos provocará una disminución de las poblaciones de tortugas en aguas cubanas así como en las aguas del Caribe teniendo en cuenta que este es uno de los grupos de organismos marinos migratorios.

6.4.6.3. Cianobacterias en fitoplancton

Los resultados obtenidos por Loza (2010), indican que de 1996 al 2006, la riqueza de especies de cianobacterias se ha incrementado tanto en aguas costeras como en aguas oceánicas alrededor de Cuba (tabla 6.16), lo que pudiera estar relacionado con el incremento de temperatura superficial del mar reportado por Fernández-Vila *et al.*, 2010.

Tabla 6.16. Variación en el número de taxones de cianobacterias en las aguas marino-costeras de Cuba

ZONA COSTERA			
Región	Cruceros	Número de taxones	Bibliografía
Plataforma NW	1967-1972	7	López-Baluja y Borrero (1977)
	1977-1978	8	Popowski, López-Baluja y Borrero (1982)
	2001-2006	27	Loza (2004) y Carmenate <i>et al.</i> (2007)
Plataforma SW	1977	8	López-Baluja <i>et al.</i> (1980)
	1998-2000	37	Loza <i>et al.</i> (2003)
ZONA PELÁGICA			
Aguas oceánicas adyacentes	1968	3	López-Baluja y Vinogradova (1972)
	1981	4	Popowski y Campos (1987)
	1965-1985	8	López-Baluja <i>et al.</i> (1992)
	1989-2005	23	Loza (2010)

6.4.6.4. Reclutamiento de langosta espinosa y capturas

Según Puga *et al.* (2010), se produjo un descenso de los desembarques de langosta en Cuba de hasta un 54%, independientemente de los niveles de esfuerzo ejercidos, y un descenso del reclutamiento a un 65% entre 1991 y 2002 y a un 40% a partir de 2003, en relación con el período de mayor nivel que abarcó de 1979 a 1987 (figura 6.17).

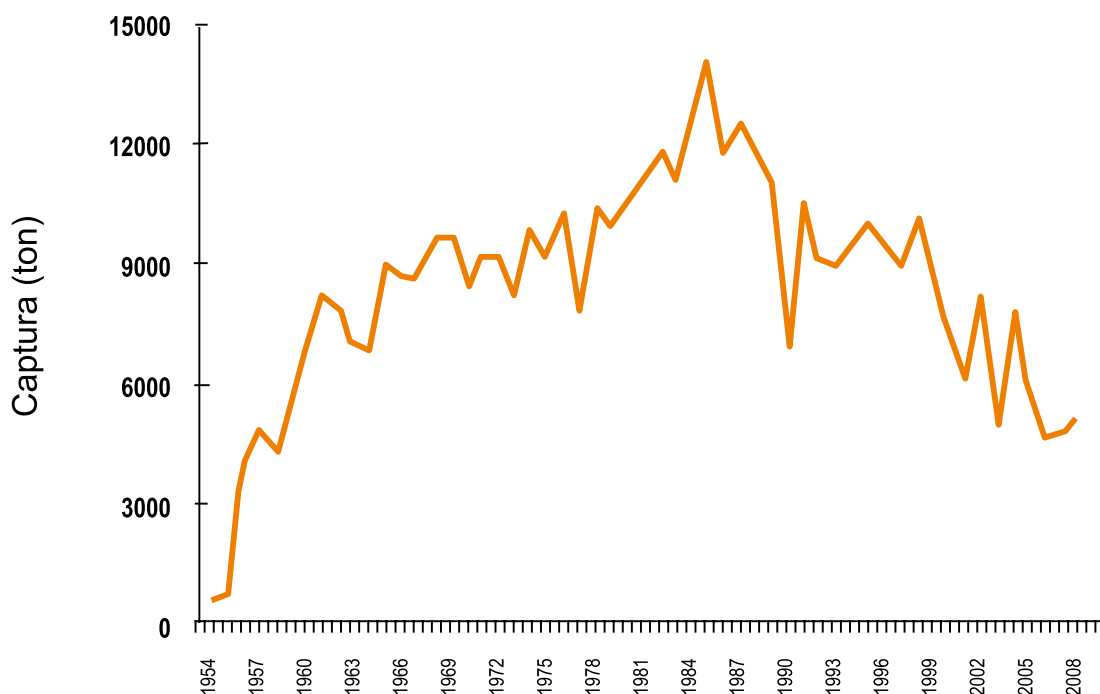


Figura 6.17. Variaciones anuales de la captura de langosta en Cuba. Datos a partir de estadísticas oficiales del MINAL Tomado de Puga *et al.*, 2010

Los mencionados autores señalan que después de un período prolongado de 12 años (1978-1989), con capturas altas de forma sostenida, los desembarques de langosta en Cuba han descendido hasta un 54% en la actualidad, independientemente de los niveles de esfuerzo ejercidos. La disminución del esfuerzo pesquero entre 1991 y 1995 debido al período especial, y el perfeccionamiento del sistema de manejo desde 1999 (disminución del esfuerzo, aumento del período de veda e incremento de la talla mínima legal) no han logrado revertir esta desfavorable situación.

Los resultados encontrados aportan fuertes evidencias de que la disminución del reclutamiento, y por lo tanto del tamaño de la población y de las capturas subsiguientes, se deben a la sinergia entre la intensa explotación pesquera, actuando sobre la abundancia de la población, y factores climáticos y antrópicos, influyendo sobre el hábitat oceánico y de plataforma que determina el éxito del reclutamiento (Puga *et al.*, 2010).

6.4.6.5. Biodiversidad marina en manglares de borde degradados

El manglar de borde y de cayo son los tipos de manglar más ampliamente distribuidos en la plataforma cubana, según la clasificación de los manglares propuesta por Lugo y Snedaker (1977). En segundo lugar se encuentran los manglares de ribera, con una distribución menor en el territorio nacional, pero de gran importancia en la desembocadura de los ríos y por tanto de importancia para el suministro de nutrientes y materia orgánica al medio marino. La mayor parte del borde entre el mar y la tierra del territorio nacional, se encuentra cubierta por manglares (70% según Menéndez *et al.*, 2000) y amplias zonas de la plataforma insular orlada por cayos y pequeñas islas formadas casi totalmente por manglares.

Estudios recientes (Hernández-Zanuy *et al.*, 2009), demuestran que en la costa sur occidental de Cuba, la vegetación marina es aun abundante en zonas frente a sectores costeros en los cuales se observó una elevada estabilidad de la línea de costa; así lo demuestra el fotomontaje de los años 1957, 1970, 1997 y 2000, correspondientes a manglares de borde que no han sido alterados por el hombre (figura 6.18).

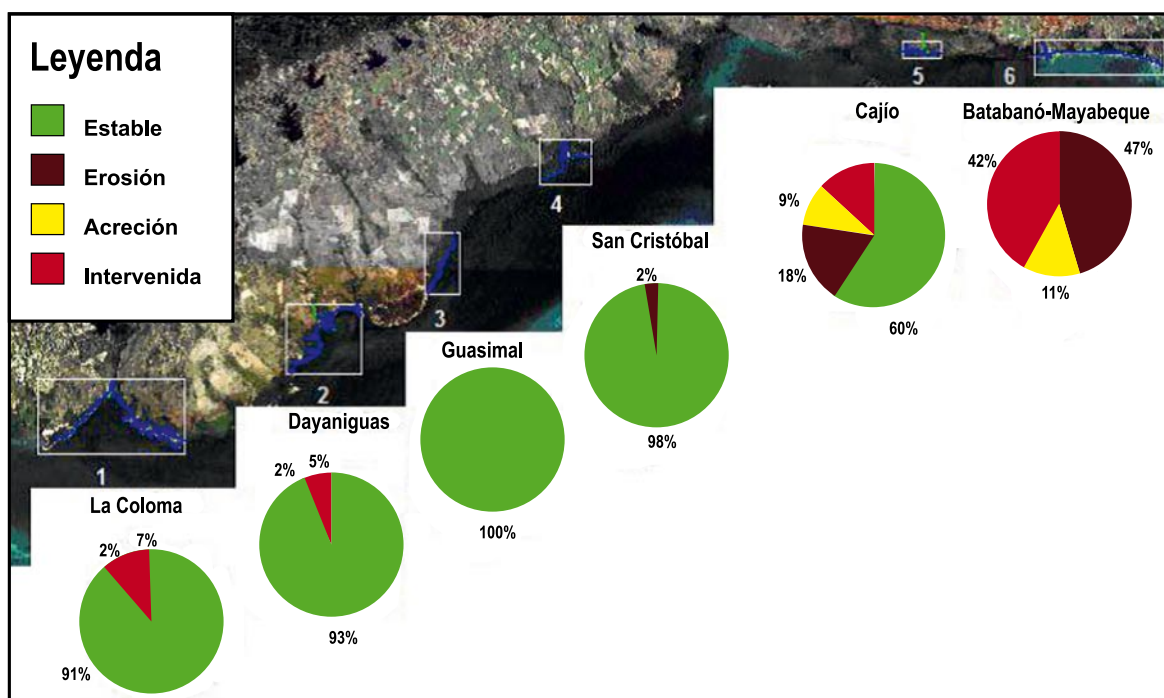
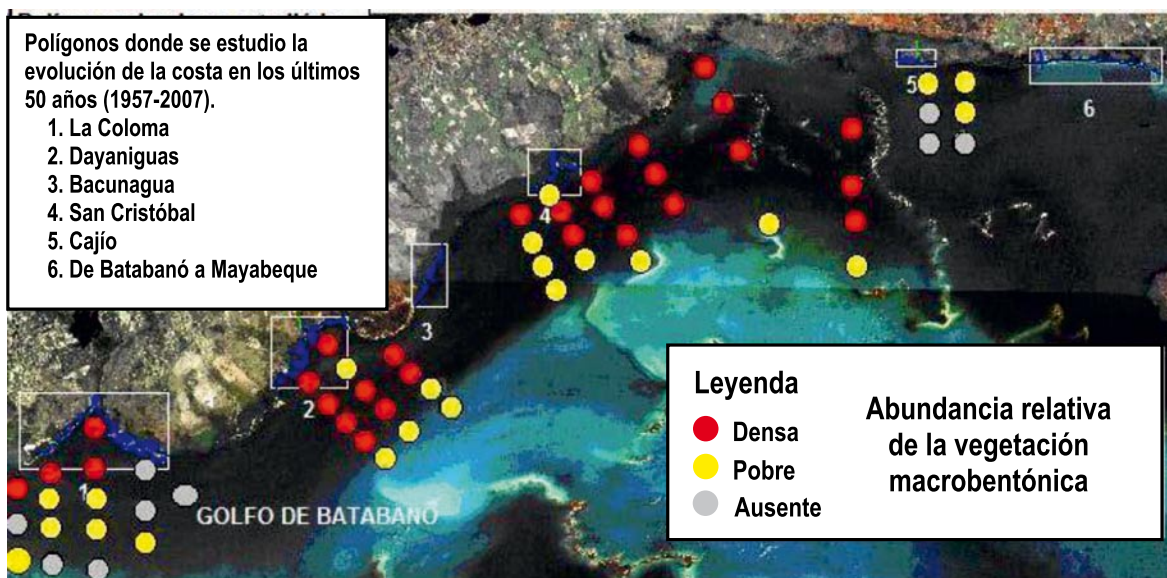


Figura 6.18. Estado de la línea costera expresado en el porcentaje que cada categoría: estable, erosión, acreción e intervenida, ocupa del total de la distancia de la costa medida en cada uno de las localidades. Para las mediciones se utilizaron los fotomontajes realizados con las fotos tomadas en los vuelos de 1957, 1970 y 1997

6.4.6.6. Riqueza y abundancia de esponjas

El aumento de la temperatura del mar afecta la frecuencia y severidad de las enfermedades, aumentando la virulencia de los patógenos, mientras que facilita la invasión de otros, al disminuir la resistencia y resiliencia de las esponjas (Webster, 2007). Aunque en Cuba no han sido detectadas con frecuencia enfermedades de esponjas, existe un antecedente en 1939, donde se perdieron entre el 70 y el 90% de las especies comerciales (Galstoff *et al.*, 1939; Smith, 1941). Existe la posibilidad de que sucesos similares a este se repitan, por la elevada incidencia que tiene en la región (Rützler, 1988; Paz, 1997; Cowart *et al.*, 2006; Wulff, 2006 b, c). Además, se dificulta la detección de estos eventos, debido a que por la consistencia de las esponjas, los individuos enfermos no perduran mucho tiempo, de modo que desaparece así toda evidencia de manera muy rápida. Por dicha razón no se descarta que las enfermedades también se encuentren afectando a las esponjas de Cuba.

6.4.5.7. Estructura de las comunidades de peces

Según Claro y colaboradores (2007) las comunidades de peces de los arrecifes de coral del Archipiélago Sabana-Camagüey sufrieron una disminución significativa de su densidad y biomasa como resultado de la reducción de la cobertura coralina, debido a varios eventos de blanqueamientos y subsecuentes incrementos de la cobertura algal.

6.4.6.8. Ecosistemas marinos y costeros y su función de sumideros

La retención de carbono estimada para los pastos marinos cubanos es tres veces mayor a la de los manglares (Martínez-Daranas, 2010), ya que ocupan un área cinco veces mayor, aunque la tasa de captura de carbono promedio mundial por parte de los manglares es superior a la de los pastos marinos, (tabla 6.17).

Tabla 6.17. Tasa de captura de carbono promedio anual (según Nelleman *et al.*, 2009) por los manglares y pastos marinos del mundo, área ocupada por los manglares y los pastos marinos cubanos, y la cantidad estimada de carbono enterrado anualmente por estos ecosistemas en Cuba (Martínez-Daranas, 2010)

ECOSISTEMAS	TASA CAPTURA PROMEDIO MUNDIAL (Ton C ha ⁻¹ año ⁻¹)	ÁREA QUE OCUPAN EN CUBA (ha)	CAPTURA CARBONO (Tg C año ⁻¹)
Manglares	1,39	527 452,8	0,73
Pastos marinos	0,83	2 656 300	2,20
Total	2,22	3 183 752,8	2,93

Según Martínez-Daranas (2010) con el valor capturado por pastos y manglares en conjunto, se estaría asimilando más del 40% del CO₂ emitido a la atmósfera por Cuba, según los datos del año 2004 (24 242,76 GgCO₂; López, Fernández, Manso, Valdés, León, Guevara, González, García, Legañoa, González, Dávalos, López, Pérez, Ricardo, Pire, Ameneiros, Mercadet y Álvarez, 2009) (figura 6.18).

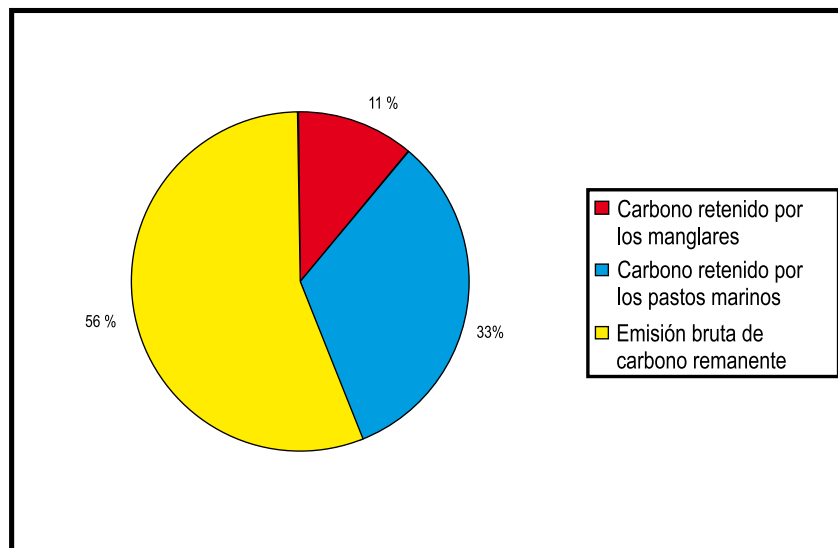


Figura 6.19. Proporción que representa la cantidad estimada de carbono retenida anualmente por los pastos marinos y manglares, de las emisiones de carbono por Cuba. El círculo representa el 100% de la emisión bruta de CO₂ de Cuba en el 2004 (López *et al.*, 2009). Tomado de Martínez-Daranas (2010)

BIBLIOGRAFÍA

1. Alcolado, P. M., Martínez-Daranas, B., Caballero-Aragón, H., Hidalgo-Rodríguez, G., Busutil-López, L., Durán-Rodríguez, A. y Lake-Barragán, J. J. (2009): Informe final de biología marina para el proyecto Gestión ambiental de la zona costera como contribución a la sostenibilidad del desarrollo turístico en Santa Lucía, Camagüey. Instituto de Oceanología, La Habana.
2. Alcolado, P. M., Ginsburg, R. N., Kramer, P., Kosminin, V., de la Guardia, E., González, S. & Hernández, M. (2001^a): Estado de salud del bentos de los arrecifes coralinos del sur y este del Golfo de Batabanó: Informe Preliminar de la Expedición CUBAGRRA. Marzo. (Informe final). Archivo del Instituto de Oceanología, Academia de Ciencias de Cuba.
3. Alcolado, P. M., Claro-Madruga, R., Martínez-Daranas, B., Menéndez-Macía, G., García-Parrado, P., Cantelar, K., Hernández, M. & del Valle, R. (2001b): Evaluación ecológica de los arrecifes coralinos del oeste de Cayo Largo del Sur, Cuba: 1998-1999. Bol. Mar. Coas. Res., 30, 109-13.
4. Alcolado, P. M., Caballero, H. & Perera, S. (2009^a): Tendencia del cambio en el cubrimiento vivo por corales pétreos en los arrecifes coralinos de Cuba. Serie Oceanológica, 5, 1-14.
5. Alcolado, P. M., Hernández-Muñoz, D., Caballero, H., Busutil, L., Perera, S. & Hidalgo, G. (2009b): Efectos de un inusual período de alta frecuencia de huracanes sobre el bentos de arrecifes coralinos. Rev. Cien. Mar. Cost., 1, 73-93.
6. Alcolado, P. M., Morgan, I. E., Kramer, P. A., Ginsburg, R. N., Blanchon, P., Guardia, E. de la, Kosminin, V., González-Ferrer, S. & Hernández, M. (2010): Condition of remote reefs off southwest Cuba. Ciencias Marinas, 36(2), 179-197.
7. Alvarez-Filip, L., Dulvy, N. K., Gill, J. A., Cote, I. M. & Watkinson, A. R. (2009): Flattening of Caribbean coral reefs: region-wide declines in architectural complexity. Proc. R. Soc. B.,

- (doi: 10.1098/rspb.2009.0339). <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2009.0339>.
8. Areces, A.J. (ed) (2002): Ecoregionización y clasificación de hábitats marinos en la plataforma cunama. Resultados. Taller celebrado del 20-23 de Mayo 2002. IDO. WWF-Canadá, Env. Def., CANAP, La Habana, Cuba 82 pp.
 9. Azanza Ricardo, J. (2009): Estrategia reproductiva de la tortuga verde, *Chelonia mydas*, (Testudines, Cheloniidae) y su impacto en la estructura genética de áreas de anidación del occidente del archipiélago cubano. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Biológicas, 135 pp
 10. Baisre, J. (1985): Los complejos ecológicos de pesca: definición e importancia en la administración de las pesquerías cubanas. FAO Fisheries Report, 327,251-272.
 11. Carmentate, M., S. Loza., Y. Pereiro y M. Sánchez (2007): Evaluación de la calidad de las aguas en una zona del litoral Noroccidental de Ciudad de la Habana (Cuba) utilizando las comunidades de fitoplancton como indicador. Proceeding III Convención de Medio Ambiente.
 12. Capote López, R.P. R.O. Cruz, y A. Vantour (2006): Fragmentación de Vegetación en el Archipelago Cubano; Conservación de Diversidad Biológica y Mitigación de Desertificación. Pp 33-36, 1 mapa. En Memorias 1er Taller Binacional y Regional sobre Desertificación. Eds. M. Riveros, L.E. Sánchez y J. Paoli. Editorial IVIC, Caracas, Venezuela. 150pp.
 13. CBD, 2009, Secretariat of the Convention on Biological Diversity Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. Montreal, CBD Technical Series. No. 41, 126 pages. www.biodiv.org.
 14. Cejas, F.; Amaro, S. Cifras Diversidad Biológica Cubana. Centro Nacional de Biodiversidad. <http://www.ecosis.cu/cenbio/biodiversidadcuba/varios/diversidadbiotacubanacifras.htm#diversidad>
 15. Centella, A. J, Llanes, L. Paz, C. López y M. Limia (2001): República de Cuba. Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La Habana, Instituto de Meteorología. 169 pp.
 16. CITMA (2009): IV Informe Nacional al Convenio sobre la Diversidad Biológica. República de Cuba, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.(Coord: Salabarría, D.; A. de la Torre; J.A. Hernández; L. Coya; M. Fernández; D. Vilamajó y R. Montiel). 197 pp.
 17. Claro, R. (Ed.) (2007): La biodiversidad marina de Cuba. Instituto de Oceanología, La Habana. CD-ROM, ISBN: 978-959-298-001-3. 317 pp. disponible en: <http://www.redciencia.cu/cdbio/>
 18. Cowart, J. D., Henkel, T. P., McMurray, S. E., y Pawlik, J. R. (2006): Sponge orange band (SOB): a pathogenic-like condition of the giant barrel sponge *Xestospongia muta*. Coral Reefs, 25: 513
 19. Cowen R. K., C. B. Paris, A. Srinivasan (2006): Scaling of Connectivity in Marine Populations. VOL 311 SCIENCE. Internet: www.sciencemag.org
 20. Fernández-Vila, L., Piñeiro, R., Pérez I., Simanca, J. y Vega, F. (2009): Evidencias oceanográficas del cambio climático en las aguas marinas cubanas. En. La biodiversidad marina y costera y el cambio climático en Cuba
 21. Fernández-Vila, L. J., Piñeiro, R., Pérez, I. y Simanca, J. (2008): Variabilidad espacio-temporal de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), en aguas oceánicas y de la plataforma cubana. En: Caracterización oceanográfica de la plataforma insular cubana y la influencia de variaciones antrópicas. Resultado No.1 del Informe final para el proyecto "Bases Oceanográficas para el estudio de las afectaciones del Cambio Global en la Biodiversidad Marina - Costera de Cuba". GEOCUBA Estudios Marinos, 47 pp. + Anexos.

22. Fernández-Vila, L., Piñeiro, R., Pérez I., Simanca, J. y Vega, F. (2009): Evidencias oceanográficas del cambio climático en las aguas marinas cubanas. En. La biodiversidad marina y costera y el cambio climático en Cuba.
23. Ferrás, H., A. López, A. Martell y A.G. Suárez (1999): Relaciones de la diversidad en la flora endémica cubana con la vegetación y la aridez del clima. II Estudio de las variables climáticas. Acta Botánica Cubana No 136.
24. Galstoff, P. S., Brown, H. H., Smith, C. L., and Walton Smith, F. G. (1939): Sponge mortality in the Bahamas. Nature, 143: 807-808.
25. Gitay, H. A.G.Suarez, R. Watson (eds) "Climate Change and Biodiversity" IPCC Technical Paper V, Grupo Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático (IPCC siglas en inglés). 78 pp. www.ipcc.int
26. Gitay H., Miguel Lovera, A. G. Suárez, Y. Tsubaki y R. Watson (2003): Chapter 3, Climate Change and Biodiversity: observed and projected impacts. En: "Interlinkages between Biological Diversity and Climate Change" Advice on the integration of biological considerations into the implementation of the United Nations Framework Convention on Climate Change and its Kyoto Protocol" Report of the Ad Hoc Technical Expert Group on Biological Diversity and Climate Change as CBD Technical Series #10, Biological Diversity Convention . www.cbd.org
27. Hernández, M; A Hernández; L Arriaza; J Simanca; S Lorenzo; S Cerdeira; L Rodas; G Díaz; I Hernández; O Marzo; J Chang; A Oviedo y H Alfonso (2005): Estimación de la tasa de incremento del nivel medio del mar a partir de mediciones directas y evaluación de su impacto en el Golfo de Batabanó y en la Península de Zapata. Proceedings de Geociencias 2005.Sociedad Cubana de Geología.5-8 Abril 2005. La habana, Cuba. 24pp. CD-ROM ISBN 959-7117-03-7.
28. Hernández-Zanuy A., R. T. Capote, P. Alcolado, E. Tristá, S. Lorenzo, B. Martínez, M. Hernández, M. Martínez, M. Esquivel, M. Guerra (2006): Diagnóstico para la rehabilitación ecológica del tramo de costa comprendido entre Surgidero de Batabanó y Mayabeque, costa sur de Cuba. Informe Final de Proyecto. Archivo Científico IDO, 120 pp.
29. Hernández-Zanuy, A. C., Alcolado, P. M., Caballero, H., Busutil, L., Perera, S., Hidalgo, G., Martínez-Daranas, B., Puga, R., Piñeiro, R., Capetillo, N., de León, M. E., Cobas, L. S., Lorenzo Sánchez, S., Esquivel, M., Guerra, R., Sosa, M. y Fernández-Vila, L. J. (2008): Evaluación de las posibles afectaciones del cambio climático a la Biodiversidad Marina y Costera de Cuba. Informe final para el proyecto "Bases Oceanográficas para el estudio de las afectaciones del cambio global en la biodiversidad marina y costera de Cuba". GEOCUBA Estudios Marinos - Instituto de Oceanología, La Habana, Cuba, 26 pp. + Anexos.
30. Hernández-Zanuy, A., Fernández Vila L., Alcolado M., Puga R., Martínez-Daranas B., Lorenzo Sánchez S., Hernández-Muñoz D., Caballero H., Busutil L., Perera S., Hidalgo G., Piñeiro R., Capetillo N., de León M. E., Cobas S., Pérez Santos I., Simanca J., Vega F., Macario Esquivel, Guerra R. y M. Sosa. (Informe Final de Proyecto del Programa Nacional de Cambios Climáticos, 2007-2008. Archivo Instituto de Oceanología, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-298-017-4
31. Hernández-Zanuy A. y Alcolado P. M. (2010): Primer Taller de la Red CYTED "Evaluación integral de la biodiversidad en ecosistemas marinos y costeros del litoral de iberoamérica" Memorias
32. Ibarra, M. E. Azanza. J. & Hernández. J. (2008, diciembre): Cambios climáticos y su impacto en la conservación de las tortugas marinas. Ponencia presentada en el VIII Congreso Latinoamericano de Herpetología.Cuba.
33. IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and

- H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
34. Jordán-Dahlgren, E. & Rodríguez-Martínez, R. E. (1998): Post hurricane initial recovery of *Acropora palmata* in two reefs of the Yucatán Peninsula. México. *Bul. Mar. Sci.*, 63(1), 213-228.
 35. López, C., Fernández, P. V., Manso, R. W., Valdés, A., León, A., Guevara, A. V., González, C., García, M. E., Legañoa, G., González, T. M., Dávalos, J., López, I., Pérez, D., Ricardo, H., Pire, S. F., Ameneiros, J. M., Mercadet, A. y Álvarez, A. (2009): Emisiones y remociones de gases de invernadero en Cuba. Reporte preliminar para el año 2004 y Actualización para el período 1990-2002. CITMA/ AMA/ Instituto de Meteorología, La Habana, 37 pp.
 36. López-Baluja, L. y L. Vinogradova 1972. El fitoplancton en aguas adyacentes al archipiélago cubano. *Ser. Oceanol., ACC*, 13: 1 - 24.
 37. López-Baluja, L. y N. Borrero 1977. Lista de especies de algas unicelulares para las aguas de la plataforma cubana. *Acad. Cien. Cuba. Inf. Cient. -Tec.* (11): 20pp.
 38. López-Baluja, L.; G. Popowski y Arujo, M. (1980): Comparación entre el fitoplancton colectado con red y con botella hidrográfica en la región NW de la plataforma de Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 1(1): 105-153.
 39. López-Baluja, L., Zernova, V.V. y Semina, G. I. (1992): El fitoplancton de aguas cubanas y del Golfo de México (en ruso). Nauka Press, Moscow, Rusia. 215 p.
 40. López, A. (1998): Algunas características del endemismo en Cuba Oriental. En: La diversidad biológica de Iberoamérica II, Volumen especial, *Acta Zoológica Mexicana*, nueva Serie. Ed. Gonzalo Halffter. Instituto de Ecología, Xalapa, pp. 83- 110.
 41. Loza, S. (2010): Estructura y funcionamiento del fitoplancton menor de 133 µm en las aguas oceánicas de Cuba. Tesis en Opción al Grado de Dr. en Ciencias Biológicas, 150 p.
 42. Loza, S., K. Barrios, M.E. Miravet, M. Lugioyo, E. Perigó y M. Sánchez. 2003. Respuesta del Fitoplancton ante el estrés ambiental en los ecosistemas arrecifales. *Protección del Hombre y la Naturaleza. Cátedra de Educación Ambiental. Vol. VIII. Soporte Magnético: 21-24 pp.*
 43. Loza, S. (2004): Fitoplancton. En: *Calidad Ambiental de la Zona Costera al Oeste de Ciudad de la Habana* (S. Cerdeira, A. Areces, J. F. Montalvo, S. Loza, R. del Valle, Y. Delgado, M. Sosa, L. Rivas, R. Guerra, S. González, Z. Marcos, J. Gutiérrez, S. Lorenzo, I. García, M. Sánchez, R. Núñez, M. E. César, S. Esponda, V. Delgado, R. García, J. L. Hernández, M. Hernández, A. Niévares). Informe Final. *Arch. Cient. Inst. Oceanol*, 66 pp.
 44. Martínez-Daranas, B., Cano-Mallo, M., Díaz-Larrea, J., Pérez, D. M., Esquivel, M. y Hernández, M. (2005b): Estado de Conservación de los Pastos Marinos del Golfo de Batabanó. Informe final de Resultado para el Proyecto de investigación "Hacia el uso sostenible del Golfo de Batabanó: Análisis de sistemas y modelación de escenarios", Archivo Científico, Instituto de Oceanología, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, 25 p.
 45. Martínez-Daranas, B., Cano-Mallo, M., Perdomo, M. E., Clero-Alonso, L., Díaz-Larrea, J., Guimaraes, M., Zúñiga-Ríos, D., Alcolado, P. M., Duarte, C. M. y Siret, S. (2007): 4.2. Estado de los pastos marinos. En: P. M. Alcolado, E. E. García & M. Arellano-Acosta. (Eds.) *Estado de los ecosistemas marinos y costeros, y algunas características ambientales y tendencias. Ecosistema Sabana-Camagüey: Estado actual, avances y desafíos en la protección y uso sostenible de la biodiversidad.* (pp. 51-56). Editorial Academia, La Habana
 46. Menéndez, L. y a. Priego (1994): Los manglares de Cuba: Ecología. 64-75 pp. En Suman, D. (Ed.) *El ecosistema de manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe: su manejo y conservación.* Rosenthal School of Marine and Atmospheric Science and The Tinker Foundation. 263 pp.

47. Menéndez, L., J.M. Guzmán, R.T. Capote, L.F. Rodríguez y A.V. González: Situación de los manglares del Archipiélago Cubano. Casos de estudios: Archipiélago Sabana Camagüey ç, franja sur de la Habana, y costa norte de Ciudad Habana. p 435-451. En Memorias IV Convención nacional sobre medio ambiente y desarrollo. CDs-ROM. La Habana, Cuba 1013 pp.
48. Menéndez, L. y Guzmán, J. M. (Eds.) (2006): Ecosistemas de manglar en el archipiélago cubano. Editorial Academia, La Habana, Cuba, 473 p. Menéndez, L. J.M, Guzmán y A. Priego, 2006. Manglares del Archipiélago Cubano: aspectos generales. Pp. 17-27. En (L. Menéndez y J. M. Guzmán, eds.). El ecosistema de manglar en el Archipiélago Cubano: estudios y experiencias enfocados a su gestión. Editorial Academia 331 p.
49. Menéndez L., A. González, J. M. Guzmán, L. Rodríguez, R. Capote, R. Gómez, R. T. Capote, I. Fernández, R. Oviedo, P. Blanco, C. Mancipa y Y. Jiménez (2000): Bases Ecológicas para la Restauración de Manglares en Áreas Seleccionadas del Archipiélago Cubano y su relación con los Cambios Climáticos Globales (Código 01302123). Programa Nacional de Cambios Globales y Evolución del Medio Ambiente Cubano.
50. Mitrani, I., R. Pérez Parrado, Y. Juantorena, I. Salas, O. F García, M. Ballester, P. Beauballet, C. Rodríguez y A. L. Pérez (2000): Las penetraciones del mar en las costas de Cuba, las zonas más expuestas y su sensibilidad al cambio climático. Informe de resultado científico INSMET- IPF, La Habana. 102 pp.
51. Moncada, F. Pérez, C., Nodarse, G., Elizalde, S., Rodríguez, A. M., & Meneses, A. (1998): Reproducción y anidación de *E. imbricata* en Cuba. Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras. 22 (1), 101-116
52. Moncada, F., Carrillo, E., Saenz, A. & Nodarse, G. (1999): Reproduction and nesting of the hawksbill Turtle, *Eretmochelys imbricata*, in the Cuban Archipelago. Chelonian Conservation and Biology (3), 257-263.
53. Mumby P. J. (2005): Connectivity of reef fish between mangroves and coral reefs: Algorithms for the design of marine reserves at seascape scales. Elsevier, pp 2-8.
54. Mumby P., Alasdair A., J. E. Arias-González, K. Lindenman, P. Blackwell, Gall A., M. Gorczynska, A. Harborne, C. Pescod, H. Renken, C. Wabnitz, G. Llewellyn (2004): Nature. Vol. 427.
55. Nagelkerken I., Veldea G. van der, Gorissen M. W., Meijera G. J., Hofc T. van'ty Hartoga C. (2000): Importance of Mangroves, Seagrass Beds and the Shallow Coral Reef as a Nursery for Important Coral Reef Fishes, Using a Visual Census Technique. Internet: online at <http://www.idealibrary.com>
56. Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdés, L., DeYoung, C., Fonseca, L. & Grimsditch, G. (Eds.) (2009): Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. Birkeland Trykkeri AS, Norway, 78 p.
57. Nodarse, G., Moncada, F., Rodríguez, C., Escobar, C., Hernández, F. & Ávila. O. (2004): Marine turtles nesting in Cuban archipelago in 2002 and 2003. En: Mast, R.B., B. J. Hutchinson y A. H. Hutchinson. Proceeding of the Twenty-fourth Annual Sea Turtles Symposium. U.S. Dep. Commer. NOAA. NMFS-SEFSC-567, p. 144.
58. Parry, M. L.; O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (2007): Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK,
59. Paz, M. (1997): New killer disease attacks giant barrel sponge. San Pedro Sun, Belize: 7 March. <http://sanpedrosun.net/old/sponge.html>
60. Pielou, E.L. (1969): An introduction to Mathematical Ecology, John Wiley, New York
61. Pineda, F.D., Nicolas, J.P., Ruiz, M., Peco, B. & Bernáldez, F.G. (1981): Succesion, diversité et amplitude de niche dans les pâturages du Centre de la Péninsule Ibérique. Vegetatio 47: 267-277.

62. Popowski, C. G. y Campos, A. (1987): Estructura comunitaria del plancton oceánico alrededor de Cuba en marzo de 1981. Reporte de Investigación, 64, 1-15.
63. Popowski, C. G., López-Baluja, L y Borrero, N. (1982): Distribución del fitoplancton en la región noroccidental de la plataforma de Cuba. Ciencias Biológicas, 7, 33 -51.
64. Puga R., Piñeiro, R., Capetillo, N., de León, M.E. & Cobas, S. (2009): Caso de estudio 2: Estado de la pesquería de la langosta espinosa (*Panulirus argus*) y su relación con factores ambientales y antrópicos en Cuba. En: Hernández A. *et al.* Evaluación de las posibles afectaciones del cambio climático a la biodiversidad marina y costera de Cuba. ISBN: 978-959-298-017-4. <http://www.redciencia.cu/>
65. Reig, *et al.*; En: UNEP (1995): Global Biodiversity Assessment. United Nations Environmental Programme. (UNEP) Cambridge University Press, 1140 pp.
66. Rodríguez, L., J. M. Guzmán y L. Menéndez (2008): Los manglares del archipiélago Sabana Camagüey: posibles escenarios en relación con el cambio climático. Pp. 101-109 en Efecto de los cambios globales sobre la biodiversidad (A. Volpedo y L. Fernández, eds.). Red 406RT0285 "Efecto de los Cambios Globales sobre los Humedales de Iberoamérica". Programa CYTED.
67. Rützler, K. (1988): Mangrove sponge disease induced by cyanobacterial symbionts: failure of a primitive immune system? Dis. Aquat. Organ, 5: 143-49.
68. Samek, V. (1973): Regiones Fitogeograficas de Cuba. Academia de Ciencias. Serie Forestal 15; 163.
69. Smith, F. G. W. (1941): Sponge disease in British Honduras, and its transmission by water currents. Ecology, 22: 415-421.
70. Suman, D. (1994): El Ecosistema de manglar en América Latina y la Cuenca del Caribe. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science. Universidad de Miami & the Tinker Foundation. New York. 263 p.
71. Suárez, A.G., Lopez, A., Ferras, H., Chamizo, A., Vilamajó, D., Martell, A., Mojena, E. (1999): Capítulo 6 Biodiversidad y Vida Silvestre. En: Gutierrez, T., A. Centella, M. Limia and M. López (eds.). Impactos del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba. Proyecto No. FP/CP/2200-97-12, UNEP INSMET, La Habana, Cuba 164-178 pp.
72. Vales, M. A.; Álvarez, A. L. Montes y A. Ávila (compiladores) (1998): Estudio Nacional de la Diversidad Biológica en la República de Cuba. 488 pp. Editorial CESYTA, España.
73. Verweij M. C., Nagelkerken I. Graaff D., Peeters M., Bakker E. J., Velde G. van der. (2006): Structure, food and shade attract juvenile coral reef fish to mangrove and seagrass habitats: a field experiment. Mar Ecol Prog Ser. Vol. 306: 257-268, 2006. Pp 257-268.
74. Webster, N. S. (2007): Sponge disease: a global threat? Environmental Microbiology, 9(6): 1363-1375.
75. Wulff, J. L. (2006 b): A simple model of growth form-dependent recovery from disease in coral reef sponges, and implications for monitoring. Coral Reefs, 25: 419-426.
76. Wulff, J. L. (2006 c): Rapid diversity and abundance decline in a Caribbean coral reef sponge community. Biol. Conserv, 127: 167-176.



Área boscosa

Foto: Dirección Forestal MINAG

7.1. LOS BOSQUES NATURALES AL TÉRMINO DEL 2007

7.1.1. FORMACIONES FORESTALES

A partir de la base de datos de la Dinámica Forestal 2007, se obtuvo toda la información utilizada sobre la extensión y distribución de las 16 formaciones forestales naturales del país por provincias y municipios, agrupándola en cinco tipos de bosque:

- **Los bosques costeros:** de las tres formaciones que los componen, el Manglar se encuentra en las zonas costeras y recibe la influencia directa del agua de mar, se desarrollan sobre suelos arcillosos que se forman por sedimentación dentro de los propios manglares. El Uveral está sobre suelo de arena caliza y fuera del alcance directo del agua de mar, mientras que la Manigua costera forma una faja estrecha de vegetación que recibe la influencia directa de los vientos marítimos, que actúan como factor secante adicional sobre la vegetación; el suelo, normalmente originado por roca caliza-coralina, es muy esquelético.
- **Los bosques secos:** las formaciones Charrascal y Cuabal son montes xerofíticos, desarrollados sobre suelos esqueléticos originados a partir de roca ultrabásica. La diferencia entre ambos consiste en que en la primera hay una ausencia casi total de palmas, sobre todo del género *Coccothrinax* y de especies espinosas, así como una extensión por toda la vegetación del tibisí (*Arthrostylidium* spp.). Encontrándose la formación exclusivamente en la región oriental y en las alturas de los macizos montañosos del noroeste de la región oriental, por encima de 900 m s.n.m., que en lugar de montes nublados poseen una vegetación del tipo charrascal, debido a que los suelos muy rocosos no permiten el desarrollo de una vegetación cerrada y a que actúan sobre ellos, además, los vientos fuertes como factor secante. La formación Xerófilo típico se localiza cerca de las costas y bajo la influencia de los vientos marítimos que, por su fuerza y velocidad, causan un efecto secante en el ambiente. El suelo es por lo común esquelético, en especial si se encuentra en regiones de roca caliza donde se ha desarrollado una estructura cársica y su mayor desarrollo ocurre en la costa sur de la región oriental, donde las montañas altas evitan el acceso de los vientos húmedos del noroeste y causan un clima seco local. La formación Xerófilo de mogotes aparece en lomas calizas de una estructura extremadamente cársica, debido a la escasez del suelo que solo se encuentra en las cavidades de las rocas y tiene poca capacidad para retener el agua. Estos lugares portan una vegetación del tipo de monte seco, parecida a los montes secos costeros con una excepción: los mogotes de la Sierra de los Órganos, en La Habana, donde la vegetación está dominada por elementos florísticos propios.
- **Los bosques de pino:** viven en suelos ácidos con poca capacidad para retener agua; entre ellos los suelos arenosos y lateríticos, los más pobres en elementos nutritivos que

se encuentran en Cuba. Solo los pinos que tienen una simbiosis con hongos en forma de una micorriza ectótrofa, son capaces de obtener, por esta vía, suficiente cantidad de sustancias alimentarias para mantener un crecimiento rápido de manera relativa y alcanzar el tamaño de árboles. Una excepción son algunos cayos de pinos en la Sierra Maestra, que se encuentran dentro de las formaciones Pluvilsilva de montaña o Monte nublado y se desarrollan en los sitios de derrumbe.

- **Los bosques húmedos:** están compuesto por cinco formaciones: Encinar, Semidecíduo sobre calizas, sobre suelo ácido, sobre suelo de mal drenaje y Pluvilsilva. *Quercus cubana* (encino), es un árbol de rasgos xeromorfos y poseedor de micorriza ectótrofa que acompaña a los pinares, aunque es más resistente al fuego que ellos y capaz de rebrotar de los tocones, formando rodales puros siempreverdes. Los montes semidecíduos constituyen la vegetación natural de Cuba hasta una altura aproximada de 600 m s.n.m.; alcanzan una altura entre 20 y 30 m y están constituidos por dos capas arbóreas y una capa arbustiva, pero la capa herbácea normalmente falta. Es característico que los árboles que forman la capa arbórea más alta pierdan sus hojas durante la época de seca, mientras los de la segunda las conservan casi durante todo el año; los diferentes tipos corresponden a diferentes condiciones edáficas y en ellos existen composiciones florísticas distintas. Las pluvilsilvas verdaderas se encuentran en Cuba solamente en los valles de los ríos que desembocan en la costa norte de la región oriental, entre Mayarí y Baracoa, en alturas entre 200 m y 400 m s.n.m. y se desarrollan en suelos montañosos rojos sobre roca ígnea silíceo o básica; este tipo de vegetación es la más vigorosa, alcanza alturas hasta de 40 m y consiste de tres capas arbóreas.
- **Los bosques de montaña:** de las tres formaciones que los componen, el Monte nublado y el Monte fresco solo se encuentran en el país por encima de 1 000 y 1 700 m s.n.m., respectivamente, en tanto que la Pluvilsilva de montaña aparece por encima de 600 m s.n.m., aunque hacia el noroeste de la región oriental baja hasta alturas entre 300 m y 400 m s.n.m.

7.1.2. SITUACIÓN DE LOS BOSQUES NATURALES AL TÉRMINO DEL 2007

Al término del año 2007, los bosques naturales cubrían 2 337 598,8 ha, representando 63,4% del patrimonio forestal nacional y 21,9% de la superficie total del país. De las 16 formaciones naturales, dos presentaban más de medio millón de hectáreas; cuatro tenían entre 100 mil y 200 mil y las 10 restantes, entre 2,5 y 86,0 miles de hectáreas (DNF, 2008; tabla 7.1). Camagüey, Matanzas y Pinar del Río fueron las provincias con mayor superficie de bosques naturales, agrupando el 40,8% del total nacional, mientras que de los 169 municipios existentes, solo seis no reportaban existencias: el municipio Bauta, en la provincia La Habana y los municipios Habana Vieja, Centro Habana, Plaza de la Revolución, Diez de Octubre y La Lisa, todos en la provincia Ciudad de La Habana.

Cuando las 16 formaciones naturales son agrupadas según los cinco tipos de bosque identificados (tabla 7.2), los Bosques húmedos y Semidecíduos son los de mayor extensión superficial del país, con algo más de 1,2 millones de hectáreas, mientras que los Bosques de Pino son los menos extensos, con un poco más de 85 mil hectáreas. Por otra parte, las superficies representativas del 61,12% de los bosques naturales del país, donde se concentra la mayor parte de las existencias variaron entre 775,5 y 55,1 miles de hectáreas, con un total de 1,4 millones de hectáreas (tabla 7.2).

Tabla 7.1. Extensión superficial de las formaciones forestales naturales del país al término de 2007 (DNF, 2008)

FORMACIÓN FORESTAL	SUPERFICIE (ha)	FORMACIÓN FORESTAL	SUPERFICIE (ha)
Semideciduo sobre calizas	912 869,9	Xerófilo típico	61 264,6
Manglar	532 739,4	Pluvisilva	24 715,6
Semideciduo de mal drenaje	168 951,6	Encinar	23 641,6
Manigua costera	151 414,0	Cuabal	21 815,0
Semideciduo sobre suelo ácido	144 537,7	Xerófilo de mogote	15 108,1
Pluvisilva de montaña	107 165,9	Monte nublado	12 701,0
Pinar	85 707,1	Monte fresco	12 701,0
Charrascal	68 800,2	Uveral	2 564,3
TOTAL: 2 337 598,8 ha			

Tabla 7.2. Tipos de bosque ordenados según su extensión superficial (DNF, 2008)

TIPO DE BOSQUE	FORMACIÓN FORESTAL	SUPERFICIE TOTAL (ha)		SUPERFICIE PRINCIPAL	
				(ha)	(%)
Bosques Húmedos	Semideciduo sobre calizas	912 869,9	1 274 716,4	775 704,0	60,85
	Semideciduo mal drenaje	168 951,6			
	Semideciduo suelo ácido	144 537,7			
	Pluvisilva	24 715,6			
	Encinar	23 641,6			
Bosques Costeros	Manglar	532 739,4	686 717,7	414 586,9	60,37
	Manigua costera	151 414,0			
	Uveral	2 564,3			
Bosques Secos	Charrascal	68 800,2	166 987,9	102 569,3	61,42
	Xerófilo típico	61 264,6			
	Cuabal	21 815,0			
	Xerófilo de mogote	15 108,1			
Bosques de Montaña	Pluvisilva montaña	107 165,9	123 469,7	80 839,1	65,47
	Monte nublado	15 697,8			
	Monte fresco	606,0			
Bosques de Pino	Pinar	85 707,1	85 707,1	55 055,0	64,24
TOTAL		2 337 598,8	2 337 598,8	1 428 754,3	61,12

Al ubicar espacialmente los 43 municipios donde se localiza el 60% de los bosques naturales del país, se evidencia la formación de cinco áreas distribuidas a lo largo de Cuba (figura 7.1):

- El área occidental, con 334 274,8 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Sandino, Minas de Matahambre, Viñales y San Cristobal (Pinar del Río), así como el municipio especial Isla de la Juventud, donde aparecen Bosques de Montaña (218,0 ha), Secos (7 444,1 ha), Pinares (32 304,9 ha), Costeros (81 781,6 ha) y predomina el Bosque Húmedo (212 722,4 ha; 63,64% del total).
- El área centro-occidental, con 426 263,5 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Cárdenas, Jagüey Grande y Ciénaga de Zapata (Matanzas), Sagua la Grande y Caibarién (Villa Clara), Cumanayagua (Cienfuegos), Yaguajay y Trinidad (Sancti Spíritus), donde aparecen Bosques Secos (1 055,7 ha), de Montaña (22 209,0 ha), Costeros (186 503,7 ha) y predomina el Bosque Húmedo (216 495,1 ha; 50,79% del total).
- El área centro-oriental, con 388 785,7 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Morón y Bolivia (Ciego de Ávila), Esmeralda, Cubitas, Minas, Nuevitas, Guáimaro y Vertientes (Camagüey), Manatí y Puerto Padre (Las Tunas), donde aparecen Bosques Secos (22 563,3 ha), Húmedos (169 711,5 ha) y predomina el Bosque Costero (196 510,9 ha; 50,5% del total).
- El área nororiental, con 396 875,7 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Rafael Freyre, Banes, Báguanos, Mayarí, Frank País, Sagua de Tánamo y Moa (Holguín), Yateras, Baracoa, Maisí, Imías, San Antonio del Sur, Manuel Tames y Caimanera (Guantánamo), donde aparecen Bosques Costeros (23 612,9 ha), Pinares (28 657,7 ha), de Montaña (57 283,6 ha), Secos (87 738,8 ha) y predomina el Bosque Húmedo (199 582,7 ha; 50,3% del total).

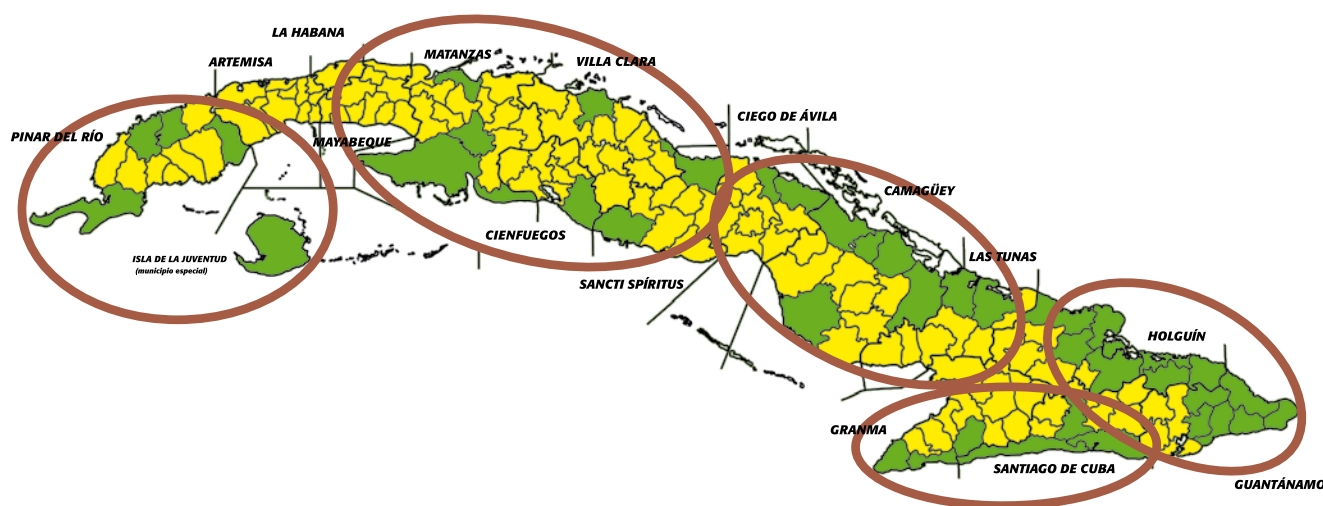


Figura 7.1. Distribución municipal de las áreas de bosques naturales considerada para la evaluación. De izquierda a derecha: Occidental, Centro-occidental, Centro-Oriental, Nororiental y Suroriental

- El área suroriental, con 152 364,3 ha de bosques naturales, que comprende los municipios Niquero, Pílon y Bartolomé Masó (Granma), Guamá, Santiago de Cuba y Palma Soriano (Santiago de Cuba), donde aparecen Bosques de Pinar (2 457,4 ha), Costeros (3 940,6 ha), Secos (11 849,6 ha), de Montaña (18 808,4 ha) y predomina el Bosque Húmedo (115 308,3 ha; 75,7% del total).

7.2. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS BOSQUES NATURALES

7.2.1. PRINCIPALES IMPACTOS

Para la valoración de los impactos por tipo de bosque natural, partiendo de su distribución municipal y de los escenarios climáticos disponibles, se han sugerido las relaciones presentadas en la tabla 7.3.

Tabla 7.3. Principales impactos asociados a los tipos de bosque

TIPO DE BOSQUE	FORMACIÓN FORESTAL	CAUSAS CLIMÁTICAS Y AMBIENTALES DE LOS PRINCIPALES IMPACTOS		
Bosques Costeros	Manglar	Aumento del nivel del mar, intrusión salina de los acuíferos, disminución de las lluvias y del volumen de agua dulce que los ríos aportan en la desembocadura, surgencia.	A u m e n t o d e C O ₂ a t m o s f é r i c o	H u r a c a n e s y P l a g a s
	Manigua costera			
	Uveral			
Bosques Secos	Charrascal	Aumento de la temperatura ambiental y de la velocidad del viento; disminución de las lluvias y de la humedad.		
	Xerófilo típico			
	Cuabal			
	Xerófilo de mogote			
Bosques de Pino	Pinar			
Bosques Húmedos	Semidecíduos sobre calizas	Aumento de la temperatura ambiental y disminución de las lluvias y la humedad.		
	Semidecíduos mal drenaje			
	Semidecíduos suelo ácido			
	Pluvisilva			
	Encinar			
Bosques de Montaña	Pluvisilva montaña	Aumento de la temperatura ambiental.		
	Monte nublado			
	Monte fresco			

7.2.2. IMPACTOS POR AUMENTO DE LA TEMPERATURA

7.2.2.1. FENOLOGÍA DE ESPECIES ARBÓREAS DE MONTAÑA CON DIFERENTE CAPACIDAD ADAPTATIVA

El estudio de caso fue llevado a cabo en Tope de Collantes, Trinidad, Sancti Spíritus. Las alturas de Trinidad son montañas excesivamente inclinadas, entre las que se destacan Pico San Juan a 1 156 m s.n.m., Pico Potrerillo a 931 m s.n.m. y Tope de Collantes a 784 m de altitud. Se seleccionaron tres especies con diferentes grados de endemismo; y en cada caso se escogieron 10 ejemplares en estado fustal, con plena capacidad reproductiva, los que fueron observados durante un período de entre ocho y diez años: *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *acunae* Imkhan., *Juglans jamaicensis* C. DC. subsp. *jamaicensis* y *Laurocerasus occidentalis* (Sw.) Roem. Se tuvieron en cuenta dos tipos de registros fenológicos:

- Fenología vegetativa. Permanencia de hojas (HA) y formación de hojas nuevas (HN).
- Fenología reproductiva. Floración (FL) y maduración de los frutos (FM).

Las variables climáticas fueron sometidas a un análisis de componentes principales, donde la temperatura quedó definida en el componente 1, con un control de casi el 40% de la variabilidad total (38,94%), razón que indicó la importancia de su estudio, en especial el de la temperatura mínima.

Partiendo de las informaciones anteriores, se profundizó en el análisis de las series de la temperatura mínima en Tope de Collantes del período 1989-1999, evidenciándose que la temperatura mínima promedio anual del aire osciló entre 13,7 °C y 18,8 °C, con el valor mínimo en el año 1992 y el máximo en 1997. Tomando en consideración que la temperatura mínima histórica de Topes de Collantes fue estimada en 16,8 °C, los valores medios anuales registrados para el período 1989-1999 fueron organizados en dos grupos (tabla 7.4), cuyos respectivos valores promedio evidenciaron una diferencia entre ambos superior a los 2,0 °C.

Tabla 7.4. Agrupamiento de los años de observaciones fenológicas, según su temperatura mínima promedio anual

AÑOS NORMALES ($T_{\text{MÍN}} \leq 16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$)		AÑOS CALIENTES ($T_{\text{MÍN}} > 16,8\text{ }^{\circ}\text{C}$)	
AÑO	$T_{\text{MÍN. PROM. (}^{\circ}\text{C)}$	AÑO	$T_{\text{MÍN. PROM. (}^{\circ}\text{C)}$
1989	16,80	1990	17,20
1991	16,20	1995	17,20
1992	13,68	1997	18,80
1993	14,09	1998	17,80
1994	14,80	1999	17,23
1996	16,82	$T_{\text{Mín prom.}}$	17,65
$T_{\text{Mín prom.}}$	15,40		
Diferencia entre grupos de años: 2,25 °C			

A partir de estos resultados, las series de observaciones fenológicas de las tres especies consideradas fueron organizadas según los años correspondientes a cada grupo, realizándose posteriormente la comparación de la distribución temporal media anual de cada par de variables fenológicas para las especies. Lo cual demostró que en las tres especies evaluadas, el patrón fenológico temporal obtenido para todas las variables fenológicas analizadas, en los años en que la temperatura mínima promedio fue igual o inferior a 16,8 °C, fue diferente al patrón presentado por esas mismas variables fenológicas en los años en que el valor de esta variable climática superó los 16,8 °C. La única excepción se presentó con la permanencia de las hojas adultas en la especie *L. occidentalis*.

Así, fueron evidenciados los siguientes impactos fenológicos con el aumento de la temperatura:

- *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *acunae* Imkhan: se adelanta y prolonga la floración, a la par que concluye la floración un mes antes. Ello propicia la aparición de una mayor cantidad de frutos y favorece la coincidencia del final de esta fenofase con la época de lluvias que, de ser intensas, afectarían la fructificación. La maduración de los frutos se adelanta y aumenta en intensidad.
- *Juglans jamaicensis* C.DC. subsp. *Jamaicensis*: aumenta la intensidad de la floración y la posibilidad de recolectar mayor cantidad de frutos. Sin embargo, es necesario tomar en consideración que la maduración de los frutos se presenta en dos momentos: en el primer trimestre del año (la menos intensa) y en el tercer trimestre (la más intensa).
- *Laurocerasus occidentalis* (Sw.) Roem. aumenta la intensidad de la floración, se prolongó la presencia de frutos y se duplicó el valor máximo de su intensidad, por lo que se eleva la posibilidad de obtener una mayor cantidad de material reproductivo.

Las tres especies valoradas son representantes de tres niveles diferentes de adaptabilidad genética, por cuanto *M. cubensis* presenta una distribución exclusiva de T. de Collantes; *J. jamaicensis* está presente exclusivamente en tres de las Antillas Mayores, una subregión de la región Centroamericana y del Caribe, mientras que *L. occidentalis* aparece naturalmente en toda la región e incluso, en la parte norte de Sur América que comprende a Colombia y Venezuela y por encima de ellas solo quedarían especies como *Cedrela odorata* L., de distribución pantropical.

Si se valoran las posibles combinaciones de (fenofases x especies), se conformarían 12 niveles de capacidad de adaptación creciente y cuando esas categorías son organizadas sucesivamente, se puede apreciar que de todos los niveles de adaptación conformados, el único que no presentó diferencias significativas al comparar sus distribuciones entre "años normales" y "años calientes", fue el nivel 12, el más alto, integrado por la fenofase menos sensible a la temperatura y la especie de mayor distribución geográfica.

Una afirmación de esta índole requiere una validación más amplia que la obtenida en este estudio de caso; sin embargo, de ser cierto lo expuesto, pudiera significar que ante un aumento de 2 °C en la temperatura mínima ambiental, los niveles adaptativos capaces de enfrentarla sin expresar cambios apreciables en las fenofases vegetales estarían restringidos solo a especies arbóreas de distribución pantropical y algunas de distribución regional, pero solo en sus fenofases menos sensibles al clima y ello constituye prácticamente, un límite extremo de adaptación climática.

7.2.2.1.1. Estrategia de adaptación

- a) *Magnolia cubensis* Urb. subsp. *acunae* Imkhan. Las alteraciones fenológicas propician una mayor cosecha, que debe ser vigilada desde que se observan los puntos máximos de floración. Ambos aspectos deben ser tomados en consideración al realizar el pronóstico y la preparación de la cosecha de la especie, ya que en años calientes la recolección deberá planificarse para comenzar antes y con más recursos. Además, se deberán prever las actividades de recolección de manera que no permitan que los frutos permanezcan abiertos en el árbol por mucho tiempo (es decir, mayor intensidad de cosecha), para evitar su remoción por las aves o el ataque de larvas de insectos que ocasionan grandes daños, ya que se alimentan del endospermo de las semillas (Castillo et al., 2002).
- b) *Juglans jamaicensis* C.DC. subsp. *jamaicensis*. La respuesta no altera la planificación habitual del período de cosecha, pero si la cantidad de recursos requeridos, porque no resulta igual coleccionar frutos una vez al año, que dos veces. También resulta conveniente acometer estudios sobre la capacidad germinativa de las semillas cosechadas en ambos momentos de maduración de los frutos en años calientes, para definir si la viabilidad no varía.
- c) *Laurocerasus occidentalis* (Sw.) Roem. La presencia de frutos durante gran parte del año refuerza la realización de una mayor cosecha, pero pueden coexistir con restos de la fructificación anterior y producir una disminución de la viabilidad de las semillas. Por ello se refuerza la conveniencia de que, una vez que los frutos abren, se compruebe la madurez de las semillas por la consistencia de los cotiledones y el color pardo de su cubierta o cutícula en el inicio, clímax y declinación de la fructificación. La respuesta de esta especie altera la duración de la planificación habitual del período de cosecha, al prolongarse la presencia de los frutos, así como la cantidad de personal y recursos requeridos, debido a la duplicación de la intensidad en la fructificación.

7.2.2.2. BOSQUE NUBLADO Y BOSQUE FRESCO

Las formaciones forestales Monte Nublado y Monte Fresco solo se encuentran por encima de 1 000 y 1 700 m s.n.m., respectivamente (Bisse, 1988), lo que limita su distribución al municipio Guamá en la provincia Santiago de Cuba; los municipios Bartolomé Masó, Buey Arriba y Guisa en la provincia Granma y los municipios Baracoa e Imías en Guantánamo (DNF, 2008), siempre en las mayores elevaciones del país, entre las que están el Pico Real del Turquino (1 974 m s.n.m.; 19°59' N y 76°50' W), la mayor de Cuba; el Pico Cuba (1 872 m s.n.m.); el Pico Bayamesa (1 730 m s.n.m.) y el Pico Martí (1 722 m s.n.m.), todos en la Sierra Maestra, así como en las principales alturas de la región Sagua-Baracoa, donde la máxima altitud registrada es 1 231 m.

Al caracterizar el Monte Nublado, Bisse (1988) señala: *este tipo de vegetación es mojado diariamente por la neblina de las nubes que chocan con las montañas a esa altura. Estos montes constan de dos capas arbóreas y alcanzan una altura de 20 m. Es propia de esta vegetación la gran abundancia de formas epífitas; los troncos están cubiertos, hasta una altura aproximada de 3 m, por una densa capa de musgos y helechos, entre ellos y en primer lugar de Hymenophylláceas; las orquídeas están*

representadas en primer término por el género *Pleurothallis* y otros géneros afines. También existen, en los montes nublados, varias especies de *Lycopodiaceae* epífitas. En tanto que sobre el Monte Fresco apunta: en las alturas del macizo del Pico Turquino, especialmente en exposición sur, se encuentra esta vegetación en forma de monte bajo con una altura aproximada de 8 m, que no se puede incluir en los montes nublados porque sus participantes principales muestran rasgos más xeromorfos. La misma se asemeja mucho a los charrascales por la existencia de bambusoideas rastreras que la hacen casi impenetrable, pero aquí predomina el género *Chusquea*, no así el género *Arthrostylidium*, aunque se encuentra presente.

La proyección del comportamiento de la temperatura ambiental entre 1961 y 2099 para una cuadrícula de 50 x 50 km, cuyo centro está en los 20° N y los 77° W, se obtuvo a partir de las simulaciones realizadas por el Instituto de Meteorología para los escenarios climáticos A2 y B2 propuestos por el IPCC (2001), con los modelos de circulación global HECHAM y HADLEY, a nivel del mar (INSMET, 2010). Así, a partir de las bases de datos de las temperaturas mínima y máxima media mensual, fueron obtenidos los datos correspondientes al período 1960-2100, con intervalos de 10 años, para los meses de enero y agosto (el más frío y el más caliente del año, respectivamente). Posteriormente, para el conjunto de datos de cada variable correspondiente a cada escenario y modelo, fue estimada la tendencia de variación a lo largo del siglo empleando un modelo polinómico cuadrático, utilizando como estimador de ajuste el coeficiente de determinación (R^2). Para la temperatura media, primero se obtuvieron los datos mensuales para los mismos años que para la mínima y máxima, a partir de ellos se estimó la temperatura media anual y a estos valores se les aplicó el mismo procedimiento estadístico antes descrito.

Los resultados alcanzados con las temperaturas fueron valorados en términos de la potencial migración altitudinal que pudieran inducir sobre la distribución natural de las especies forestales arbóreas existentes en ambas formaciones naturales, tomando en consideración que, según lo planteado por el IPCC (2001a), un aumento de la temperatura media de 1,0 a 3,5 °C equivaldría a un aumento en altitud entre 150 y 550 m para las formaciones vegetales de montaña, lo que aproximadamente representa un aumento medio de altitud de 15 m por cada 0,1°C de aumento en la temperatura media.

Con respecto a la temperatura mínima media del aire, mientras que en el período 1961-1990 cabría encontrar temperaturas mínimas medias entre 11 y 14 °C a 1 000 m s.n.m. en el área de la Sierra Maestra, a finales del presente siglo esos valores habrán aumentado a un rango entre 15 y 17 °C. Sin embargo, en cuanto a la temperatura máxima media del aire, mientras que en el período 1961-1990 cabría encontrar temperaturas máximas medias entre 20 y 22 °C a 1 000 m s.n.m. en el área de la Sierra Maestra, a finales del presente siglo esos valores habrán aumentado a un rango entre 23 y 26 °C. En correspondencia con lo anterior, mientras que en el período 1961-1990 la temperatura media anual del aire presentaría valores entre 14 y 21 °C a 1000 m s.n.m. en el área de la Sierra Maestra, a finales del presente siglo esos valores habrán aumentado a un rango entre 17 y 22 °C.

Los resultados obtenidos señalan que de comportarse la temperatura media anual del aire en la forma prevista por los escenarios y modelos utilizados, en algún momento posterior a la mitad del presente siglo la formación forestal Monte fresco enfrenta el riesgo de desaparecer debido al desplazamiento altitudinal ascendente de sus especies en busca de mantener su adaptación al ambiente en que se desarrollan,

ya que en su totalidad son endémicas de los cuatro mayores picos del país: Real del Turquino, Cuba, Bayamesa y Martí, todos ubicados en la Sierra Maestra.

En cuanto a la formación Monte nublado, distribuida entre las mayores elevaciones de la Sierra Maestra y, de la cordillera Sagua-Baracoa en la provincia de Guantánamo, en la zona evaluada y para finales del presente siglo la formación habrá ascendido entre el 35% y el 55% de la altura que actualmente tiene disponible, buscando mantener una adaptación ambiental muy estricta, dado que el 62% de las especies que la integran son endémicas.

En el caso de la parte de la distribución correspondiente a Guantánamo, esta región no fue incluida en el análisis; sin embargo, cabe señalar que la altitud máxima de la Sierra Cristal no rebasa los 1 231 m, por lo que en los municipios Baracoa e Imías las mayores alturas son inferiores a este valor y que además, la temperatura media anual de la provincia es actualmente la más alta del país (26,3 °C), mientras que los municipios de Baracoa y San Antonio del Sur (límitrofe con Imías) alcanzan temperaturas medias anuales de 25,6 °C y 24,8 °C, respectivamente (INSMET, 2008). Estos datos, unidos al análisis efectuado por Ajete, Álvarez y Mercadet (2009) sobre los riesgos que enfrenta la diversidad arbórea forestal en Baracoa, hacen suponer que la parte de los Bosques nublados existente en Guantánamo enfrente a fines del siglo, mayores riesgos de extinción que los que afrontarán sus similares de la Sierra Maestra.

7.2.2.1.1. Estrategia de adaptación

- a) Acometer un exhaustivo proceso de documentación sobre las características y peculiaridades de la formación Bosque fresco y sus especies, empleando todos los recursos de las modernas tecnologías de la información, que permita proteger el conocimiento sobre lo que hoy existe y mantenerlo asequible a las generaciones futuras, aun cuando después desaparezca. Probablemente una parte importante de esta medida incluya la ejecución de investigaciones intensivas, que permitan ampliar el horizonte del conocimiento disponible sobre estos recursos.
- b) En el caso de los Bosques nublados, se dispone de más tiempo y una minoría de sus especies no son endémicas, compartiendo probablemente áreas de distribución de la formación Pluvilva de montaña. Por tal razón, las alternativas de adaptación para esta formación comprenden en esencia las mismas propuestas para los Bosques Frescos, con la atenuante de que para las especies no endémicas será posible acometer la protección de sus recursos en otras áreas nacionales del patrimonio forestal, sobre todo si estas se incluyen dentro del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del País.
- c) En adición a lo anterior, una medida de adaptación que puede ser implementada con los Bosques frescos y nublados a corto plazo es, la reorganización de su distribución por categorías, cambiando la clasificación de las 16 303,8 ha existentes de estos bosques a la categoría de Bosques de Conservación Educativos y Científicos, para eliminar en ellos toda actividad extractiva con fines productivos y preservaría al máximo sus existencias.

7.2.3. IMPACTOS COMBINADOS DE CAMBIOS EN LA TEMPERATURA Y LA PRECIPITACIÓN

7.2.3.1. RENDIMIENTO DE RESINA DE *PINUS CARIBAEA* M. VAR. *CARIBAEA* B.&G

El estudio de caso fue llevado a cabo en dos parcelas de 30 árboles *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G., en etapa fustal, establecidas en el área de la Estación Experimental Forestal de Viñales, Pinar del Río (22°37' N; 83°43' W; 150 m s.n.m.), con una topografía ondulada y suelo Ferralítico Cuarsítico Amarillo. La semilla utilizada para ambas plantaciones, con espaciamiento de 3 x 3 m, procedió de masas semilleras seleccionadas en áreas naturales de la especie, con similar nivel de ganancia genética masal e individual.

Los sitios de ambas plantaciones distan menos de un kilómetro, con similares suelos, altitudes, topografía e hidrología; la tecnología de resinación utilizada en ambos casos fue la misma: árboles de 20 cm o más de diámetro a 1,30 m sobre el suelo, en los que se realizaron picas descendentes con canal central, aprovechando un tercio de la circunferencia, con frecuencia semanal. La producción por árbol en cada pica (P) se obtuvo por diferencia de pesadas entre el envase recolector lleno y vacío (en gramos), y el rendimiento (R; en g*m-pica⁻¹) se estimó mediante la expresión:

$$R = (300 * P) * (\pi * D_{1,30})^{-1}$$

Donde: $D_{1,30}$ es el diámetro del árbol en centímetros, a 1,30 m sobre el suelo.

Con los datos de cada pica por árbol, se estimó el rendimiento medio semanal de la parcela y con las medias semanales correspondientes al mes, se estimó el rendimiento medio mensual de la especie. La resinación se prolongó durante cuatro años en ambos casos: la primera ocasión comprendió el período 1981-1984 (Álvarez *et al.*, 1991), y la segunda, el período 2005-2008 (Ávila, 2010), separadas ambas por un tiempo de 20 años.

La marcha anual de la temperatura máxima y mínima promedio mensual del aire y la temperatura máxima y mínima promedio anual del aire durante ambos períodos de resinación, fueron estimadas a partir de los registros de las estaciones meteorológicas de los municipios Minas de Matahambre y La Palma, debido a que el municipio Viñales no cuenta con una estación de este tipo. Los municipios de las estaciones de referencia se encuentran al Oeste y al Este del municipio Viñales, respectivamente.

Del primer período de resinación al segundo, el rendimiento medio anual de la especie aumentó en 43,88 g*m-cara⁻¹, con cambios importantes en los meses comprendidos de marzo hasta octubre, variaciones que no pueden ser atribuidas ni a una diferencia de calidad genética de los árboles de las parcelas, ni a diferencias edáficas de los sitios, por ser ambos elementos similares para las dos parcelas, razón por la cual solo resta buscar una explicación en el clima reportado para ambos períodos.

Se puede afirmar que la diferencia climática existente entre los períodos 1981-1984 y 2005-2008 en las estaciones meteorológicas de M. Matahambre y La Palma, estuvo caracterizada porque en el segundo período ocurrió un aumento de la temperatura mínima ambiental de julio a enero entre 0,6 y 1,6 °C, acompañado de una disminución de las lluvias durante todo el año, que redujo el acumulado anual entre 107,3 y 138,9 mm y dada la posición geográfica de ambas estaciones

con respecto al área de estudio. Cabe esperar que también allí tengan un patrón de comportamiento similar estas variables climáticas, causando la inversión del patrón anual de los rendimientos mensuales de resina de la especie valorada.

Hasta la fecha de este informe no se conocen reportes sobre la ocurrencia de un proceso similar en el género *Pinus* ni nacional, ni internacionalmente.

7.2.3.1.1. Estrategia de adaptación

- a) Las modificaciones detectadas en esta localidad con el comportamiento de los rendimientos medios mensuales *P. caribaea* a lo largo del año, indican la conveniencia de someter a un reanálisis la regulación técnica vigente sobre la planificación anual de las fases de trabajo de la resinación, porque su validez puede estar condicionada a la variación que haya presentado el comportamiento de la temperatura y de las lluvias en diferentes lugares durante los últimos 20-30 años, y puede ocurrir que también en otras partes el período apropiado para la preparación de las áreas deba ser trasladado a los meses de noviembre a enero.
- b) De confirmarse la existencia de un patrón general de modificación de los rendimientos de resina a lo largo del año en esta especie, procedería la modificación de la regulación técnica actual y se reforzaría la posibilidad que también esté sucediendo algo similar en las otras tres especies de pinos cubanos.

7.2.4. RIESGOS DE LA DIVERSIDAD ARBÓREA FORESTAL EN LA EFI BARACOA

La Empresa Forestal Integral Baracoa se encuentra en la parte norte del extremo más oriental de la provincia de Guantánamo, ubicada entre los 20,16 y los 20,55° N y entre los 74,29 y los 74,79° W; limita al Norte con el océano Atlántico, al Este con el municipio Maisí, al Sur con los municipios Imías y San Antonio del Sur, al Suroeste con el municipio Yateras, todos de la provincia Guantánamo y al Noroeste con el municipio Moa, de la provincia Holguín.

El patrimonio forestal administrado por la EFI Baracoa comprende 54 143,8 ha, con 53 475,8 ha de área forestal mayoritariamente cubierta por bosques naturales (MINAG, 2002), y el manejo del mismo es realizado a partir de la subdivisión de todo el territorio en cuatro unidades silvícolas: Cayo Güín, Palma Clara, Baracoa y Paso de Cuba, en las que existe un volumen en pie de 11 209 544,3 m³. La empresa posee 95% de su superficie montañosa, con pendientes mayores de 15%, mientras que el 5% restantes se encuentra en áreas limitadas por los valles aluviales, llanuras aluvio-marinas y cárnicas. Las alturas oscilan entre la cota cero y los 700 m s.n.m., encontrándose las menores de 100 m s.n.m. en la franja costera y penetrando en los valles fluviales.

Para la generación de los escenarios climáticos fue utilizado el sistema PRECIS (Suministrador de Climas Regionales para los Estudios de Impacto), sistema de modelado climático regional derivado del modelo de clima global (GCM) de tercera generación del Hadley Centre en el Reino Unido y se obtuvieron los siguientes escenarios climáticos para el área comprendida entre los 20-21° N y los 74-75° W, bajo los escenarios de emisiones A2 y B1:

- Comportamiento de la temperatura media del aire (°C), para enero 2011, 2015, 2020, 2025 y diciembre del 2029.

- Comportamiento de la temperatura mínima del aire (°C), para enero 2011, 2015, 2020, 2025 y diciembre del 2029.
- Comportamiento de la proporción de precipitación total (mm/día), para enero 2011, 2015, 2020, 2025 y diciembre del 2029.

Los escenarios climáticos obtenidos fueron analizados de manera integrada por variable climática, considerando sus patrones de variación temporal para el área de estudio y los resultados alcanzados con las temperaturas fueron valorados en términos de la potencial migración altitudinal que pudieran inducir sobre la distribución natural de las especies forestales arbóreas existentes en la EFI Baracoa, en especial las endémicas y las protegidas, efecto complementado por la acción de la variación reportada para la disponibilidad de agua.

Los resultados alcanzados con ambas temperaturas (media y mínima) bajo los dos escenarios de emisión (A2 y B1) indican que en general deben esperarse aumentos entre 0,48 y 0,88 °C en la costa y entre 0,53 y 1,03 °C en las montañas, para el período 2011-2029. Ello evidencia que, con la excepción de la temperatura media de la zona montañosa en el 2011, todos los restantes aumentos de temperatura serán siempre mayores en las áreas montañosas del territorio de la EFI Baracoa que en las áreas costeras y que en general, todo el territorio de la Empresa evolucionará hacia un clima más caliente que el registrado en el período 1961-1990. Mientras tanto en términos del acumulado anual de lluvias, los resultados del 2011 y del 2029 implican aumentos entre 36,5 mm (en la costa) y 73,0 mm (en las montañas), mientras que los del 2020 representan disminuciones entre 164,3 mm (en las montañas) y 237,3 mm (en la costa).

De manera general, con independencia de los escenarios de emisiones utilizados y de los años considerados, la tendencia climática futura del territorio comprendido por la Empresa Forestal Integral Baracoa (hasta fines del 2029) será hacia un clima más cálido y menos húmedo. Donde las regiones montañosas presentarán mayores aumentos de temperatura y menores reducciones de las lluvias que las costeras y ello pudiera significar que hasta principios del 2011, el rango de distribución altitudinal de las especies de montaña podría presentar un desplazamiento entre 72 y 85 m hacia la cima, en dependencia del escenario de emisiones valorado, corrimiento que a principios del 2020 pudiera alcanzar entre 94 y 100 m para, al final del 2029 llegar a un máximo entre 105 y 120 m.

De las principales 79 especies forestales arbóreas reportadas para el territorio de la empresa, 36 son exclusivas de la formación Pluvisilva de montaña y de estas últimas, 27 son endémicas, siete están específicamente distribuidas en Baracoa (todas endémicas) y dos se encuentran ya protegidas por sus escasas existencias físicas (ambas endémicas y en Baracoa). Si, como señalara Bisse (1988), se toma en cuenta que con la excepción del NW de la región oriental del país (área de Nipe-Sagua), la formación Pluvisilva de Montaña se encuentra en las montañas por encima de 600 m s.n.m. y las zonas montañosas del área de Baracoa excepcionalmente superan los 850 m s.n.m., entonces un desplazamiento altitudinal hacia la cima entre 70 y 120 m para los años 2011 al 2029 podría colocar en grave riesgo los recursos genéticos de las 37 especies identificadas como exclusivas de esa formación en la empresa. Esto afectaría la diversidad biológica de la región, riesgo cuya intensidad crecería en la medida en que la especificidad de su distribución aumentara y/o la abundancia de sus existencias físicas disminuyera, situación que se agudizaría de forma creciente más allá del 2029, en caso que la concentración de gases de efecto invernadero en la

atmósfera mantuviera el patrón de aumento actualmente considerado, pudiendo dar lugar incluso, a la extinción de varios de estos taxa.

A los aspectos hasta aquí señalados, referidos solo a los efectos de la temperatura, habría que añadir además el de la disminución de las lluvias en las regiones montañosas del área de la Empresa, del orden de los 164 mm anuales en el 2020. Dadas las características del régimen pluviométrico de la región de Baracoa, el mayor de Cuba y del orden de los 2 000 mm anuales, una reducción equivalente al 8% del total no significaría una modificación drástica de la disponibilidad de agua o de la humedad en la región, así como tampoco acrecentaría de manera destacada los riesgos potenciales de incendios.

Sin embargo, estas 37 especies, bajo el estrés térmico causado por el aumento de la temperatura se verán obligadas a reducir su evapo-transpiración por una parte y a modificar su área altitudinal de distribución por otra, lo que propiciaría un estado de alteración de sus respectivos equilibrios poblacionales. Si a ello se adiciona la interacción que pudiera originar una pequeña disminución de la disponibilidad de agua, entonces podría originarse una magnificación del impacto general causado, razón por la que esta ligera disminución de la lluvia no debe ser desestimada.

En base al análisis anterior se considera que en el área de la EFI Baracoa las especies forestales arbóreas que enfrentarán los máximos riesgos ante el aumento de temperatura y la variación de las lluvias, serán:

- **Primer grupo de riesgo** (especies bajo protección por la Ley Forestal, endémicas, exclusivas de la formación Pluvilsilva de montaña y reportadas para Baracoa): *Magnolia cacuminicola* Bisse y *Victorinia regina* (Leon) Leon (sabrosa).
- **Segundo grupo de riesgo** (especie bajo protección por la Ley Forestal, endémica, exclusiva de la formación Pluvilsilva de montaña y reportada para el Norte de la región oriental): *Pera ekmanii* Urb. (jiquí).
- **Tercer grupo de riesgo** (especies endémicas, exclusivas de la formación Pluvilsilva de montaña y reportadas para Baracoa): *Bonnetia cubensis* (Britt.) Howard; *Henriettella acunae* Alain; *Laplacea moaensis* M. Vict.; *Ocotea moaensis* Bisse y *Podocarpus ekmanii* Urb.
- **Cuarto grupo de riesgo** (especies endémicas, exclusivas de la formación Pluvilsilva de montaña y especies reportadas para el Norte de la región oriental): *Ardisia grisebachiana* (Kuntze) Alain; *Byrsonima biflora* Griseb (sangre de doncella); *Calophyllum utile* Bisse (ocuje colorado); *Coccoloba costata* Wr. ex Sauvalle (uvilla); *Erythroxylon longipes* O. E. Schulz.; *Guapira rufescens* (Griseb) Lundell. (hilacho, hilacho de charrasco); *Guatteria cubensis* Bisse; *Haenianthus variifolius* Urb.; *Hyeronima nipensis* Urb.; *Linociera cubensis* (P. Wils.) Urb.; *Magnolia cristalensis* Bisse (laurel); *Maytenus loeseneri* Urb. (sangre de toro); *Mettenia acutifolia* Britt. et Wils.; *Terminalia nipensis* Alain y *Terminalia orientensis* Monachino.

7.2.4.1. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Estaría orientada hacia la conservación *ex situ* de los recursos amenazados, empleando para ello no solo los jardines botánicos y la conservación *in vivo* en otros lugares, sino también técnicas de conservación a largo plazo de material propagativo que incluyan polen, semillas y tejidos. No obstante, ello requerirá la

localización sobre el terreno de ejemplares de cada una de estas especies y la determinación de su abundancia relativa; la identificación de su fenología; la recolección de material propagativo (polen, semillas y tejidos) y la identificación de su manejo o beneficio, para finalmente acometer la determinación del protocolo de conservación a seguir para cada especie y material propagativo.

- b) La mayor parte de los aspectos antes señalados hoy no se conocen en lo absoluto para estas especies o se conocen insuficientemente, por lo que también como parte de la estrategia de adaptación habrá que desarrollar un programa de investigación que permita dar respuesta a todos los elementos necesarios.
- c) La conservación *in vivo* de estos taxones requerirá el previo conocimiento de la variabilidad intraespecífica de cada uno, a fin de que ella quede adecuadamente representada en las áreas de conservación que se establezcan, objetivo para el cual será preciso también poner a punto las técnicas de manejo en vivero y plantación, para que las áreas que se creen alcancen la supervivencia necesaria.

7.2.5. RIESGO DE MUERTE REGRESIVA DEL BOSQUE

Partiendo de los valores promedio mensuales provinciales de la temperatura media del aire durante el período 1981-2000 (INSMET, 2008), asumidos como representativos para todos los municipios de una misma provincia y de los valores municipales de la pluviosidad acumulada para el período 1961-2000 (INRH, 2008), fue estimada la temperatura media anual y la pluviosidad acumulada media anual del país. La diferencia en los períodos de tiempo considerados para la estimación del valor medio anual de cada variable (22 años para la temperatura y 40 para la pluviosidad), estuvo determinada por el nivel de variación inherente a cada una de ellas.

Fueron señalados gráficamente en un mapa todos los municipios cuya temperatura media anual del aire fuese superior a la media nacional y cuya pluviosidad acumulada anual fuese inferior a la media nacional. Se identificaron los valores mínimo y máximo de temperatura y lluvia correspondientes a este conjunto de municipios y el rango comprendido entre los valores extremos fue dividido en tres partes, para identificar así los límites de valores de las dos variables que determinaban las categorías de leve, medio y alto nivel de riesgo climático para muerte regresiva de sus bosques (tabla 7.5). El conjunto de municipios antes identificado fue clasificado y representado gráficamente, según estas categorías de riesgo y ubicado espacialmente sobre un mapa del país.

Tabla 7.5. Categorías de riesgo de muerte regresiva de los bosques

TEMPERATURA (°C)	PRECIPITACIONES (mm/año)		
	1 320-1 096	1 095-871	870-647
25,27 - 25,59	Leve	Leve	Medio
25,60 - 25,92	Leve	Medio	Alto
25,93 - 26,27	Medio	Alto	Alto

A partir de los resultados de la Dinámica Forestal al término del 2007 (Dirección Nacional Forestal, 2008), fueron identificadas las especies que componían las plantaciones de más de tres años de establecidas en cada uno de los municipios de riesgo alto, así como las formaciones forestales naturales en ellos existentes, identificando luego las especies principales que las componen. En el caso de las formaciones forestales, la composición de especies más abundantes en las formaciones se obtuvo a partir de Bisse (1988).

De acuerdo a la información disponible, se identificó si la especie era de rápido crecimiento (Bisse, 1988; Mercadet *et al.*, 2000) y/o si la densidad de su madera no era alta (Álvarez y Mercadet, inédito), adoptándose como límite máximo para ello un valor de $700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ en la densidad estimada mediante secado al aire de la madera (Álvarez, 2010). En base a la rapidez del crecimiento y/o a la densidad de la madera fueron identificadas las especies arbóreas que en plantaciones o en bosques naturales enfrentarían los mayores riesgos de muerte por los efectos combinados del estrés hídrico y el calor, valorándose las implicaciones que de ello pudieran derivarse para la cobertura forestal de los municipios analizados.

La proyección futura de las variables climáticas vinculadas a la aparición de la muerte regresiva de los bosques fue realizada, a partir del análisis de los efectos del escenario A2 de emisiones de gases de efecto invernadero (IPCC, 2001) en la región del Caribe, para la temperatura media del aire en enero y agosto (meses de valores promedio mínimo y máximo en los municipios de interés, respectivamente) y la precipitación total en enero y mayo (meses de acumulados mínimo y máximo en los municipios de interés, respectivamente), utilizando el generador de escenarios PRECIS (Wilson *et al.*, 2008), empleando períodos de 10 años a partir del 2011. La estimación de la tendencia en el tiempo fue realizada utilizando un ajuste potencial en el primer caso y polinómico en el segundo, calculándose el coeficiente de determinación correspondiente.

Para el análisis de la evolución futura de la vegetación del país fueron empleados los resultados de la modelación de la zonas de vida de Holdridge para Cuba en los años 2000, 2030, 2050 y 2100, presentados en la Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) (Centella, Llanes y Paz, 2001).

7.2.5.1. MUNICIPIOS CON MAYORES RIESGOS DE MUERTE REGRESIVA

La distribución de los 15 municipios donde los bosques existentes enfrentan los mayores riesgos de muerte regresiva en el país (con temperatura superior a la media nacional y acumulado de lluvias inferior a la media nacional), distribuidos por categoría de riesgo (según la tabla 7.5), se presenta en la tabla 7.6.

7.2.5.2. BOSQUES EN MUNICIPIOS CON MAYOR RIESGO DE MUERTE REGRESIVA

Las informaciones disponibles con respecto a las plantaciones existentes indican que el principal riesgo lo enfrenta el municipio Manuel Tames, de la provincia Guantánamo, al registrar el 82,2% de sus plantaciones con ipil-ipil (especie que cumple ambas características). Mientras que los tres municipios de la provincia Granma reducen sustancialmente sus riesgos al no concentrar sus plantaciones en pocas especies, aun cuando el municipio Jiguaní reporta el 34,6% de sus plantaciones totales también con esta misma especie.

Tabla 7.6. Municipios donde los bosques existentes enfrentan los mayores riesgos de muerte regresiva en el país

MUNICIPIOS CON RIESGO MEDIO				MUNICIPIOS CON RIESGO ALTO			
PROVINCIA	MUNICIPIO	T (°C)	P(mm)	PROVINCIA	MUNICIPIO	T (°C)	P(mm)
Guantánamo	San Antonio del Sur	26,27	1 142	Guantánamo	Caimanera	26,27	647
Guantánamo	Guantánamo	26,27	1 275	Guantánamo	Niceto Pérez	26,27	910
Granma	Río Cauto	25,99	1 110	Guantánamo	Manuel Tames	26,27	998
Granma	Niquero	25,99	1 132	Granma	Jiguaní	25,99	929
Granma	Manzanillo	25,99	1 185	Granma	Cauto Cristo	25,99	937
Granma	Media Luna	25,99	1 199	Granma	Bayamo	25,99	1072
Granma	Yara	25,99	1 217				
Granma	Pilón	25,99	1 292				
Las Tunas	Puerto Padre	25,58	864				

T: temperatura P: precipitación

En cuanto a los bosques naturales, el municipio Caimanera concentra sus existencias en la formación Xerófilo típico, con bajos niveles de riesgo. La única excepción reportada es la especie *Simaruba glauca* var. *latifolia*, que presenta una densidad de la madera de 595 kg*m⁻³, aspecto que le otorgaría cierta vulnerabilidad a los impactos climáticos. Mientras que el municipio Cauto Cristo presenta sus principales existencias de bosques naturales en la formación Semideciduo sobre suelos de mal drenaje, formación donde fue identificada una especie de rápido crecimiento entre sus principales componentes (*Crescentia cujete*) y otras tres especies con densidades de la madera inferiores a 700 kg*m⁻³ (*Annona glabra*, *Cordia collococca* y *Tabebuia angustata*), conjunto de elementos que unido a las pocas especies arbóreas principales que se reportan para esta formación (12 especies), aumentarían el nivel de riesgo de este municipio con respecto al anterior; sin embargo, la relativa abundancia de agua en el territorio por la cercanía del río hace poco probable la ocurrencia de un proceso agudo de sequía, lo que reduciría el riesgo a enfrentar.

7.2.5.3. RIESGOS EN MUNICIPIOS MÁS VULNERABLES A LA MUERTE REGRESIVA

La perspectiva futura de cómo pudieran evolucionar los niveles de riesgo identificados en el presente solo pudo ser valorada en base a las variables climáticas, pues no se dispone de escenarios temporales que analicen los cambios futuros de las plagas forestales.

De forma general, las situaciones futuras a lo largo del siglo XXI derivadas del análisis del escenario A2 indican que en ambas provincias y para los seis municipios considerados, las temperaturas tenderán a aumentar aun más, mientras que las lluvias en el mes más seco del año presentarán escasas variaciones, pero en el mes

más lluvioso, exhibirán fuertes cambios que en Granma estarán caracterizados por la alternancia de años de disminución y de aumento, mientras que en Guantánamo siempre ocurrirán disminuciones, alternando años de mayores y menores disminuciones con respecto a los valores medios del período 1961-1990.

Tales resultados indican que los riesgos futuros de los seis municipios hoy más vulnerables a la muerte regresiva de los bosques aumentarán progresivamente a lo largo del siglo, aun cuando las emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes al escenario A2 iniciarán una sostenida disminución, porque en tal caso la inercia propia del sistema climático impedirá que tales cambios de emisiones se reviertan en cambios positivos a corto plazo, de las variables climáticas consideradas.

7.2.5.4. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Establecer un sistema informativo de alerta climática para el Sector Forestal, con alcance municipal.
- b) Reforzar el monitoreo de bosques naturales y plantaciones en los 15 municipios de riesgos medios y altos, especialmente cuando entre noviembre y abril la temperatura del aire supere los 24 °C y cuando entre mayo y octubre, la lluvia mensual sea inferior a 150 mm.
- c) Evitar el empleo de especies de rápido crecimiento y/o bajas densidades de la madera en los planes de (re)forestación que en el futuro se desarrollen en los seis municipios de mayores riesgos.
- d) Acometer la paulatina sustitución de las 3 889,2 ha de plantaciones de *Leucaena leucocephala* (ipil-ipil), *Pithecellobium dulce* (inga dulce), *Albizia saman* (algarrobo del país), *Eucalyptus* spp. (eucalipto) y *Tectona grandis* (teca), existentes en los seis municipios de mayores riesgos.
- e) Acometer en los municipios Jiguaní, Bayamo, N. Pérez y M. Tames, mediante la tala selectiva y la reconstrucción de bosques, la paulatina sustitución de las 20 especies de alto riesgo existentes en las más de 23 Mha de la formación Semidecidua sobre calizas.

7.2.6. IMPACTOS POR EL AUMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

7.2.6.1. EFI MAYABEQUE, PROVINCIA LA HABANA

La Empresa Forestal Integral Mayabeque está ubicada en la provincia del mismo nombre, por lo que sus límites geográficos son: al Norte la provincia de La Habana y el estrecho de La Florida, al Sur el golfo de Batabanó, al Este la provincia de Matanzas y al Oeste la provincia de Artemisa. Por su posición geográfica está incluida en la región de Cuba más seriamente amenazada y azotada por huracanes en la temporada ciclónica (junio-noviembre) (Limia, Vega y Pérez, 2007). La precipitación media anual es 1 398 mm (INRH, 2007); la temperatura máxima anual 28,7 °C, la mínima anual 18,7 °C, y la media anual 22,0 °C; la humedad relativa media anual es de 80%, mientras los vientos predominantes son del ENE, con una velocidad media anual de 5,3 km/h (INSMET, 2007).

Los bosques de la empresa están caracterizados por tener tres categorías: productor, protector agua y suelo y protector del litoral. Presenta una composición mayoritaria

de bosques naturales con las formaciones Semidecídúo sobre caliza, Semidecídúo sobre suelos de mal drenaje, Manglar, Xerófilo de mogotes, Cuabal y Uveral.

El área empleada para el estudio comprendió los nueve municipios situados al sur de la provincia e incluyó el análisis de los impactos esperables a partir del escenario de emisiones A1C (IPCC, 2001), para una sensibilidad climática alta (4,2 °C), con las proyecciones de aumento del nivel medio del mar para Cuba en los años 2050 y 2100 (Modelo MAGICC/SCENGEN, versión 4.1; IPCC, 2001), reportado por Salas (2008), así como por la ocurrencia de un huracán categoría 5 en la escala Saffir-Simpson que circulara paralelo a la costa sur de la provincia, tomando en consideración que investigaciones realizadas por el Instituto de Meteorología han señalado que en tal caso, el área de Surgidero de Batabanó es el lugar de máximo riesgo de surgencia en el país, con una sobre-elevación potencial del mar de hasta 8 m de altura.

La capa con la distribución espacial de los lotes forestales de la empresa existentes en los nueve municipios del sur de la provincia fue facilitada por el Departamento Ordenación Forestal del Grupo Empresarial Agricultura de Montaña (GEAM), en tanto que la correspondiente a la penetración del mar para los años y el escenario utilizado fue suministrada por la Agencia de Medio Ambiente de CITMA, que adicionalmente entregó la correspondiente a la penetración del mar que ocurriría por surgencia. A partir de la superposición de estas informaciones gráficas, fueron identificados los lotes y rodales que recibirían el impacto del aumento del mar; y con la información contenida en el proyecto de ordenación forestal de la empresa, se determinaron las superficies afectadas y los volúmenes de madera allí existentes.

El aumento del nivel del mar: con la única excepción de los lotes situados más tierra adentro en los municipios Nueva Paz y Melena del Sur, todos los restantes serán afectados en algún grado por la penetración prevista por el mar a lo largo del siglo, bajo el escenario utilizado y del patrimonio administrado se perderían 35 617,01 ha que quedarían cubiertas por el mar, área equivalente al 71,9% del patrimonio de la empresa en los nueve municipios del sur y al 50,2% administrado en toda la provincia.

Al término del 2007, de la superficie total que resultaría afectada, 15 608,45 ha estaban cubiertas de bosques naturales y plantaciones con más de tres años de establecidas (48,2% de la superficie administrada en los municipios del sur), en las que existía un volumen de madera en pie ascendente a 1 349 677,60 m³, para un promedio de 86,47 m³*ha⁻¹, así como 1 480,4 ha pendientes de reforestar o con plantaciones con menos de tres años de establecidas que representarían un volumen potencial adicional de madera en pie equivalente a 128 010,19 m³, por lo que el impacto potencial del aumento del nivel del mar a lo largo de los restantes 90 años del presente siglo pudiera llegar a comprometer un total general de 1 477 687,79 m³ de madera en pie en la superficie que quedaría bajo las aguas. Y suponiendo que al menos una parte de las 10 688,03 ha de manglares reportadas en el 2007 fuese capaz de adaptarse al paulatino aumento del nivel del mar, aun restarían más de 4 988,05 ha de bosques en desarrollo o ya establecidos, con 402 330,35 m³ de madera en pie, cuyas especies serían incapaces de mantenerse en terrenos permanentemente inundados y con altos tenores salinos.

Sin embargo, el Instituto de Meteorología ha alertado que el escenario A1C es el resultado de un modelo global, no ajustado para la región del Caribe, en tanto que el Instituto de Oceanología (Hernández *et al.*, 2010), ha señalado que el escenario

empleado no incluye las variaciones intra e interanuales del nivel del mar en las costas del país. Las cuales en base a los registros mareográficos de la estación de La Coloma, la más próxima a la zona de estudio, presentaron una variación intra-anual entre 6-25 cm en 1997 y entre 8-30 cm en 1998, para una variación interanual media del mar de 10,32 cm en años normales, cifra que aumentaría hasta 20,00 cm en los años de ocurrencia de un evento ENOS, por lo que tales valores tendrían que ser añadidos a los generados por el escenario utilizado, elevando entonces el nivel del mar hasta 37-47 cm en el 2050 y 95-105 cm en el 2100 y en ese caso, se espera que aun menos lotes forestales del sur de la provincia escapen a este impacto del cambio climático.

La surgencia de un huracán: la totalidad de los lotes forestales administrados por la EFI Mayabeque en el sur de La Habana tendrían que enfrentar el impacto no solo del ablandamiento del suelo causado por la lluvia y de vientos sostenidos superiores a 250 Km.*h⁻¹ propios de un huracán categoría 5, sino también el embate del mar originado por la surgencia, cuya penetración en profundidad superaría con creces los límites de la distribución espacial del recurso forestal, conjunto de factores que ocurrirían simultáneamente y no en el marco temporal de un siglo, sino cuando más en el lapso de algunos días.

De producirse tal situación, del patrimonio administrado 41 795,53 ha enfrentarían los efectos de la surgencia, área equivalente al 84,4% del patrimonio de la empresa en los nueve municipios del sur y al 58,9% administrado en toda la provincia, área en la que al término del 2007 estaba reportada la existencia de 1 578 285,82 m³ de madera en pie.

7.2.6.1.1. Estrategia de adaptación

La formulación de una estrategia de adaptación para la situación específica de la EFI Mayabeque ha obligado a tomar en consideración un conjunto de elementos adicionales a los ya expuestos, que no están directamente relacionados con la actividad forestal, por lo que partiendo del análisis conjunto de toda la información disponible para el estudio de caso, se propone lo siguiente:

- a) En el tramo de la costa sur comprendido desde el límite Este del municipio Nueva Paz hasta el límite Oeste del municipio Artemisa, suspender definitivamente toda labor de aprovechamiento forestal en una profundidad de 15 km a partir de la línea costera y recategorizar todo el patrimonio forestal comprendido en el área, clasificándolo como áreas de conservación.
- b) Reforzar al máximo nivel posible la ejecución del programa de reforestación en toda la región litoral de los nueve municipios del sur de la actual provincia La Habana, especialmente en lo referido a los manglares, tomando en cuenta las recomendaciones que a este respecto sean formuladas por los equipos de trabajo que abordan el estudio de las zonas costeras tanto en el Instituto de Ecología y Sistemática (IES), como en el Instituto de Oceanología (IDO), ambos de CITMA.
- c) Tomar en cuenta la posible existencia de especies amenazadas o protegidas (animales y vegetales) en las zonas que serán afectadas por el aumento del nivel del mar, implementando con ellas una estrategia de conservación *ex situ* con un tiempo de antelación apropiado.

- d) Se enfatiza la importancia de reflejar adecuadamente todos los aspectos de esta estrategia en los proyectos de ordenación forestal de las empresas forestales correspondientes.
- e) Se advierte sobre la posible existencia de impactos colaterales en otros sectores económicos y ambientales, que deberán ser valorados por personal competente para formular complementariamente sus respectivas estrategias de adaptación.
- f) Mantener la existencia de la EFI Mayabeque en la nueva provincia de igual nombre, incluyendo en su objeto la prestación de atención especializada a los bosques costeros del sur de la provincia, desde el municipio Batabanó hasta el municipio Nueva Paz.
- g) Encomendar a la empresa forestal apropiada en la nueva provincia de Artemisa, incluir dentro de su objeto la atención especializada a los bosques costeros del sur de la provincia, desde el municipio Artemisa hasta el municipio Quivicán.

7.2.7. EFI VICTORIA DE GIRÓN, PROVINCIA MATANZAS

Ubicado al sur de la provincia Matanzas se localiza el municipio Ciénaga de Zapata, que constituye el mayor humedal de Cuba y del Caribe insular; colinda al Norte con el municipio de Jagüey Grande, al Este con la provincia Cienfuegos y al Noroeste con la provincia La Habana. La administración de la península de Zapata está subordinada a la Empresa Forestal Integral Victoria de Girón (actualmente fue transferida a la Empresa Nacional para la Conservación de la Flora y la Fauna del MINAG).

La extensión territorial de la Empresa supera las 436 mil hectáreas, con un área forestal de 276 801 ha casi totalmente cubierta de bosques (96%), caracterizada por una temperatura mínima de 20-25 °C y máxima de 25-30 °C y una precipitación media anual de 1 375 mm (1 000-1 200 mm en la costa y 1 200-1 400 mm en el resto del área, excepto en la parte central, donde es de 1 400-1 600 mm) (MINAG, 2000). En ella se han registrado alrededor de 900 especies de plantas autóctonas agrupadas en 110 familias, destacándose 115 endémicas cubanas, de las cuales cinco son locales.

La empresa cuenta con tres unidades silvícolas, siendo las principales Manglar, Bosques semicaducifolio sobre mal drenaje, Bosques semicaducifolio sobre caliza y Herbazal de ciénaga. Las plantaciones se encuentran en las zonas más elevadas y se han llevado a cabo mediante hoyos de plantación o subsolación, según el caso, constituyendo generalmente plantaciones puras.

Para el estudio se tomaron las elevaciones del mar derivadas del escenario de emisiones IS92A y de los reportes del Instituto de Oceanología (2006), teniendo en cuenta que el primero prevé los mayores valores de elevación del nivel mar. Las distancias de penetración para cada tipo de pendiente en cada año (2015, 2030, 2050 y 2100) fueron estimadas mediante la expresión propuesta por Álvarez, Milián y Álvarez (1998), variando entre un mínimo de 17 y 24 m en el 2010, para una pendiente de 0,20% y entre un máximo de 1 000 y 2 760 m en el año 2100, para una pendiente de 0,02%. A partir de esos resultados, fue realizada la determinación cuantitativa del área y volumen perdidos, empleando una plantilla de puntos y utilizando una escala lineal, tomando como base el volumen total de la entidad.

7.2.7.1 EVALUACIÓN CUALITATIVA

La elevación del nivel del mar prevista para el 2010, conllevará ligeros impactos negativos en las áreas cubiertas por la asociación *Rizophora mangle* + *Avicennia germinans* y también sufrirán un ligero impacto las asociaciones *Conocarpus erecta* + *Bursera simaruba*; *Coccoloba retusa* (icaquillo macho) + *Pera bumeliaefolia* (jiquí espinoso) y el uveral (*Coccoloba uvífera*). En el año 2030 los impactos negativos aumentarán provocando la muerte de las especies *Conocarpus erecta*, *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y la asociación *Lysiloma latisiliquum* + *Bursera simaruba* (soplillo y almácigo) en aquellas áreas que queden permanentemente inundadas. En el año 2050 los impactos negativos serán reforzados por el aumento considerable de las ciénagas, la Laguna del Tesoro y los canales, lo cual conllevará la muerte fundamentalmente de *Conocarpus erecta* y las asociaciones *Bucida buseras* (júcaro) + *Tabebuia* spp. (roble) y, *Annona glabra* (bagá) + *Chrysobalanus icaco* (icaco). Para el año 2100 los impactos negativos ocasionarán considerables daños (sobre todo en aquellos lugares de pendiente igual o menor a 0,08%), al afectarse por el aumento considerable de las ciénagas, canales y lagunas, incluso áreas de vegetación boscosa no inundadas que se encuentran hacia zonas interiores, como son parte de los bosques decídúos caracterizados por la asociación (guayabillo) + *Spondias mombin* (jobo), así como una porción de los bosques subperennifolio mesófilo caracterizados por la asociación *Taliparathyrsus elatus* (majagua) + *Prunus occidentalis* (cuajaní); también son de esperar afectaciones en zonas caracterizadas por la asociación *Conocarpus erectus* (yana) + *Bursera simaruba* (almácigo) y los uverales (*Coccoloba uvífera*).

Al afectarse su hábitat, especies tales como *Capromys pilorides* (jutía conga, endémico), *Asio stygius* (siguapa, endémico), *Epicrates angulifer* (majá de Santa María, endémico), *Anolis luteogulares* (chipojo, endémico), *Limnothlypis swainsonii* (bijirita de Swainson, endémico de la Ciénaga de Zapata), *Hemiltherus vermivorus* (bijirita gusanera, endémico de la Ciénaga de Zapata), *Chamaeleolis chamaeleonides* (chipojo ceniciento, endémico de la Ciénaga de Zapata), *Amazona leucocephala* (cotorra, endémico y en peligro de extinción), *Phoenicopiterus ruber* (flamenco), *Falco peregrinus* (halcón peregrino), *Capromys prehensilis* (jutía carabalí, endémico), *Agelaius assimilis* (mayito de ciénaga, endémico), *Lepisosteus tristocchus* (manjuarí, endémico de la C. Zapata, en peligro de extinción) se verán forzadas a emigrar.

En adición a lo anterior, como consecuencia de la penetración del mar los tenores salinos de los acuíferos subterráneos y de los suelos irán aumentando progresiva y sostenidamente, afectando a todas las especies arbóreas de bosques naturales y plantaciones próximas a la autopista nacional, pudiendo incluso superar ese límite e incidir sobre cultivos frutales y agrícolas ubicados en el municipio Jagüey Grande.

7.2.7.2. EVALUACIÓN CUANTITATIVA

Atendiendo a la variación de la penetración del nivel del mar para el año 2100, se fijará una nueva línea de marea. Estas áreas ocupadas, actualmente por una vegetación temporalmente inundada conformada por Herbazales de ciénaga, Manglar y Bosque de ciénaga (*Annona glabra* con *Chrysobalanus icaco*; *Bucida buseras* con *Tabebuia angustata*) hacia el Oeste y de Bosques semicaducifolios (*Metopium brownei* con *Swietenia mahagoni*), bosques subperennifolios mesófilos (*Taliparathyrsus elatus* con

Calophyllum antillanum y *Prunus occidentalis*) y Bosques semidecídúos mesófilos (*Lysiloma latisiliquum* con *Bursera simaruba*) hacia el Este, quedarán bajo la influencia del mar.

El impacto esperable es que de 436 878 ha existentes en la empresa, en el 2100 se afectarán por el aumento del nivel del mar 27 205 ha, donde existen casi 300 mil metros cúbicos de madera en pie, en tanto que el cambio que se producirá en la línea de marea añadirá a esta cifra 1 348 ha de bosques semidecídúos que serán paulatinamente convertidos en manglar, creciendo esta última formación en 63 892 ha (11,57%) con respecto a su área actual. Por otra parte, de las 147 862,74 ha (26,8%) de bosques semidecídúos hoy existentes, se perderán 3 652,00 ha como resultado del cambio de la línea de marea y por el aumento de lagunas y ciénagas, en tanto que 2 805,10 ha serán invadidas por el mar.

7.2.7.3. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN PROPUESTA

- a) A corto plazo, para las áreas protectoras y en especial, para las de manejo especial, será preciso acometer la conservación *ex situ* de aquellas especies de particular interés florístico, tales como: *Albizzia cubana* (bacona); *Atkinsia cubensis* (majagua negra de Cuba); *Dendrocereus nudiflorus* (Aguacate cimarrón); *Lysiloma sabicú* (sabicú); *Manilkara jaimiquí* (jaimiquí); *Calycophyllum candidissimum* (dagame); *Diospyros crassinervis* (ébano carbonero) y *Prunus occidentalis* (cuajaní) entre otras, cuyas existencias físicas en su mayoría para el año 2100 se verán severamente comprometidas.
- b) También será necesario reforzar la ejecución del programa de reforestación en toda la región litoral del municipio, especialmente en lo referido a los manglares, tomando en cuenta las recomendaciones que a este respecto puedan ser formuladas por los equipos de trabajo que abordan el estudio de las zonas costeras tanto en el Instituto de Ecología y Sistemática (IES), como en el Instituto de Oceanología (IDO), ambos de CITMA.
- c) En las áreas productoras, desde el presente deberán adoptarse medidas de protección con los recursos genéticos de aquellas especies de interés económico, tales como la localización de sus existencias, la recolección de sus semillas y la producción de plántulas destinadas al enriquecimiento de estas formaciones boscosas en otros territorios o a la formación de plantaciones especializadas en la producción de semillas.
- d) Igualmente habrá de procederse en todas las áreas que no llegarán a ser cubiertas por el aumento del mar, pero que experimentarán los impactos del aumento de los tenores salinos de acuíferos y suelos.
- e) Para las superficies que integran los bosques productivos semidecídúos y parte de las plantaciones que paulatinamente quedarán bajo las aguas, debe orientarse en primera instancia el establecimiento de un sistema de monitoreo que permita identificar el momento a partir del cual, el aprovechamiento de los recursos forestales madereros y no madereros en ellas existentes deberá ser priorizado, para evitar su pérdida bajo el mar.
- f) Todas las áreas donde se aplique esta estrategia deberán ser previamente identificadas, evaluadas y analizados los posibles riesgos de éxito del proceso,

en base a sus condiciones específicas actuales; además, todas estas acciones deberán ser incorporadas al proyecto de ordenación forestal de la entidad.

7.2.8. EFI VILLA CLARA, PROVINCIA VILLA CLARA

Ubicada entre los 21°56'45'' y 23°04'14'' N y entre los 79°19'06'' y 80°45'16'' W, la Empresa Forestal Integral Villa Clara cuenta con una superficie total de 59 743,9 ha (EFI V. Clara, 2008); de las cuales 57191,7 ha están consideradas como áreas forestales (95,73%) y 2 552,2 ha consideradas como inforestales (4,27%), divididas en nueve unidades silvícolas. Las existencias maderables de la empresa han sido estimadas en 2 735 624 m³, con un incremento medio anual de la biomasa comercial de 5,3 m³*ha⁻¹*año⁻¹ en bosques naturales y de 13,1 m³*ha⁻¹*año⁻¹ en plantaciones. Anualmente se aprovechan 150,9 ha con 1 853,12 m³ de madera como promedio, aproximadamente 112,28 m³*ha⁻¹, lo que representa solo el 0,07% de sus existencias. Un 2,94% del área total de la empresa está formada por lagunas y ciénagas, agrupadas fundamentalmente en la unidad silvícola de Sagua.

El clima en la zona es tropical del tipo Aw (Köppen), con dos estaciones bien definidas, una de lluvias de mayo a octubre, donde se registra el 79% de las precipitaciones (1 042 mm), y otra seca de noviembre a abril (284 mm), con un acumulado anual de 1 326 mm. La temperatura oscila entre los 29 y 20 °C, con una media de 24 °C, una máxima absoluta de 32 °C y una mínima absoluta de 16 °C. En esta zona las temperaturas más frías ocurren en los meses de enero y febrero, siendo los meses de junio a agosto los más calientes. En el caso de los vientos, los de dirección ENE son predominantes y se comportan más fuertes en los meses de marzo y abril.

Para la evaluación de los impactos se empleó la metodología descrita por Álvarez y Ponce (2003); para la proyección del aumento del nivel medio del mar se empleó el escenario A1C (IPCC, 2001), con una sensibilidad climática alta (4,2 °C), que evidencia para los años 2030, 2050 y 2085 incrementos de 15 cm, 27 cm, y 64 cm, respectivamente. Teniendo en cuenta la elevación del mar y las características de la EFI Villa Clara, se calculó la pendiente en cada año utilizando el sistema de información geográfica ILWIS 4.0 para crear el modelo de elevación digital del terreno y así conocer los valores de pendiente, para posteriormente calcular la distancia de penetración. Luego, empleando las informaciones contenidas en el Proyecto de Ordenación 1996-2007 de la Empresa, se calcularon a nivel de rodal, los impactos que se producirían, teniendo en cuenta en cada rodal su pendiente y la composición de especies arbóreas.

El ecosistema Manglar se desarrolla en la EFI Villa Clara por toda la costa norte, abarcando los municipios de Corralillo, Encrucijada, Quemado, Sagua y Remedios; ni *A. germinans* ni *L. racemosa* son abundantes en el área de estudio y tampoco se observan ni siquiera restos de la manigua costera, debido a que en gran parte de la zona se buldocearon los jucarales y la manigua costera. Como consecuencia del impacto del aumento del nivel del mar, la distribución de estas especies puede modificarse de acuerdo a las condiciones específicas de cada lugar, principalmente en lo que se refiere a *A. germinans*, que se adapta muy bien a lugares de elevada salinidad y a *L. racemosa*, que es menos exigente en la competencia por la luz (Menéndez *et al.*, 2000). Para los tres escenarios las unidades silvícolas que se verán más afectadas serán Sagua, Encrucijada y Remedios; en general, la empresa al finalizar el 2085 perderá 14 412,92 ha de sus bosques costeros, que representan el 60,32% de sus áreas en la zona costera, las que quedarán totalmente inundadas.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos los impactos esperables no solo afectarán las áreas de manglares que son las más perjudicadas, sino que otras áreas del interior, con especies tales como *Bursera simaruba* (almácigo), *Casuarina* sp. (casuarina), *Guazuma tomentosa* (guásima), *Albizia procera* (algarrobo indio), *Tectona grandis* (teca), *Calophyllum antillanum* (ocuje), *Pinus caribaea* var. *caribaea* (pino macho), *Swietenia mahagoni* (caoba del país), *Leucaena leucocephalla* (ipil ipil), *Swietenia macrophylla* (caoba de Honduras) y *Taliparathy elatus* (majagua), también se verán afectadas, porque la cuña salina penetrará tierra adentro, afectando incluso al sector agrícola, con nefastas consecuencias tanto desde el punto de vista económico, como ambiental.

Otro impacto estará relacionado con la fauna de la región, porque al perderse la vegetación que constituye su hábitat tendrá que emigrar, situación en la que estarán los flamencos y tortugas, que ya desarrollan estrategias de adaptación al enterrar sus huevos tierra adentro, para evitar que sean arrastrados por el aumento del nivel del mar.

7.2.8.1. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) En las áreas de manglares que van a ser afectadas en cualquiera de los tres escenarios y en las unidades silvícolas, las medidas de adaptación están relacionadas con la dimensión económica, pues debe planificarse el aprovechamiento total de sus recursos maderables y no maderables.
- b) La utilización de los recursos maderables estará en concordancia con los surtidos que se extraigan de dichos bosques. En el caso de los manglares, la madera se utilizará principalmente como leña y para la producción de carbón vegetal, los cuales se utilizarán tanto para el consumo industrial como doméstico. En el caso de las áreas de la manigua costera, el aprovechamiento se realizaría con el objetivo de extraer tanto madera rolliza para construcciones rurales, cujes, utilización directa como combustible (leña) en el caso de la madera de muy cortas dimensiones, así como para la producción de traviesas.
- c) Los recursos no maderables, como la corteza de mangle, podrán ser empleados en la producción de curtientes vegetales o desde el punto de vista medicinal.
- d) Para llegar a cumplimentar este objetivo estas acciones deberán ser incluidas en el proyecto de ordenación de la empresa.
- e) En las áreas donde habitan varias de las especies integradoras del ecosistema manglar, no todas se verán afectadas al mismo tiempo, por lo que puede desarrollarse un proceso de colonización donde predomine una o dos especies; sin embargo puede ocurrir una nueva distribución de especies y un cambio en su abundancia relativa. Esta situación se presentará, fundamentalmente, en áreas de transición entre las formaciones Manglar y Semideciduo o en zonas donde coexistan tres o todas las especies que integran los manglares. El desarrollo de esta estrategia, basada en una sustitución natural, solo requerirá la intervención del hombre en los casos en que se detecte la invasión de vegetación indeseable.
- f) Sin embargo, podrán presentarse otras áreas cubiertas por solo una o dos especies de mangles que no se adapten a las nuevas condiciones, pero donde sea factible implementar una sustitución. En tales casos, la rehabilitación se efectuaría por medio de plantaciones, sea por siembra directa o por plantación,

para lo que será necesario realizar una valoración previa por área y determinar, en dependencia de las condiciones existentes (salinidad, inundaciones, etc.), qué especies emplear y cuál método de reforestación se debe usar.

- g) Las zonas que reflejen altos índices de salinidad requerirán una preparación previa por medio de un sistema de canales que faciliten la circulación e intercambio de las aguas marinas con las aguas interiores, teniendo en cuenta que la costa norte de Villa Clara es una región llana y existe la problemática de que hay muchos canales que se han interrumpido y no hay mucho intercambio entre agua dulce y salada, razón por la cual en muchos lugares no se ven grandes áreas de mangle rojo y mangle prieto, como sucede fundamentalmente en las zonas de Piñón, Uvero e Isabela de Sagua.
- h) En las zonas donde no se producirá penetración del mar hasta el 2085 se debe evitar la deforestación y tratar de llevar a cabo la conservación de los bosques maduros, como reserva de biomasa.
- i) En aquellas áreas donde se vayan a emplear estas estrategias de adaptación deben ser previamente identificados, evaluados y analizados los posibles riesgos del éxito del proceso en base a sus condiciones específicas actuales, labor que debe ser objeto de un programa de seguimiento que periódicamente vaya validando su avance temporal, a fin de evitar costosos fracasos futuros, lo cual debe ser adecuadamente incorporado al proyecto de ordenación forestal de la Empresa.
- j) La conversión de una parte de los bosques semidecíduos hoy existentes, en manglares futuros, será un proceso natural que ocurrirá paulatinamente y donde la adaptación fundamental será de carácter económico, debiendo estar orientada al aprovechamiento máximo e intensivo de los recursos forestales maderables y no maderables hoy existentes en las áreas de bosques semidecíduos que en el futuro serán sustituidos, tomando en consideración el lapso de evolución temporal previsto para este cambio y el proyecto de ordenación forestal de la empresa.
- k) Entre las medidas de adaptación también deben incluirse objetivos de carácter ambiental, ya que en la zona de estudio también son reportadas diversas especies arbóreas incluidas en la relación de especies protegidas emitida por el MINAG y para las cuales sería necesario adoptar medidas de conservación *ex situ*, entre las cuales deben estar la localización de sus existencias en las áreas que se convertirán a manglares, la cosecha de sus semillas y la producción de plántulas destinadas al enriquecimiento de estas formaciones boscosas en otros territorios de la propia empresa. Entre estas especies se encuentran *Haematoxylum campechianum* L. (palo Campeche) y *Calycophyllum candidissimum* (Vahl.) DC. (dagame).

7.2.9. ÁREA PROTEGIDA DELTA DEL CAUTO

Se encuentra ubicada en la porción suroriental de la isla de Cuba. Incluye la porción sur de los municipios de Jobabo y Colombia de Las Tunas, así como la porción suroeste del municipio Río Cauto y el este de Yara, ambos de la provincia Granma. Es el más extenso, complejo y mejor conservado sistema deltaico de Cuba y de las Antillas; constituye además, el segundo humedal del país en extensión, solo superado por la Ciénaga de Zapata y, el más meridional dentro de la geografía cubana (Cisneros et al., 1999). La extensión total del área es de 66 375 ha (56 384 ha terrestres y 9 991 ha marinas).

Forma una extensa llanura de altura media menor a un metro (excepcionalmente, hasta 2-3 m s.n.m.), con extensas zonas deprimidas inundadas (lagunas) y otras estacionalmente inundadas (marismas, pantanos, herbazales y bosques). Las características de estas llanuras se encuentran determinadas en su inmensa mayoría por el funcionamiento hidrológico de la zona dada, por su posición hipsométrica y distancia a la costa, por lo que para su caracterización puede ser subdividida en cuatro grandes zonas geográficas distintas, con diferentes comportamientos hídricos: Boca del Cauto Norte, Boca del Cauto Sur, Brazo de la Puente y Tunas.

La información climática se tomó sobre la base de los datos suministrados por la Estación Meteorológica de Jucarito, municipio Río Cauto, para el período 1980-2008. Las precipitaciones se dividen en dos períodos: uno lluvioso de mayo a octubre, con una media mensual de 149,5 mm y otro poco lluvioso de noviembre hasta abril, con una media mensual de 40,8 mm, en tanto que el promedio histórico anual de lluvia acumulada es de 1 132,6 mm; la temperatura media anual es de 25,5 °C, con una máxima absoluta de 32,4 °C y una mínima absoluta de 20,4 °C, siendo los meses más fríos de diciembre a febrero y los más cálidos, de junio hasta agosto y la media anual de humedad relativa del aire es 76,0%.

Las regularidades geo-morfológicas y climático-hídricas del área del refugio de fauna condicionan la existencia de las siguientes formaciones vegetales: Manglares, herbazales de ciénaga, bosque de ciénaga, comunidades acuáticas en agua dulce, bosque de galerías, matorral xeromorfo costero y subcostero, bosque semidecídúo sobre suelo de mal drenaje, vegetación de costa arenosa y sabanas seminaturales, mientras que los inventarios y observaciones de la fauna silvestre realizados solo se refieren al grupo de los vertebrados, donde el grupo mejor representado es el de las aves, con 138 especies ubicadas en 18 órdenes, 43 familias y 112 géneros.

Para la proyección del aumento del nivel medio del mar para Cuba en el tiempo se empleó el escenario A1C (IPCC, 2001), con una sensibilidad climática alta, que evidencia para los años 2030, 2050, 2070 y 2100 incrementos de 15 cm, 27 cm, 48 cm y 85 cm, respectivamente, teniendo en cuenta que estos son los límites mayores esperables. A partir de los valores de elevación del mar previstos por el escenario A1C y las características de pendiente presentes en el refugio de fauna "Delta del Cauto", se estimaron las distancias de penetración para cada tipo de pendiente en cada año, así como el área que ocupará el mar como consecuencia de esta situación mediante la expresión propuesta por Álvarez, Milián y Álvarez (1998). Para poder identificar cualitativamente los resultados del análisis hecho, los datos originales y los correspondientes a cada uno de los años del escenario considerado fueron transferidos a un mapa del área a escala 1:50 000, donde se pudieron apreciar en detalle los impactos esperables.

En consecuencia, para el año 2030 la penetración esperable experimentará valores considerables, con un mínimo de 35,25 m y un máximo de 543,75 m; mientras que para el año 2100 este fenómeno será mucho más intenso, variando entre un quinto y más de tres kilómetros de penetración del mar tierra adentro. De forma general el área que quedará sumergida bajo el mar como consecuencia de la penetración estimada alcanzará valores del orden de las 3 134,86 ha para el 2030, 4881,14 ha para el 2050, 7 753,14 ha para el 2070 y 12 561,00 ha en el 2100, situación que repercutirá negativamente sobre los recursos de la flora y la fauna que sostengan algún tipo de relación con el área.

Las características de relieve eminentemente llano que presenta el área que ocupa el Refugio de fauna "Delta del Cauto" con pendientes que oscilan entre 0,03% y 0,40%, no posibilitarán que existan muchas opciones de supervivencia de este ecosistema incluso para el año 2030, cuando se espera que ocurran los menores impactos debido a que el nivel de penetración será tan significativo, que estas zonas quedarán permanente inundadas. En los pocos casos del área donde se evidencian las mayores pendientes del orden de 0,40%, podrán sobrevivir para el año 2030 algunos individuos de *Rhizophora mangle* L., debido a que esta especie soporta mayores niveles de salinidad e inundación; no obstante esto estará en correspondencia con el comportamiento que tengan los tenores salinos ya que en la medida en que estos se incrementen serán más improbables las opciones de supervivencia. A partir del año 2050 se intensificarán los impactos negativos, reforzados por el incremento considerable de la superficie de esteros y ciénagas, lo que traerá aparejada la muerte de las especies de mangle que crezcan en sus perímetros debido al aumento de las áreas inundadas de forma permanente, afectándose fundamentalmente *A. germinans*, *L. racemosa* y *C. erecta* por este motivo. En los años 2070 y 2100 los impactos negativos serán mucho más severos, porque se afectarán las zonas litorales, las zonas interiores y las áreas de lagunas, esteros y ciénagas, previéndose pérdidas totales en las cuatro especies de mangles.

La elevación del nivel del mar con su consecuente penetración hacia tierra firme producirá consecuencias devastadoras sobre los recursos de la fauna que se conservan y protegen en el área, máxime si se tiene en cuenta que existe el 45% de las aves endémicas de Cuba, además de una población aproximada de 40 000 flamencos, la presencia en el grupo de los reptiles de endémicos locales y otras especies cuyas poblaciones son consideradas de relevancia internacional, como la de *Crocodylus acutus* (cocodrilo americano). Para el año 2030 la penetración estimada tendrá sus mayores impactos sobre algunas áreas donde habita *Crocodylus acutus*, con incidencia parcial sobre una de las cuatro zonas de nidificación fundamental de esta especie, además de producir una devastación casi total de dos de las cinco zonas de hábitat y reproducción de *Cyclura nubila* y *Capromis pilorides*. Para el año 2050 se intensificarán las afectaciones sobre las zonas de nidificación del cocodrilo y habrán desaparecido dos de las que son hábitat de iguanas y jutías, además de extenderse los impactos hacia otras áreas de gran importancia, donde nidifican flamencos, se villas, pelícanos y garzas. Para el 2070 habrán desaparecido dos importantes zonas de nidificación de cocodrilos y una de las tres donde nidifican flamencos, se villas, pelícanos y garzas y para el 2100 estos se intensificará al extremo, con una marcada influencia sobre las zonas actuales de nidificación de cocodrilos, que habrán desaparecido en su totalidad. Similarmente sucederá con aquellas donde nidifican flamencos, se villas, pelícanos y garzas, debido a que solo una de estas áreas quedará exenta de sufrir estos impactos y las dos restantes, quedarán afectadas parcial y totalmente, según el caso.

El incremento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático también tendrá repercusiones directas sobre la extensión del río Cauto. A partir de los estudios de penetración del mar en el refugio de fauna "Delta del Cauto" se obtuvo que para el 2030 el río Cauto habrá perdido aproximadamente 900 m desde su desembocadura hacia su interior, situación que se irá intensificando en la medida en que transcurra el tiempo, alcanzando valores de 1 750 m, 4 750 m y 11 500 m para el 2050, 2070 y 2100, respectivamente. Estas estimaciones proporcionan una

idea de las numerosas alteraciones que de esto se puedan derivar, destacándose el recrudecimiento de la situación alimentaria en el territorio, específicamente en la comunidad “El Júcaro”, donde se manifestarán afectaciones relacionadas con la disminución de los rendimientos de las producciones agrícolas por la escasez de agua para regadío, con énfasis en la producción de arroz. Otro aspecto de gran importancia lo constituye el hecho de que la población sufrirá limitaciones para la obtención de agua potable, viéndose en la necesidad de trasladarse distancias apreciables aguas arriba en busca de este recurso, hasta donde el mar no lo haya afectado.

7.2.9.1. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Deben implementarse planes de conservación *ex situ* de aquellas especies susceptibles de sufrir alguna afectación que incluya entre otras, la identificación y repoblación de áreas con condiciones de clima y alimentación favorables para su reproducción que, aunque no permitan que se produzca un incremento continuo de estas especies en una primera etapa, por lo menos logren mantener la existencia de una población estable o con una disminución relativamente baja, para con esto garantizar la conservación de sus genofondos.
- b) Las áreas donde se vayan a emplear estas estrategias de adaptación o de sustitución, deberán ser previamente identificadas, evaluadas y analizados los posibles riesgos del éxito del proceso en base a sus condiciones específicas actuales, lo cual debe ser adecuadamente incorporado al proyecto de ordenación de la Empresa para la Protección de la Flora y la Fauna.
- c) Implementación de un sistema de monitoreo permanente de la situación costera, que permita conocer sistemáticamente lo que esté sucediendo con el nivel del mar y los efectos que se estén produciendo sobre los recursos arbóreos forestales del área, incluyendo la identificación de aquellos que enfrenten riesgos de muerte inminente.
- d) Aprovechamiento total de los recursos madereros y no madereros en los lugares de efectos extremos e irreversibles.

7.2.10. LAS PLAGAS FORESTALES

7.2.10.1. VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LAS PLAGAS FORESTALES

Varias de las plagas se encuentran en toda el área de distribución a la que se han adaptado ecológicamente, por lo que pueden considerarse como plagas establecidas y sus daños pueden ser graves y variar de un año a otro, mientras que otras plagas actuales no se encuentran en toda la zona potencial de distribución ecológica, debido a factores evolutivos, fisiológicos, geográficos e históricos.

Entre los factores mundiales que provocan problemas relacionados con las plagas de las plantas figura el cambio climático, que puede producir diferentes efectos en los distintos tipos de plagas. Según se desprende de estudios sobre especies concretas, el cambio climático puede influir en los siguientes aspectos: tasas de desarrollo de las plagas y número de generaciones de estas al año; mortalidad de las plagas debido al frío y a la congelación durante los meses de invierno, o susceptibilidad de las plantas hospedadoras de las plagas. En el caso de las plagas que son migratorias, puede impulsar

cambios ecológicos en las áreas donde se originan o desplazar su ubicación, por lo que algunos brotes serán menos frecuentes, mientras que en otros, aumentarán su frecuencia.

Cuando dos o más especies contribuyen a un problema asociado con las plagas, como en los patógenos transmitidos por vectores o los patógenos que provocan síntomas más graves en presencia de daños de insectos simultáneos, los efectos del cambio climático podrían expresarse a través de cualquiera de esas especies. En términos generales, el aumento de la temperatura puede influir en las interacciones entre patógenos y cultivos, acelerando el ritmo de crecimiento de los patógenos, lo que incrementa las generaciones reproductivas por ciclo vegetativo, disminuyendo la mortalidad de los patógenos debida a las frías temperaturas del invierno.

El cambio en las condiciones ecológicas asociado con el clima puede aumentar la idoneidad de nuevas áreas para posibles plagas cuarentenadas, lo que aumentaría su susceptibilidad a la invasión de patógenos. La distribución geográfica de una plaga o cultivo puede cambiar en paralelo con el clima. Así pues, las evaluaciones iniciales de riesgo que anteriormente formaban la base de las decisiones que favorecían o restringían el comercio, quizá deban reconsiderarse en el contexto del cambio climático.

En diversos estudios realizados fuera y dentro del país se conoce que después de un incendio comenzará la aparición de plagas oportunistas que afectarán la salud del bosque de forma irremediable; diversos estudios realizados en Cuba por García *et al.*, (2006) encontraron en dos estudios de casos la aparición de escolítidos del género *Ips* y comejenes del género *Nasutitermes* después de incendios forestales. Al respecto, los estudios realizados en bosques de pino de las regiones occidental (Viñales, provincia Pinar del Río, en *Pinus caribaea* var. *caribaea*) y oriental (Baracoa, provincia de Guantánamo, en *Pinus cubensis*) del país indicaron en el caso de Viñales, la presencia en las áreas quemadas de termites del género *Nasutitermes* y después de transcurrido algunos meses de la primera observación, aproximadamente solo el 30% de la población de árboles quedó viva debido al incendio y el ataque de la plaga, que aparentemente no fue intenso, incidió sobre la recuperación de los árboles sobrevivientes. En Baracoa las evaluaciones fueron realizadas en dos localidades: En Las Cuabas, donde 49% de la especie *Pinus cubensis* presentaba una afectación ligera por el incendio y 51% sufría una afectación grave, con un ataque del 50% de perforadores y de 10% de taladradores y descortezadores, registrándose las especies *Ips grandicollis* (Eichh.) e *Ips calligraphum* (Eichh.) y en La Ceiba, donde se pudo apreciar que el 10% de la población muestreada presentaba una afectación grave por el fuego, el 30% no estaba afectada y el 60% tenía una afectación ligera (en casi todos los casos ya recuperados). Aquí, en total estaba afectado por plagas el 50% de los árboles, de los cuales 37% lo estaban por *Diorictia horneana* (Dyar.) (presente en árboles con afectación ligera del fuego, es decir, solo el 10% de los árboles dañados por las llamas) y el 13% restante, por taladradores.

7.2.10.2. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Planificar la prevención y las medidas previas de supresión y de supresión en sí de los incendios forestales, así como el mejoramiento de la salud del bosque a través de la silvicultura y del manejo integrado de plagas.

- b) Acelerar los programas para la recuperación de maderas y para la ordenación de los productos combustibles con el fin de reducir el riesgo de incendios en los bosques, especialmente en los que han sido afectados por altos niveles de plagas, o por decadencia forestal.
- c) Crear programas para el control de insectos y enfermedades que sean capaces de detectar aumentos en la aparición y en la intensidad de la decadencia de los bosques, en la actividad de nuevas plagas (naturales o introducidas), además de las que históricamente causaron pérdidas. Los sistemas de vigilancia y monitoreo también deberían ser capaces de detectar cambios en la biología, ecología, y distribución natural de las especies que causan las plagas, incluyendo el registro de factores claves de sus vidas, número de generaciones, modelos de alimentación e interacciones plaga/huésped.
- d) Comenzar programas para investigar los efectos a largo plazo del cambio climático en la biología y en las interacciones entre plaga/huésped de las especies de plagas tradicionales. Identificar, también las especies que tienen el potencial de convertirse en plagas tras el cambio climático y transferir lo antes posible el resultado de las investigaciones a los programas operativos de la producción.
- e) Realizar estudios sobre los efectos de los incendios, insectos y enfermedades sobre la biodiversidad en términos de especies colonizadoras, descendientes y clímax. Determinar el grado de "perturbación" en el proceso de auto recuperación de los sistemas vegetales debido al cambio climático. Algunos ejemplos son: La incapacidad de los bosques para volver a ocupar las áreas quemadas o taladas, o una descendencia "detenida" donde la vegetación formada por lianas no vuelve a ser sustituida por el bosque.

7.2.11. VULNERABILIDAD DE LOS BOSQUES A LAS PLAGAS

Uno de los primeros efectos observados del cambio climático fue el aumento de los insectos y las enfermedades que causaron pérdidas en los bosques, lo que se puede verificar analizando las epidemias de plagas que ocurrieron y que son el resultado del estrés causado por las sequías periódicas y por el exceso de lluvia (Ciesla, 1996). Los estudios de Kristiasen (1993) y de Sauerbeck (1992), sobre los posibles efectos del cambio climático con respecto a las plagas en la agricultura, permitirán identificar los efectos en el sector forestal, los que pueden ser negativos o positivos.

Entre los efectos negativos se encuentran:

- Las mayores temperaturas en ciertas localidades acelerarán los ciclos reproductivos de las plagas de insectos al año, aumentando su potencial destructivo como es el caso del gusano de los brotes *Rhyacionia frustrana* (Comst), el que está presente en casi todos los sitios de la Isla de Cuba donde crecen sus hospedantes. El desarrollo de la plaga es continuo durante todo el año y es definida como plaga crónica. Lo mismo puede ocurrir con el taladrador de las meliáceas *Hypsipyla grandella* (Zeller), conocido en todo el país y cuyo desarrollo es continuo durante todo el año.
- La relación entre las especies que causan plagas y sus enemigos naturales podría cambiar a favor de las plagas, lo que aumentaría el potencial reproductivo de las plagas que destruyen los bosques, produciendo un mayor nivel de daños.

- Una mayor frecuencia de sequías, ciclones, períodos de excesiva lluvia y grandes fríos, causarían una mayor tensión en los árboles y en los bosques, haciéndolos más sensibles al ataque de las plagas.
- La ampliación de la relación carbono/nitrógeno en los árboles debido a elevados niveles de CO₂ podría aumentar el consumo de follaje de los insectos. Algunos autores plantean que la velocidad de alimentación de las larvas de lepidópteros aumentó contemporáneamente con los aumentos de CO₂ atmosférico. Lincoln (1993) ha encontrado reacciones similares en la alimentación de follaje con los himenópteros llamados moscas de la sierra (*Neodiprion* spp.), por lo que puede ocurrir de la misma manera con el aumento de la defoliación en *Pinus caribaea* en la región occidental del país, provocado por el himenóptero *Neodiprion insularis* (Cress.) y por *Neodiprion merkei* Ross. para la región oriental del país en *Pinus maestrensis*.
- Una mayor frecuencia de epidemias de insectos y enfermedades debido al estrés de los árboles asociado con el cambio climático, produciría mayores niveles de productos combustibles en los bosques, aumentando el peligro de incendios y en consecuencia, una explosión de perforadores de la corteza, principalmente de la familia Scolytidae. En el año 2001, después del paso del huracán Michel, se produjo una explosión de escolítidos en la provincia de Villa Clara, donde predominaban las altas temperaturas, la acumulación de productos combustibles y una gran sequía.

Algunos de los potenciales efectos positivos son:

- Los altos índices de crecimiento, que han sido pronosticados debido al aumento de las temperaturas y a los altos niveles de CO₂, podrían permitir a los bosques resistir el mayor número de insectos y de daños causados por enfermedades, sin que sean afectados el crecimiento y la productividad.
- El mayor vigor de los árboles y de los bosques que crecen con niveles elevados de CO₂, podría volverlos más resistentes al ataque de insectos y enfermedades.
- Los elevados niveles de CO₂, podrían traer beneficios para la salud de las plantas y para su productividad, alterando su morfología y fisiología en perjuicio de los agentes nocivos.

Para Cuba han sido identificados, además, los siguientes riesgos de introducción de plagas transfronterizas (Cruz, Vila y Álvarez, 2008):

- Eventos climáticos extremos como la sequía pueden aumentar la invasión por *Armillaria* spp. que es una plaga cuarentenada para Cuba y de entrar al país, afectaría considerablemente los bosques naturales y plantaciones de coníferas.
- *Monochamus titillator* presente en todas las especies de pino distribuidas en el área y puede trasladarse en estados inmaduros (larva o pupa) dentro de la madera o debajo de la corteza en árboles o pedazos de árboles que arriben a las costas del país por el efecto de los huracanes. Daña la madera tanto en forma de larva, como de adulto, pero su mayor importancia radica en su capacidad de transportar de forma forética las larvas dispersantes del nemátodo *Bursaphelenchus xylophilus* cuarentenado en Cuba.

- De los escarabajos de la corteza *Dendroctonus* spp., siete especies resultaron tener al menos un moderado riesgo de establecimiento en Cuba y *D. adjunctus*, *D. mexicanus* y *D. frontalis* resultan tener un alto riesgo de diseminación debido a que presentan una alta tasa de dispersión anual en Centroamérica, alto potencial reproductivo y son difíciles de controlar, debido a que se desarrollan con facilidad en árboles vivos y vigorosos de pino. Las seis especies que tienen de moderada a alta probabilidad de diseminación en Cuba, tienen un alto potencial de ocasionar daños económicos, ambientales e impactos negativos políticos y sociales, porque pueden causar una perturbación ecológica significativa y afectar *Pinus tropicalis* Morelet, especie de limitada distribución geográfica en Cuba, razones por las que clasifican como especies de alto riesgo en estos aspectos. De las seis, una especie resulta ser la de mayor riesgo: *D. frontalis*, debido a que tiene mayor dispersión a partir de su localidad de origen y es la única que se cita como plaga de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barret & Golfari, taxón introducido experimentalmente en Cuba, del que la variedad *caribaea* constituye una especie autóctona y es la más empleada nacionalmente para los planes de reforestación.
- *Coptotermes formosanus* Shiraki es una plaga cuarentenada que presenta un potencial de entrada alto y también potenciales de establecimiento y diseminación razonablemente altos, motivos por los cuales se considera que el riesgo potencial de introducción para esta plaga es elevado.
- Existen otras plagas con riesgo de introducción en el país donde los factores climáticos podrían desempeñar un papel decisivo, tales como la chinche harinosa rosada (*Macollenicoccus hirsutus*), que afectaría tanto a las especies forestales, como a los cultivos agrícolas.

Sin embargo, tales riesgos de introducción no son exclusivos de agentes biológicos hoy inexistentes en el país como las plagas transfronterizas, sino que también incluyen la dispersión nacional a lugares hoy no afectados, de plagas ya reportadas para otros sitios dentro de Cuba, como es el caso de *Lecanosticta acicola*.

7.2.11.1. ESTRATEGIA DE ADAPTACIÓN

- a) Comenzar estudios para determinar los efectos de las anomalías climáticas en la estabilidad de los bosques naturales y plantaciones.
- b) Crear un sistema nacional de monitoreo de plagas forestales por cuadrantes, similar al existente para el Sector Agrícola, con emisión de resúmenes periódicos sobre la existencia y distribución de los agentes detectados y las especies arbóreas afectadas.
- c) Poner mayor interés en conciliar las especies arbóreas y sus procedencias con las áreas de los programas de plantaciones forestales. Evitar la utilización de rodales con una base genética limitada que podrían no tener la capacidad intrínseca para adaptarse a condiciones climáticas cambiantes.
- d) Disminuir la dependencia de una o dos especies en los programas de forestación y de reforestación. En cambio, incluir un número mixto de especies que se adapten bien a los sitios locales y a las condiciones climáticas y que respondan a las necesidades nacionales de productos y servicios forestales cuando sea posible.

- e) Establecer reservas *in situ* y *ex situ* de especies forestales claves, para asegurar la disponibilidad de un banco genético con suficiente diversidad para los programas de mejoramiento de los árboles, cuyo objetivo sea el de desarrollar variedades capaces de adaptarse al cambio climático.

7.2.12. IMPACTOS POR AUMENTO DE LA CONCENTRACIÓN ATMOSFÉRICA DE CO₂

El impacto del incremento de la concentración de CO₂ atmosférico sobre la fotosíntesis de las especies forestales arbóreas se determinó empleando el irga-porómetro LI-6400, que cuenta con un sistema para medir fotosíntesis y transpiración; controla tanto las concentraciones de CO₂, como las intensidades de la radiación fotosintéticamente activa. Este sistema incorpora programas internos que hacen posible obtener curvas de saturación, tanto de la radiación como del anhídrido carbónico, en tiempos no superiores a los 20-30 minutos. Durante el desarrollo de estas curvas funcionan una serie de sistemas de retroalimentación (feedback) que permiten mantener la humedad interna de la cubeta prácticamente constante y también una temperatura foliar con un mínimo de oscilaciones (Cordero, 2010).

Una parte de las especies fue evaluada en Viñales, Pinar del Río y el resto, en Ciénaga de Zapata, Matanzas. Para realizar las mediciones se seleccionaron tres árboles por especie, teniendo en cuenta que su apariencia externa general fuese normal (Escarré, com. personal); una muestra de sus hojas fue puesta en la pinza que está unida a la unidad central del sistema por un cable, la que además de la cámara de mediciones con termopares, sensores de radiación interna-externa y sistemas de calefacción-refrigeración, incorpora los sensores IRGA, que son los responsables de medir las concentraciones de vapor de agua y CO₂. La cámara estándar permite medir un rectángulo de hoja de 2 x 3 cm (Cordero, 2010).

Se efectuaron en cada árbol un total de nueve mediciones, variando la concentración de CO₂ en la cámara donde se encontraba la hoja para inducir un cambio en la concentración de CO₂ en su mesófilo y en la tasa de asimilación de CO₂ de la hoja, proceso durante el cual el irgaporómetro registró los datos. En total fueron evaluadas 14 especies, que aparecen reportadas en 14 de las 16 formaciones forestales del país, aunque ello no respondió a un proceso de selección, sino a las posibilidades que coyunturalmente se presentaron para disponer simultáneamente de ellas y del equipamiento requerido para realizar las mediciones. Con los registros disponibles se caracterizó el comportamiento por árbol, especie y tipo de bosque, en base a la permeabilidad estomática al aumento de la concentración externa de CO₂:

$$[\text{CO}_2]_{\text{Mesófilo}} = f [\text{CO}_2]_{\text{Externa}}$$

Y a la respuesta fotosintética de la planta a la variación de la concentración de CO₂ en el mesófilo:

$$\text{Tasa de asimilación de CO}_2 \text{ en la hoja} = f [\text{CO}_2]_{\text{Mesófilo}}$$

Para cada relación se obtuvo la línea de tendencia y se calculó el coeficiente de determinación (R²) como estimador de ajuste entre ambas variables.

Los resultados obtenidos para las especies de los Bosques húmedos pudieran sugerir la existencia de una capacidad adaptativa inter e intraespecífica para enfrentar el aumento de la concentración atmosférica de CO₂, caracterizada por:

- Una mayoría de especies en las que sus respectivas poblaciones alcanzarían un límite máximo de la tasa de asimilación de CO₂, a partir del cual ese valor se mantendría constante o disminuiría. Para este grupo, la fertilización atmosférica tendría un límite efectivo absoluto, más allá del cual dejaría de tener efecto.
- Un menor grupo de especies en las que, aunque la mayoría de sus poblaciones se comportarían como las especies del grupo anterior, existirían en ellas árboles capaces de continuar aumentando sus tasas de asimilación de CO₂ hasta límites superiores. Para este grupo, la fertilización atmosférica tendría un límite relativo, porque mientras para la mayor parte de la población dejaría de tener efecto una vez alcanzados los límites de saturación, una menor parte continuaría aumentando la tasa de conversión de C atmosférico en compuestos orgánicos.
- Un pequeño grupo de especies cuyas poblaciones no presentarían una saturación de la tasa de asimilación de CO₂ entre los límites valorados de aumento de la concentración de CO₂ externa al mesófilo, las que serían capaces de continuar sintetizando compuestos orgánicos a una tasa creciente. Para este grupo, la efectividad de la fertilización atmosférica continuaría aumentando hasta valores no identificados en estas evaluaciones.

Resultados que se corresponden con los alcanzados en los bosques de montaña, lo que en cierta medida es esperable, dado que los bosques de montaña también presentan elevados niveles de humedad y ambos tienen varias especies comunes, aunque es preciso resaltar que las formaciones forestales propias de las mayores alturas del país, no tuvieron representación alguna en las evaluaciones realizadas.

Los resultados alcanzados pudiesen sugerir una hipótesis de cómo operaría la estrategia adaptativa quizás existente en parte de las especies y árboles que componen los bosques húmedos y de montaña, la que pudiera estar sustentada por un mecanismo fisiológico mediante el cual, aun cuando la concentración externa de CO₂ aumente sostenidamente hasta los 800 moles, la permeabilidad estomática de la especie limita de alguna manera el aumento de la concentración del gas en el mesófilo hasta el 50% de la concentración externa o niveles solo algo superiores a ese valor, de forma tal que esa restricción evite que se produzca una saturación en el sistema molecular involucrado en la fotosíntesis, permitiéndole mantener un aumento sostenido de la tasa de asimilación, explicación que sería necesario corroborar experimentalmente.

De ser ciertas estas hipótesis, coincidirían con lo planteado por el IPCC (2007), al señalar que: *la retención neta de carbono de los ecosistemas terrestres probablemente alcance su valor máximo antes de mediados del siglo y luego, disminuya o se invierta, amplificando el cambio climático*. Esta capacidad adaptativa inter e intraespecífica natural existente en los Bosques húmedos pudiera convertirse en un importante mecanismo de modificación de la composición relativa de las especies que los componen, favoreciendo el aumento de las poblaciones de aquellas especies y árboles capaces de alcanzar mayores niveles de asimilación de CO₂, de producción de compuestos orgánicos y con ello, de crecimiento, con lo que a la par estarían colocándose en mejores condiciones para enfrentar los cambios que experimenten

las poblaciones de plagas bajo la acción del cambio climático y, tal modificación de la composición relativa de las especies de estos bosques pudiera colocar al Sector Forestal nacional ante un nuevo desafío, al tener que enfrentar la satisfacción de la demanda de madera con una creciente cantidad de especies que tradicionalmente no hayan sido utilizadas para esos fines o en el peor de los casos, con especies para las cuales no existen informaciones disponibles sobre sus posibles usos, pero que en definitiva sean las que mejor se adapten al sostenido aumento de CO₂ atmosférico.

La posibilidad de que también en los bosques costeros y secos ocurran procesos similares a los descritos no es descartable, por cuanto allí fueron detectadas especies con iguales comportamientos; sin embargo, la reducida cantidad de especies valorada no aconsejó efectuar con ella un análisis semejante al efectuado con los bosques húmedos y de montaña. Un caso aparte lo presentan los bosques de pinos, porque las dos especies en ellos valoradas alcanzaron máximos de saturación. Estas especies son las existentes naturalmente en el extremo occidental de Cuba, pero otras dos, *P. cubensis* Griseb y *P. maestrensis* Bisse aparecen distribuidas en el extremo oriental del país; si en las dos especies orientales se comprobara la existencia de una respuesta semejante a la verificada en las dos especies occidentales, entonces eso significaría que ante un aumento futuro de la concentración atmosférica de CO₂, todos los pinares del país alcanzarían una tasa de asimilación máxima de C, a partir del cual el proceso de fotosíntesis de compuestos orgánicos mantendría una tasa constante o disminuiría. De ocurrir esto, implicaría que unas 86 mil hectáreas de estos bosques dejarían de remover carbono atmosférico de forma creciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ajete, Arlety; A. Álvarez y Alicia Mercadet (2009): Evaluación de impacto y estrategia de adaptación para la empresa forestal integral Baracoa, provincia Guantánamo, Cuba. Rev. Ra Ximhai. vol. 5. no. 3, septiembre-diciembre, p. 271-280. Universidad Autónoma Indígena de México.
2. Álvarez, A. (2010): Preparación de la versión 3.0 del sistema SUMFOR: Densidad de la madera. En: Inf. Final Subproy. 11.69.03 "La mitigación del cambio climático por los bosques cubanos". Inst. Inv. Forestales, La Habana, 20 pág.
3. Álvarez, A. Inédito. Riesgos que enfrentan las formaciones forestales de mayor altitud (Bosque nublado y Bosque fresco) ante el aumento de la temperatura ambiental. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
4. Álvarez, A. et al., (1991): Variaciones mensuales de los rendimientos en las especies del género Pinus resinadas en Cuba. Boletín Técn. Forestal 2, p. 45-52.
5. Álvarez, A. y Alicia Mercadet. Inédito. Muerte regresiva del bosque: Principales riesgos para Cuba. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 20 p.
6. Álvarez, A., A. Escarré y Alicia Mercadet. Inédito. Impactos del aumento de la concentración atmosférica de CO₂ sobre los bosques naturales cubanos. Primera aproximación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
7. Álvarez, A.; C. Milián y Leyla Álvarez, (1998): Evaluación a fondo de los posibles impactos

- del cambio climático sobre los sectores socioeconómicos y ambientales del país. Sector silvícola. La EFI Guanahacabibes: Un estudio de caso. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 21 p.
8. Álvarez, A. y Doralys Ponce (2003): Impactos del cambio climático sobre el sector forestal cubano: Segunda evaluación. Inf. Final Subproy. 11.25.01 Reanálisis y regionalización de los impactos del cambio climático; Proy. 11.25 El cambio climático y el sector forestal: Segunda aproximación. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 43 p.
 9. Álvarez, A. y Magyuri Ávila. Inédito. Modificación de la distribución anual del rendimiento medio mensual de resina de *Pinus caribaea* M. var. *caribaea* B.&G. (pino macho). Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
 10. Álvarez, Y. y A. Álvarez. Inédito. Evaluación del impacto del aumento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático en el refugio de fauna "Delta del Cauto" y estrategia de adaptación propuesta. Primera aproximación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana, Cuba. 18 p.
 11. Ávila, Magyuri (2010): Comunicación personal.
 12. Bisse, J. (1988): Árboles de Cuba. Editorial Científico-Técnica, La Habana. 384 p.
 13. Caballero, Liliana. Inédito. Informe técnico final sobre la evaluación de los impactos esperables del cambio climático en la EFI Villa Clara y estrategia de adaptación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana, Cuba. 20 p.
 14. Castillo, Eunice; Lourdes Sordo.; L. Díaz.; A. García e I. del Pino. 2002. Manejo de frutos y semillas de *Juglans jamaicensis* subsp. *jamaicensis* C. DC. y su manejo en vivero. En: Contribución a la conservación de la biodiversidad de 18 taxa arbóreas en Cuba, p: 30-32. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
 15. Centella, A.; J. Llanes; L. Paz; C. López y Miriam Limia (2001): Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. República de Cuba. 166 p.
 16. Ciesla, W. M. (1996): Cambio Climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Estudios FAO: Montes. No.126. 146 p.
 17. Cisneros, G.; G. Brull; R. Rosales; D. Espinosa; F. Sánchez; R. Olano y N. Alonso (1999): Plan de manejo. Refugio de fauna "Delta del Cauto". MINAG. Emp. Nac. Conserv. Flora y Fauna. Granma. 112 p.
 18. Cordero, Elsa Ma. (2010): Criterios e indicadores para el manejo sostenible de *Bambusa vulgaris* Schrader ex Wendland con fines de protección. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Ecológicas. Universidad P. Río Hermanos Saíz Montes de Oca, Cuba-Univ. Alicante, España. 150 p.
 19. Cruz, Haylet. (2008): Determinación de la vulnerabilidad al cambio climático de las principales plagas forestales cubanas. Primera aproximación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 10 p.
 20. Cruz, Haylet; Ivianne Vila y A. Álvarez (2008): Informe al Ministerio de la Agricultura sobre bosques, plagas transfronterizas y cambio climático. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 6 p.
 21. DNF (2008): Base de datos del patrimonio forestal cubano al término del 2007. MINAG, La Habana.

22. EFI Villa Clara (2008): Dinámica Forestal. Informe final. EFI V. Clara, Villa Clara, Cuba. 23 p.
23. García, Y.; I. Cuesta; A. García; Y. Martínez; Y. Rodríguez; I. Urrutia y B. Rodríguez (2006): Comportamiento de las plagas después de un incendio forestal en Viñales y Baracoa. XV Congreso Científico del INCA. Noviembre.
24. Hechavarría, Orlidia (2009): Contribución de la fenología a la conservación de tres especies forestales en Tope de Collantes. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Forestales. Fac. de Forestal y Agronomía; Dpto. Forestal; Univ. P. Río Hermanos Saíz Montes de Oca. 117 p.
25. Hernández, M.; S. L. Lorenzo; Y. I. Rodríguez; J. L. Juanes y Liliam Arriaza (2010): Caso Estudio Sur de La Habana (Sector Majana – Mayabeque). Informe del Sector de Evaluación Zonas Costeras. Inst. de Oceanología. C. Habana, Cuba. 15 p.
26. INRH (2007): Boletín Hidrológico enero-diciembre. Dirección de Cuencas Hidrográficas.
27. INRH (2008): Boletines Hidrológicos. <http://www.hidro.cu/boletines08.htm>.
28. INSMET (2007): Base de datos meteorológicos. Estación de Tapaste.
29. INSMET (2008): Base de datos del clima. Período 1981-2000.
30. INSMET (2008): Suministrador de Climas Regionales para los Estudios de Impacto. <http://precis.insmet.cu/Precis-Caribe.htm>.
31. INSMET (2010): Base de datos del sistema PRECIS para Cuba.
32. IPCC (2001): Special Report on Emissions Scenarios. IPCC WGIII. 35 p.
33. IPCC (2001a): Climatic Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers. 18 p.
34. IPCC (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Parry M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1000pp.
35. Kristiansen, G. (1993): Biological effects of climate change: An introduction to the field and survey of current research. Global Change and Terrestrial Ecosystems. International Geosphere-Biosphere Program.
36. Limia, Miriam; R. Vega y R. Pérez (2007): Variación espacio-temporal de la probabilidad de la afectación de huracanes a Cuba. Valoración del peligro. IV Congreso Cubano de Meteorología. Capitolio Nacional, C. Habana, 4-8 diciembre.
37. Lincoln, D. E. (1993): Herbivore responses to plants grown in enriched CO₂ atmosphere. En: Global Change research in FY 1993: US Dept. Energy DOE/ER-059T, pag. 112.
38. Menéndez, Leda; A. V. González; J. M. Guzmán; L. Rodríguez; R. P. Capote *et al.*, (2000): Bases ecológicas para la restauración de manglares en áreas seleccionadas del Archipiélago Cubano y su relación con los cambios globales. Informe al PNCT Cambios Globales y Medio Ambiente, ACYT, CITMA. 153 p.
39. Mercadet, Alicia *et al.*, (2000): Base de datos sobre crecimiento de especies forestales arbóreas existentes en Cuba. Inst. Invest. Forestales, La Habana.
40. MINAG (1982): Proyecto de ordenación. Empresa Forestal Mayabeque. La Habana.
41. MINAG (2000): Documento de proyecto. Apoyo a la conservación integral de los recursos naturales de la Ciénaga de Zapata. GCP/CUB/011/NET. La Habana. 13 pág.
42. MINAG (2002): Proyecto de ordenación forestal de la EFI Baracoa. Serv. Estatal Forestal.
43. Ortiz, Osiris; A. Álvarez; Alicia Mercadet; A. Escarré; Lourdes Gómez y G. Fagundo (2008): Evaluación de impactos y estrategia de adaptación para la Empresa Forestal Integral Victoria de Girón, provincia Matanzas. Inf. de Resultado. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 11 p.

44. Salas, L. (2008): Impacto de la surgencia en el archipiélago cubano, considerado los cambios climáticos. EN: Memorias del Taller Cambios Globales y Medio Ambiente: Tendencias mundiales, resultados y proyecciones de trabajo. La Habana.
45. Sauerbeck, D. R. (1992): Potential impacts of climate on agricultural production. Institute of Plant Production and Soil Science: German Federal Research Center of Agricultural Bundsallee, Braunschweig, Alemania, 15 p.
46. Vila, Ivaine (2008): Vulnerabilidad de los bosques naturales a las plagas forestales bajo la influencia del cambio climático. Primera aproximación. Subproyecto 11.69.02 Vulnerabilidad de los bosques naturales cubanos al cambio climático y estrategias de adaptación; Proyecto 11.69 Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático: Subsector Forestal. Inst. Invest. Forestales, La Habana. 10 p.
47. Wilson, S.; D. Hassell; D. Hein; R. Jones and Ruth Taylor (2008): Installing and using the Hadley Centre regional climate modelling system, PRECIS. Version 1.6.1. United Kingdom. 158 p.



Asociación de cultivos
Foto: Roberto Caballero

8.1. ESTADO DEL CONOCIMIENTO

La primera aproximación a la valoración de los posibles impactos del cambio climático sobre el sector agrícola (cañero y no cañero) fue realizada en el marco de la Primera Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Centella, Llanes y Paz, 2001), a partir de las proyecciones climáticas obtenidas empleando el modelo HADCM2 para diferentes niveles de sensibilidad climática, mientras que los elementos considerados para evaluar los impactos del cambio climático en la agricultura fueron los rendimientos agrícolas; la producción total de los cultivos; la biomasa aérea de los pastos y las plagas. En ella participaron el Instituto de Meteorología (INSMET), el Instituto de Investigaciones Hortícolas *Liliana Dimitrova* (IIHLD) y el Instituto de Investigaciones en Sanidad Vegetal (INISAV).

Un análisis de los resultados alcanzados indicó que:

- La evaluación de los rendimientos agrícolas considerando un conjunto de cultivos dependió notablemente de la ocurrencia o no del efecto de fertilización por CO₂ y de la sensibilidad climática considerada. De no producirse el efecto de fertilización, los rendimientos agrícolas potenciales y de regadío de todos los cultivos disminuirían progresivamente en magnitudes que oscilarían entre 10-15% de los valores actuales; para la caña de azúcar las reducciones serían menores (5-10%), mientras que en la papa la disminución sería notable (40-45%). Si el efecto de fertilización se producía, los impactos se modificarían drásticamente, llegando a existir la posibilidad que cultivos C3 de clima cálido y ciclo corto (frijol, soya y arroz) elevarán sus rendimientos, a pesar de que en la papa estos seguirían disminuyendo. Estos resultados, sin embargo, dependerían de cuán sensible fuese el clima a los cambios del balance energético, pues para una sensibilidad alta, la compensación del efecto de fertilización sería menor y a la complejidad de este aspecto se adicionan otros elementos relacionados con las respuestas de las plantas en función de la época de siembra, del tipo de ciclo fotosintético, del clima al que estén adaptadas y de si el hábito de vida de las mismas es determinado o indeterminado. Reducciones aun más notables se obtuvieron para los cultivos de secano, extendiéndose incluso a la caña de azúcar en ambas épocas de siembra.
- En cuanto a la producción total de estos cultivos, los resultados obtenidos considerando el modelo HADCM2 para el escenario de emisiones IS92a y una sensibilidad climática media, indicaron que la producción total y per cápita de un cultivo de regadío, tendrán una reducción más drástica que la mostrada por los rendimientos agrícolas.
- Para los pastos, los resultados mostraron que un aumento de 2,5 °C en la temperatura, acompañado de una reducción de las precipitaciones de un 15%, produciría una reducción general de la biomasa aérea de los pastizales entre 5 y 15% con relación al período 1961-1990, aun en presencia del efecto por fertilización del CO₂. Además, se pudo concluir que el aumento de la carga unitaria de explotación de

los pastizales desde 1 a 10 reses/ha, conduciría a un rápido proceso de pérdida de la materia orgánica del suelo y de la diversidad biológica, con un incremento de los pastos tropicales de ciclo fotosintético C4.

- En el caso de las plagas y enfermedades, las condiciones climáticas proyectadas traerían como consecuencia la modificación sustancial del comportamiento de importantes plagas y enfermedades de los cultivos. Enfermedades como el tizón tardío de la papa y el moho azul del tabaco, que han sido muy dañinas en la región occidental del país, disminuirían su importancia, aunque podrían ser sustituidas por otras mejor adaptadas, como el tizón temprano de la papa. Las afectaciones de *Thrips tabacci* en el ajo podrían incrementar, ocurriendo lo mismo con otras plagas que resultan prácticamente incontrolables en períodos de intensa sequía.

Aun cuando algunos de los resultados obtenidos en el sector agrícola podían haber tenido una especial connotación para el sector pecuario, en especial en lo referido a la alimentación del rebaño vacuno, en la Primera Comunicación este sector no fue objeto de valoración alguna sobre la posible incidencia en él de impactos relacionados con el cambio climático, mientras que el sector forestal, también analizado en aquel momento, es ahora objeto de una evaluación que se presenta de manera independiente a la de las actividades agropecuarias.

Concluidas las acciones que dieron lugar a la Primera Comunicación, los pocos centros científicos agrícolas del MINAG vinculados a ella cesaron sus actividades en relación con el tema del cambio climático, siendo continuadas solo por el Departamento de Agrometeorología del INSMET.

A fines del 2008 se iniciaron las acciones encaminadas a la preparación de la Segunda Comunicación Nacional y durante el 2009, la Dirección de Ciencia y Técnica del MINAG acometió la creación de la Red Agraria de Cambio Climático (RACC), con la misión de coordinar y facilitar la investigación, capacitación, mitigación y adaptación al cambio climático en el sector agrario. Como primera actividad a desarrollar, inició la implementación de un programa de creación de capacidades sobre cambio climático en todos los centros científicos que tributarán resultados al Ministerio de la Agricultura, a la par que acometió la identificación de las producciones agrarias que serían consideradas prioritarias a la luz de este tema y entre ellas, seleccionó las de papa, arroz, tabaco y carne de cerdo para participar, de manera directa, en la Segunda Comunicación.

Este breve recuento histórico de lo ocurrido en los sectores agrícola y pecuario en relación con el cambio climático durante los últimos 15 años, constituye un antecedente imprescindible para comprender las causas principales que han determinado el alcance obtenido en las evaluaciones sobre impactos, adaptación y vulnerabilidades en estos sectores.

8.2. SECTOR AGROPECUARIO AL TÉRMINO DEL 2007

8.2.1. USO DE LA TIERRA

Según la ONE (2008), de una superficie de tierra firme (exceptuando los cayos) de 10 676,0 Mha, Cuba dedicaba a las actividades agropecuarias 6 619,5 Mha (60,2% de la superficie total), desglosadas y nacionalmente como se muestra en la tabla 8.1 y figura 8.1. El índice nacional de ociosidad de la tierra (área ociosa vs. área agropecuaria)

era de 18,6%, variando entre un mínimo de 3,7% en La Habana y un máximo de 34,9% en Camagüey, con la distribución nacional presentada en la figura 8.2.

Tabla 8.1. Uso de la tierra

USO	SUPERFICIE (Mha)
Cultivos permanentes	1 796,6
Cultivos temporales	1 187,2
Viveros y semilleros	4,7
Total cultivos	2 988,5
Pastos y forrajes	2 398,2
Ociosa	1 232,8

SUPERFICIE AGRÍCOLA TOTAL (MILES DE HECTÁREAS)

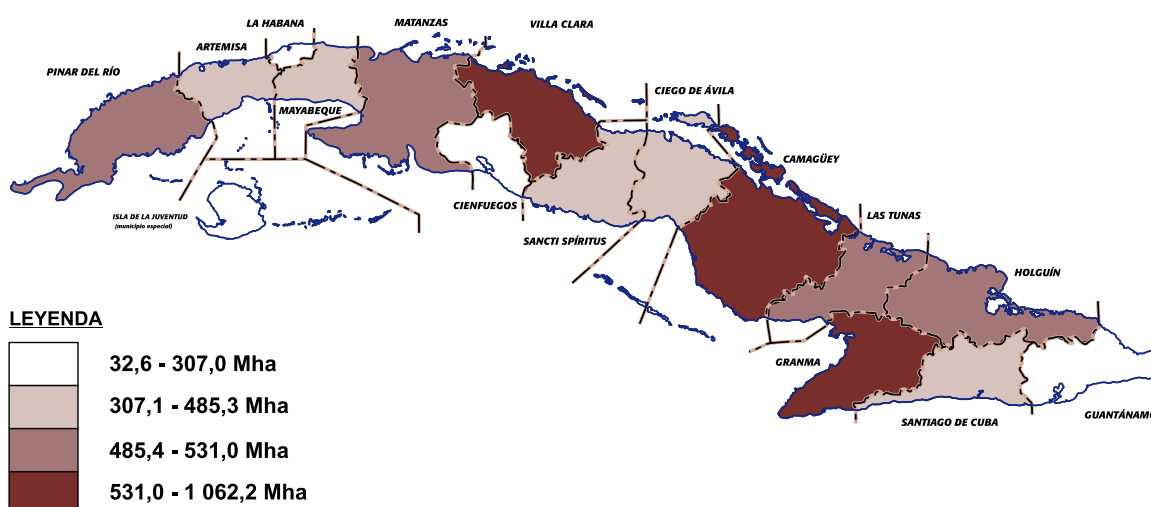


Figura 8.1. Distribución nacional de la superficie agrícola

ÍNDICE DE OCIOSIDAD (%)

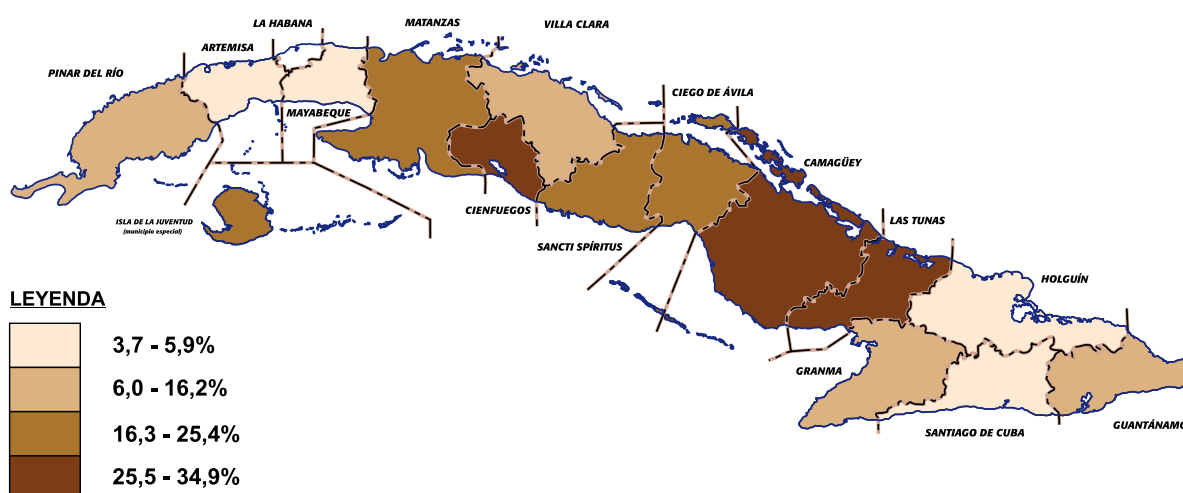


Figura 8.2. Distribución nacional del índice de ociosidad de la tierra

La superficie agrícola y cultivada por habitante al término del 2007, eran a nivel nacional de 0,59 ha/hab y 0,27 ha/hab, respectivamente; valores que variaban para la superficie agrícola entre 0,02 ha/hab (C. de La Habana) y 1,35 ha/hab (Camagüey), mientras que para la superficie cultivada variaban entre 0,01 ha/hab. (C. de La Habana) y 0,57 ha/hab. (C. Ávila), con la distribución territorial que se presenta en las figuras 8.3 y 8.4.

SUPERFICIE AGRÍCOLA POR HABITANTES (ha/hab)

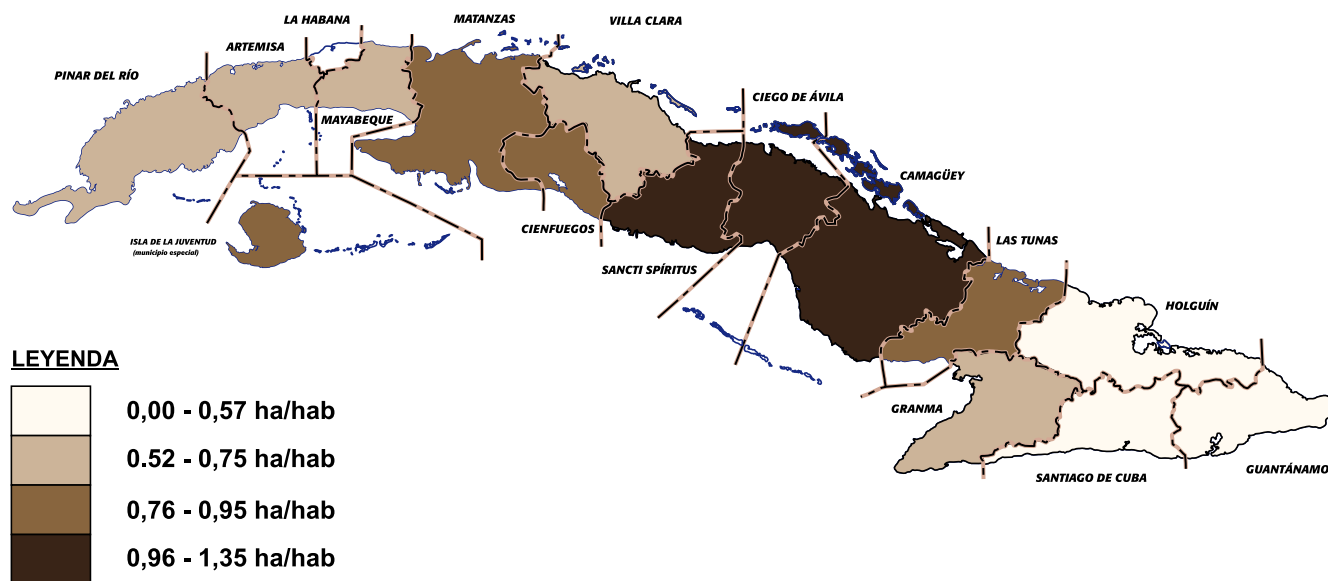


Figura 8.3. Distribución nacional de la superficie agrícola por habitante

SUPERFICIE AGRÍCOLA TOTAL (MILES DE HECTÁREAS)

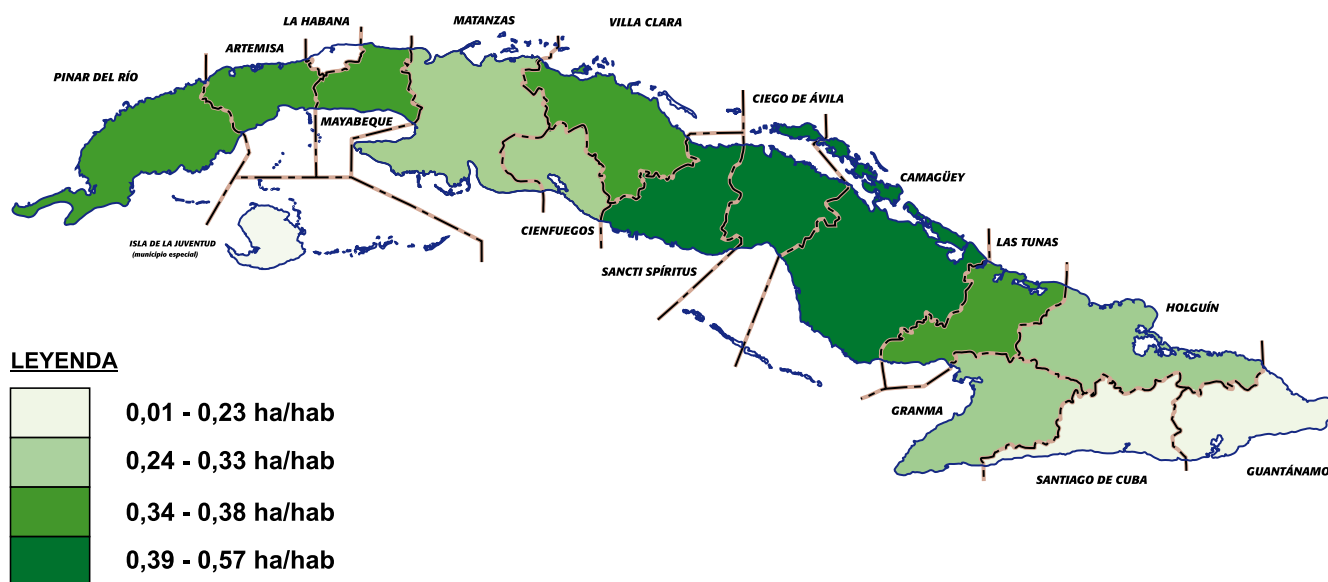


Figura 8.4. Distribución nacional de la superficie cultivada por habitante.

Entre los cultivos permanentes que ocupaban la superficie agrícola, la mayor extensión correspondía a la caña de azúcar (más de un millón de hectáreas), en tanto que el henequén era el que menor superficie ocupaba (algo más de cuatro mil hectáreas) (figura 8.5), mientras que entre los cultivos temporales los cultivos varios (hortalizas, tubérculos y raíces) eran los de mayor superficie (algo más de 800,0 Mha) y la producción tabacalera, la de menor (ligeramente superior a las 61,0 Mha) (figura 8.6).

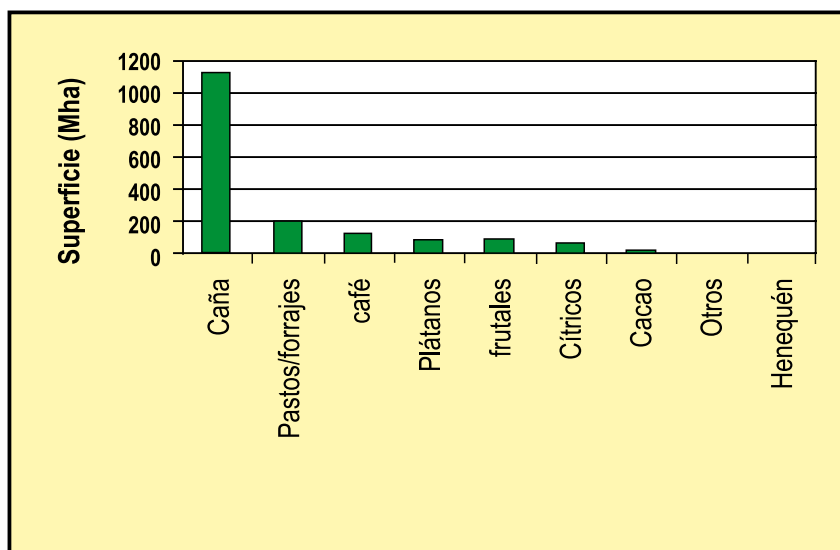
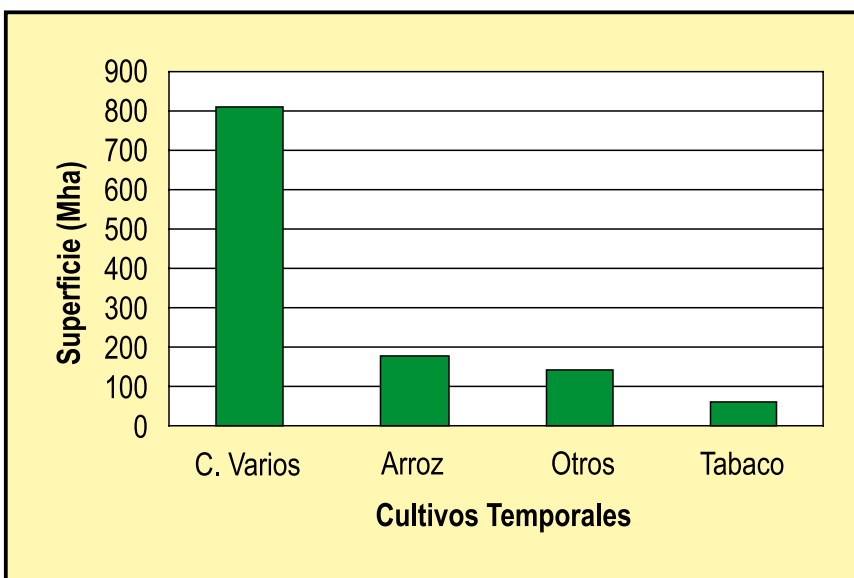


Figura 8.5. Superficie agrícola ocupada por los cultivos permanentes

Figura 8.6. Superficie agrícola ocupada por los cultivos temporales



8.2.2. LA SITUACIÓN DE LOS SUELOS

Basado en informes del Instituto del Suelo (2011); se conoce que el estudio de los suelos destinados a la agricultura y su levantamiento cartográfico más reciente fueron realizados en 1990 por el propio Instituto, a una escala 1: 25 000. Como resultado del mismo se describieron para el país un total de 10 agrupamientos de suelos. En las áreas afectadas por procesos degradantes de los suelos, los cultivos limitan su rendimiento y producción, siendo los principales factores que afectan los suelos los presentados en la tabla 8.2.

Tabla 8.2. Principales factores que afectan los suelos

FACTORES	SUPERFICIE (MMha)
Muy bajo contenido de M.O.	4,66
Acidez (pH KCl < 6.0)	3,40
Baja Fertilidad	3,00
Erosión (fuerte a media)	2,90
Mal drenaje	2,70
- Mal drenaje interno	1,80
Baja Retención de Humedad	2,50
Compactación elevada	1,60
Desertificación:	1,52
- Zonas subhúmedas	0,81
- Zonas secas	0,71
Salinidad y Sodicidad	1,00
Pedregosidad y Rocosidad	0,80
- De ellas muy rocosas y/o pedregosas	0,45

Fertilidad: la disminución de la fertilidad es otro de los factores degradantes del suelo.

El concepto de fertilidad, tan asociado a la productividad de los suelos, en su acepción más estrecha, se refiere al contenido de nutrientes, materia orgánica y valores del equilibrio ácido-básico, que en proporciones adecuadas determinan la calidad de los suelos y en lo cual desempeña un papel importante el tipo de suelo, la intensidad de la fertilización y el manejo.

Ya en 1980, al concluir el primer quinquenio de trabajo se contaba con el estudio agroquímico realizado en 1 938 412,70 ha en los cultivos arroz, caña de azúcar, cítricos, tabaco, pastos, cultivos varios, café y piña. El balance de la fertilidad de los suelos en ese momento reflejaba que desafortunadamente la fertilización en la etapa pre-revolucionaria había sido muy deficiente, pues prácticamente toda el área presentaba contenidos bajos en fósforo y más del 50% bajo en potasio. Sin embargo, con la fertilización realizada en la década del 80, el 53% de las áreas habían incrementado sus niveles de fósforo pasando a categorías de mayor contenido e igualmente ocurrió con el 28% de las áreas en el caso del potasio (tabla 8.3).

Tabla 8.3. Situación del contenido de nutrientes en los suelos cultivados

CONTENIDO	PROPORCIÓN DE LAS ÁREAS (%)			
	1980		1990	
	FÓSFORO	POTASIO	FÓSFORO	POTASIO
Bajo	96	53	43	25
Medio	3	32	25	21
Alto	1	15	32	54

A partir de 1991 se produjeron afectaciones en todas las actividades, y la esfera de los fertilizantes y el servicio podólogo agroquímico no fueron la excepción. Las importaciones de fertilizantes se redujeron a un 20-25% de lo que se recibía anualmente, lo que trajo como consecuencia que se dejaran de fertilizar las áreas de pastos, que desde 1991 no han recibido más fertilizantes; las de café, que no disponen de fertilizantes a partir 1992; se redujo notablemente la fertilización de los cultivos varios, protegiéndose puntualmente de este déficit a la papa; mientras que se mantuvo la fertilización en tabaco, que ha sostenido la protección de sus áreas; en cítricos, que fertiliza de acuerdo a las posibilidades de financiamiento y, en arroz especializado, fertilizando el área de siembra con dificultades y déficit del producto en muchos casos, lo que ha significado que disminuyera hasta casi un 25% la siembra con respecto a los años antes de 1990.

Erosión: más del 40% de los suelos cubanos presentan actualmente afectaciones por erosión y si se refiere a la erosión potencial, ese porcentaje se eleva hasta el 56 %, lo cual es alarmante, si se considera que el primer signo de la reacción en cadena desatada por la erosión es la disminución del rendimiento agrícola. En algunas regiones del país se manifiestan con fuerza los procesos de erosión, como en las áreas dedicadas al cultivo del tabaco en Pinar del Río, generalmente sobre suelos Ferralítico Cuarcítico Amarillo Lixiviado, y en los Pardo de las regiones central y oriental, dedicadas a tabaco, café y cultivos varios, donde las abundantes precipitaciones, las variaciones climáticas y la susceptibilidad de estos suelos a la erosión, unido a los problemas de manejo, hacen que estas zonas sean consideradas como áreas críticas.

Salinización: los suelos salinos pueden tener un origen natural (salinización primaria) o inducidos por el hombre (salinización secundaria), la que está íntimamente relacionada con un mal manejo del riego y del régimen hídrico del suelo. Según estudios del Instituto de Suelos, los cultivos más afectados por esta problemática son los pastos, la caña de azúcar y el arroz; aunque también afecta a otros cultivos. Se ha determinado que en Cuba la salinización afecta aproximadamente el 14% del área agrícola del país, como consecuencia del riego con agua de mala calidad, la elevación del manto freático, problemas constructivos en presas y canales, daños a la red de drenaje, despoblación forestal de costas y ríos, así como una mala agrotecnia.

Agroproductividad: la clasificación agroproductiva es la unificación y organización de los conocimientos sobre el potencial productivo de los suelos, en un sistema específico para cada cultivo en el que son conocidas las relaciones entre las unidades clasificadas y la influencia de sus propiedades sobre los rendimientos, para predecir su comportamiento, estimar la productividad y establecer relaciones útiles con fines de aplicación, a partir de una fuente científica razonable y un nivel de agrotecnia determinado.

El estudio agroproductivo más reciente de evaluación de las tierras del país, hecho para 29 cultivos por un método inductivo cuantitativo, fue realizado en 1989, tomando como base el mapa de suelos escala 1:25 000 y un 20% del área cultivable. En él, los cultivos pastos y café están valorados en secano; la caña de azúcar en riego o secano, en dependencia de las posibilidades de la provincia, y los pastos cultivados y naturales ascendieron a 1 716 672,9 ha.

Las categorías agroproductivas se definen por la potencialidad de los suelos para producir cosechas con rendimientos:

- Mayores del 70% del mínimo potencial: Categoría I.
- Entre el 50% y el 70% del mínimo potencial: Categoría II.
- Entre el 30% y el 50% del mínimo potencial: Categoría III.
- Menores del 30% del mínimo potencial: Categoría IV.

Los resultados de los estudios realizados en el ámbito nacional, respecto a todos los cultivos de importancia económica, muestran (tabla 8.4) que el 35,1% del área estudiada clasifica como productiva a muy productiva, lo que indica que pueden obtenerse rendimientos superiores al 50% del potencial en una amplia gama de cultivos; el 64,9% del área la constituyen suelos de poca a muy poca productividad, afectados por factores edáficos limitantes, que impiden alcanzar los rendimientos potenciales; por lo que en los mismos es necesaria una mayor utilización de medidas de acondicionamiento y mejoramiento de suelos para aumentar su productividad.

Tabla 8.4. Composición agroproductiva de los suelos cultivables (MMha)

PROVINCIAS	CATEGORÍAS AGROPRODUCTIVAS			
	I	II	III	IV
Pinar del Río	0,05	0,12	0,14	0,26
La Habana	0,18	0,08	0,08	0,15
Matanzas	0,22	0,11	0,12	0,32
Villa Clara	0,11	0,12	0,15	0,41
Cienfuegos	0,09	0,08	0,07	0,16
Sancti Spíritus	0,10	0,10	0,09	0,20
Ciego de Ávila	0,20	0,06	0,08	0,15
Camagüey	0,29	0,26	0,36	0,52
Las Tunas	0,12	0,12	0,13	0,29
Holguín	0,09	0,08	0,14	0,40
Granma	0,08	0,08	0,13	0,35
Santiago de Cuba	0,09	0,15	0,11	0,39
Guantánamo	0,05	0,04	0,03	0,48
Isla de la Juventud	0,02	0,03	0,02	0,05
NACIONAL	1,69	1,43	1,65	4,13
%	19,0	16,1	18,5	46,4
	35,1		64,9	

A nivel provincial, Guantánamo, con 85,00%, es el territorio que presenta mayor proporción relativa de suelos en las categorías más bajas, seguido por Holguín (76,06%), Granma (75,00%), Villa Clara (70,89%) y Pinar del Río (70,18%), todos con más del 70%, mientras que La Habana (46,94%) y Ciego de Ávila (46,94%) son los que menores proporciones alcanzan, pero siempre superiores al 45% (figura 8.7).

De lo anterior se concluye que más de un millón de hectáreas forman parte de ecosistemas frágiles, en los que el desarrollo agrícola demanda un alto grado de eficiencia y cuidado para no romper el equilibrio existente, como son por ejemplo las áreas montañosas con alto riesgo de erosión, y las áreas costeras o de llanuras acumulativas adyacentes, con riesgo de salinización.

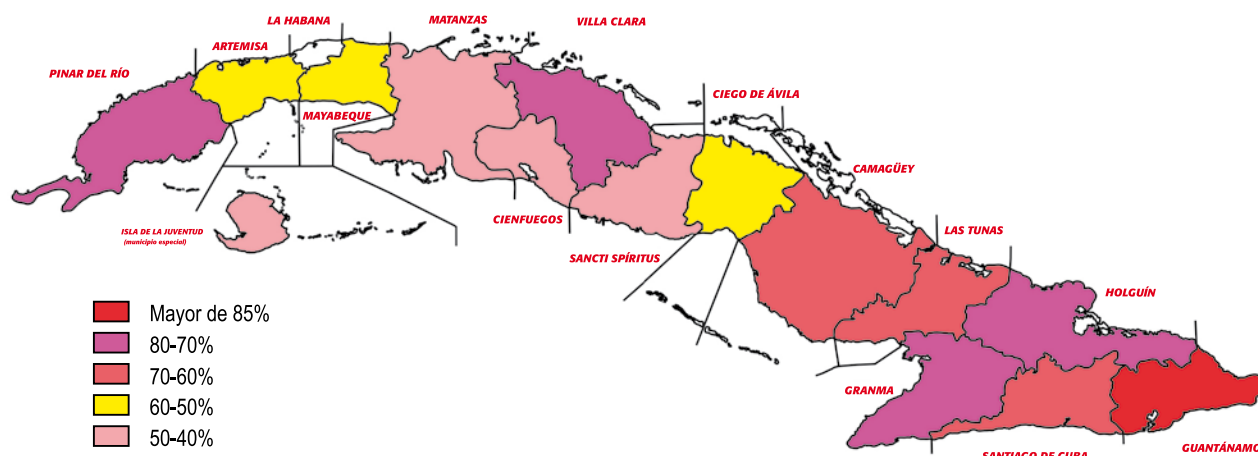


Figura 8.7. Distribución nacional de los grupos (III + IV) de agroproductividad

8.2.3. EL AGUA

8.2.3.1. SITUACIÓN DEL AGUA

Históricamente, el clima de Cuba determina que su agricultura sea de regadío, porque durante la mitad del año, desde noviembre hasta abril, las condiciones climáticas son favorables para el desarrollo de los cultivos, con excepción de la lluvia, que en ese período registra sus valores medios históricos más bajos. Tan importante es el riego para la seguridad alimentaria de los cubanos, que su empleo puede incrementar los rendimientos hasta en un 80%.

El Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos destina el contenido de 163 embalses, con un volumen normal de 7 052,76 hm³, al suministro de agua a las actividades del Ministerio de la Agricultura, según la distribución nacional presentada en la tabla 8.5 (Grupo Empresarial de Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, 2010).

Para garantizar el riego agrícola a unas 2 000 ha de cultivos no cañeros, al término del 2007 se disponía de una asignación algo superior a los 1 500 hm³ de agua, empleándose en el país un total de 796 máquinas de pivote central, de las que el 59% se encuentran electrificadas, lo que permite un ahorro del 10% del agua aplicada por la supresión de la acción del cilindro para su locomoción, ahorrándose además combustible. Adicionalmente, anualmente se mejora la explotación del uso de unas 100 máquinas electrificadas, según solicitud de las entidades que las utilizan, mediante el empleo del sistema automatizado PIVOT, que permite calcular los parámetros que definen la uniformidad del riego y la eficiencia de distribución del agua, teniendo en cuenta la cuantificación exacta de la cantidad de agua a aplicar al cultivo.

Del total de máquinas de riego, el 80% se encuentra trabajando con la reposición de boquillas difusoras de baja presión acopladas a bajantes que están a un metro de distancia sobre el cultivo, con lo que se ha incrementado la eficiencia de aplicación del agua de riego hasta un 85% y se ha logrado un ahorro del 15 % del agua, con relación al uso de las máquinas con aspersores sobre la tubería, ubicados a 2,2 m de altura sobre el cultivo.

Tabla 8.5. Distribución nacional y volúmenes normales de los embalses que tributan agua al MINAG

PROVINCIAS	SUMINISTRO MINAG	
	CANTIDAD EMBALSES	VOLUMEN NORMAL (hm ³)
Pinar del Río	27	881,62
La Habana	7	285,17
Matanzas	5	85,00
Villa Clara	8	640,56
Cienfuegos	6	326,80
Sancti Spiritus	9	1 273,18
Ciego de Ávila	5	188,97
Camagüey	39	801,97
Las Tunas	16	269,87
Holguín	12	314,06
Granma	11	940,62
Santiago de Cuba	5	584,14
Guantánamo	4	312,30
Isla de la Juventud	9	148,50
NACIONAL	163	7 052,76

La producción arrocerá cuenta con 59 fuentes de abasto con una capacidad de 3 176 hm³, a las que se añaden 20,0 Mkm de canales para la conducción del agua, cuyas condiciones técnicas no permiten alcanzar una eficiencia superior al 50-55%, instalaciones que al término del 2007 abastecían 125,0 Mha de arroz en el país (Instituto de Investigaciones de Granos, 2011).

En la actividad pecuaria la demanda de agua está fundamentalmente determinada por la cantidad total de cabezas del rebaño (ganado mayor: vacuno, bubalino y equino; ganado menor: porcino, ovino y caprino), el que al término del 2007 estaba compuesto por 4,3 millones de cabezas de ganado mayor (MINAG, 2011) y 5,6 millones de cabezas de ganado menor (Oficina Nacional de Estadísticas, 2008), para un total general de 9,9 millones de animales.

El comportamiento de esta demanda presenta en ocasiones situaciones excepcionales originadas por el establecimiento de prolongados períodos de sequía que, al reducir la disponibilidad normal de agua, obliga a la implementación de sistemas alternativos de suministro, como ocurrió en el año 2005, cuando más de 195 mil cabezas tuvieron que ser abastecidas mediante el empleo de camiones cisterna (Instituto de Investigaciones en Riego y Drenaje, 2005).

8.2.4. LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

8.2.4.1. LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA NO CAÑERA

La superficie del país dedicada a los cultivos permanentes varió entre 266,0 y 303,8 Mha en los años comprendidos del 2002 al 2007, correspondiendo al plátano la mayor cantidad de área en todos los años, en tanto que el henequén presentaba las menores superficies (tabla 8.6).

Tabla 8.6. Superficie sembrada de cultivos permanentes seleccionados de la agricultura no cañera en diciembre 31 de 2007 (Mha). Excluye los productores no especializados y los patios y parcelas de los hogares

CULTIVO	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Plátano	125,0	144,4	143,0	137,1	143,5	145,0
- Fruta	32,9	37,9	38,6	34,1	36,2	34,3
- Vianda	92,1	106,5	104,4	102,9	107,2	110,7
Cítricos	65,2	65,2	66,1	60,8	60,5	56,3
- Naranja dulce	39,7	39,2	40,4	35,8	35,4	33,4
- Toronja	20,0	20,9	20,8	21,0	20,5	19,1
- Limón	2,9	2,7	2,3	1,8	2,0	1,7
Otras frutas	63,8	78,2	83,2	83,8	86,1	93,9
- Mango	21,9	25,4	26,9	25,8	27,3	30,2
- Guayaba	7,1	11,2	11,7	11,8	13,1	14,7
- Fruta bomba	4,4	6,4	6,6	8,0	6,4	6,7
Cacao	8,4	8,4	7,2	6,5	6,7	6,9
Henequén	3,6	2,7	1,9	1,5	1,4	1,7
TOTAL	266,0	298,9	301,4	289,7	298,2	303,8

Durante igual período de tiempo la superficie cosechada y en producción de los 19 más importantes cultivos manejados en el país varió entre 1,02 y 1,26 MMha, correspondiendo a las viandas, cereales y hortalizas las mayores superficies (siempre más de 230,0 Mha para cada una), mientras que el cacao ocupaba los menores territorios, con una sostenida tendencia a la disminución (desde 6,6 hasta 2,8 Mha) (tabla 8.7).

La producción agrícola obtenida a partir de 18 de los 19 cultivos anteriores (excepcionalmente el tabaco) durante el período 2002-2007 varió entre 6,8 y 9,9 MMT de alimentos, donde las hortalizas ocuparon el primer lugar (entre 2,6 y 4,1 MMT), seguidas por las viandas (entre 2,2 y 3,2 MMT), mientras que el cacao alcanzaba los menores valores (entre 1,3 y 2,1 MMT) (tabla 8.8).

El estimado de rendimiento anual y promedio para los 19 cultivos seleccionados se expone en la tabla 8.9; destacándose la papa entre los mayores alcanzados (23,49 T/ha), la fruta bomba (17,98 t/ha) y la cebolla (13,55 t/ha), mientras que entre los más bajos están los del cacao (0,38 t/ha), los frijoles (1,11 t/ha) y el tabaco (1,14 t/ha).

Tabla 8.7. Superficie cosechada y en producción de cultivos seleccionados de la agricultura no cañera (ha). Incluye tubérculos, raíces y plátanos

CULTIVO	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Víandas *	308 125	328 881	364 121	347 039	283 093	306 407
Tubérculos y raíces	199 669	205 650	241 100	251 648	182 971	203 935
- Papa	12 795	12 707	12 451	12 316	11 615	9 769
- Boniato	64 254	70 950	72 972	74 255	47 123	64 385
- Malanga	16 711	17 212	22 587	22 565	17 482	21 335
Plátano	108 456	123 231	123 021	95 391	100 122	102 472
- Fruta	27 136	29 583	33 996	18 610	25 780	28 375
- Vianda	81 320	93 648	89 025	76 781	74 342	74 097
Hortalizas	232 532	265 403	312 549	311 732	231 716	230 763
- Tomate	40 382	47 415	58 100	63 047	53 044	57 082
- Cebolla	7 409	7 924	9 552	8 722	7 892	8 877
- Pimiento	10 078	11 333	8 586	7 121	6 851	5 850
Cereales	320 185	336 847	303 035	282 777	264 989	277 402
- Arroz cáscara húmedo	197 945	204 600	157 826	127 197	142 829	136 099
- Maíz	122 240	132 247	145 209	155 580	122 160	141 303
Leguminosas	100 227	106 779	112 201	94 821	76 740	83 793
- Frijoles	100 227	106 779	112 201	94 821	76 740	83 793
Tabaco	33 942	22 156	27 646	20 313	27 033	22 858
Cítricos	71 337	69 052	58 161	56 248	55 423	48 854
- Naranja dulce	43 418	43 097	34 879	30 711	36 032	32 595
- Taronja	22 710	19 610	17 103	20 808	16 272	13 875
- Limón	2 842	3 560	4 109	2 866	1 322	1 041
Otras frutas	86 827	92 566	76 566	81 009	76 880	99 975
- Mango	36 137	40 504	24 452	22 800	25 080	29 819
- Guayaba	5 871	6 259	7 345	7 385	9 878	10 862
- Fruta bomba	5 429	6 688	6 088	5 901	4 480	6 016
Cacao	6 595	6 600	5 784	4 054	3 999	2 758
TOTAL	1 159 770	1 228 284	1 260 063	1 197 993	1 019 873	1 072 810

* Incluye tubérculos, raíces y plátanos

Tabla 8.8. Producción agrícola por cultivos seleccionados de la agricultura no cañera (t)

CULTIVO	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Víandas *	2 166 929	2 956 200	3 162 000	2 575 300	2 202 000	2 369 500
Tubérculos y raíces	1 437 029	1 843 600	1 946 400	1 801 800	1 330 200	1 378 600
- Papa	329 713	304 600	328 700	313 100	286 200	143 700
- Boniato	392 400	503 400	486 100	449 987	303 000	414 000
- Malanga	122 516	205 900	244 000	225 873	175 000	207 800
Plátano	729 900	1 112 600	1 215 600	773 500	871 800	990 900
- Fruta	206 900	315 400	454 200	289 013	339 517	385 900
- Vianda	523 000	797 200	761 400	484 487	532 283	605 000
Hortalizas	3 344 710	3 931 200	4 095 900	3 203 500	2 672 100	2 603 000
- Tomate	496 000	643 700	788 700	802 600	636 000	627 900
- Cebolla	91 882	101 700	145 100	129 428	111 990	105 100
- Pimiento	61 427	68 000	91 722	81 815	62 141	55 807
Cereales	1 001 000	1 075 800	887 600	730 100	739 600	808 400
- Arroz cáscara húmedo	692 000	715 800	488 900	367 600	434 200	439 600
- Maíz	309 000	360 000	398 700	362 500	305 400	368 800
Leguminosas	107 300	127 000	132 900	106 200	70 600	97 200
- Frijoles	107 300	127 000	132 900	106 200	70 600	97 200
Tabaco	34 494	25 600	31 700	26 000	29 700	25 600
Cítricos	477 701	792 700	801 700	554 600	373 000	469 000
- Naranja dulce	296 612	492 200	495 000	389 469	178 357	302 800
- Toronja	137 312	227 800	225 000	134 090	169 556	140 000
- Limón	16 062	26 700	22 000	8 028	6 134	6 000
Otras frutas	720 301	807 170	908 000	819 000	746 500	783 800
- Mango	207 770	232 900	243 163	254 147	206 662	198 000
- Guayaba	57 568	64 511	91 538	116 188	101 547	113 500
- Fruta bomba	107 240	120 100	119 000	91 797	90 309	89 700
Cacao	1 301	1 500	1 846	2 067	2 120	1 379
Producción total de alimentos de origen vegetal (b)	7 819 242	9 691 570	9 989 946	7 990 767	6 805 920	7 132 279

* Incluye tubérculos, raíces y plátanos

Tabla 8.9. Rendimientos medios nacionales por cultivos seleccionados de la agricultura no cañera (t/ha)

CULTIVO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	PROMEDIO
Viandas *	7,03	8,99	8,68	7,42	7,78	7,73	7,94
Tubérculos y raíces	7,20	8,96	8,07	7,16	7,27	6,76	7,57
- Papa	25,77	23,97	26,40	25,42	24,64	14,71	23,49
- Boniato	6,11	7,10	6,66	6,06	6,43	6,43	6,46
- Malanga	7,33	11,96	10,80	10,01	10,01	9,74	9,98
Plátano	6,73	9,03	9,88	8,11	8,71	9,67	8,69
- Fruta	7,62	10,66	13,36	15,53	13,17	13,60	12,32
- Vianda	6,43	8,51	8,55	6,31	7,16	8,16	7,52
Hortalizas	14,38	14,81	13,10	10,28	11,53	11,28	12,56
- Tomate	12,28	13,58	13,57	12,73	11,99	11,00	12,53
- Cebolla	12,40	12,83	15,19	14,84	14,19	11,84	13,55
- Pimiento	6,10	6,00	10,68	11,49	9,07	9,54	8,81
Cereales	3,13	3,19	2,93	2,58	2,79	2,91	2,92
- Arroz cáscara húmedo	3,50	3,50	3,10	2,89	3,04	3,23	3,21
- Maíz	2,53	2,72	2,75	2,33	2,50	2,61	2,57
Leguminosas	1,07	1,19	1,18	1,12	0,92	1,16	1,11
- Frijoles	1,07	1,19	1,18	1,12	0,92	1,16	1,11
Tabaco	1,02	1,16	1,15	1,28	1,10	1,12	1,14
Cítricos	6,70	11,48	13,78	9,86	6,73	9,60	9,69
- Naranja dulce	6,83	11,42	14,19	12,68	4,95	9,29	9,89
- Toronja	6,05	11,62	13,16	6,44	10,42	10,09	9,63
- Limón	5,65	7,50	5,35	2,80	4,64	5,76	5,29
Otras frutas	8,30	8,72	11,86	10,11	9,71	7,84	9,42
- Mango	5,75	5,75	9,94	11,15	8,24	6,64	7,91
- Guayaba	9,81	10,31	12,46	15,73	10,28	10,45	11,51
- Fruta bomba	19,75	17,96	19,55	15,56	20,16	14,91	17,98
Cacao	0,20	0,23	0,32	0,51	0,53	0,50	0,38

* Incluye tubérculos y raíces y plátanos

8.2.4.2. LA PRODUCCIÓN DE PAPA

La papa constituye un alimento altamente nutritivo, ya que posee un importante contenido de hidratos de carbono bajo la forma de almidón (18-23%) y de minerales y proteínas (3%), siendo estas de gran calidad por poseer casi todos los aminoácidos esenciales y ser especialmente ricas en metionina, lisina y cistina, compuestos deficientes en la mayoría de los productos agrícolas. Por lo tanto una dieta combinada de papa y leche aportaría las cantidades y calidades de aminoácidos esenciales para la dieta del ser humano. Su distribución mundial en más de 140 países donde habitan las dos terceras partes de la población mundial y el incremento de sus niveles productivos la convierten en el tercer cultivo alimenticio más importante, después del trigo y el arroz, lo que le ha valido el apelativo de "Tesoro enterrado" por lo que las Naciones Unidas en su Asamblea General de noviembre de 2007 declaró al 2008 como "Año Internacional de la Papa".

La utilización de variedades de alto potencial de rendimiento ha sido una de las estrategias seguidas para aumentar los rendimientos. Para ello la ejecución de pruebas de adaptación de las nuevas variedades en cinco sitios del país (San José de las Lajas, Batabanó, Matanzas, Villa Clara y Ciego de Ávila), han desempeñado un papel muy importante. Estos estudios han permitido seleccionar las variedades mejor adaptadas a los sitios específicos, de forma tal que se puedan explotar en cada territorio las variedades de mejor comportamiento.

En la tabla 8.10 se presenta un resumen de las principales variedades que se han plantado desde la campaña 1999-2000 hasta la 2006-2007. Existe otro grupo de variedades que se mantienen en extensión y que, dependiendo de su comportamiento, pasarán a formar parte de la estructura varietal.

8.2.4.2. LA PRODUCCIÓN DE ARROZ

En Cuba el arroz constituye una parte importante en la dieta diaria de la población, siendo el consumo per cápita anual uno de los más altos de América Latina con cerca de 70 kg, participando en el 20% de las calorías diarias que consume la población. En los últimos años el país importa más de 400 000 t, erogándose solo por importación de este cereal más de 100 millones de USD. De ello se puede inferir que es imprescindible buscar una solución urgente al problema de la producción de arroz en Cuba, pues se hace insostenible la erogación de divisas para garantizar los requerimientos de la población. El problema hoy se concentra en que más del 60% del consumo total proviene de las importaciones y de países lejanos como Vietnam, con grandes gastos en la transportación del producto.

Por otra parte, se tienen creadas las condiciones de infraestructura (presas, sistemas de riego, viales, instalaciones industriales, entre otras costosas inversiones) para producir potencialmente más de 200,0 Mt de arroz consumo en las áreas especializadas, pero debido a las limitaciones económicas existentes, esto no ha sido posible. Por otra parte hay una masa importante de trabajadores (gran parte de los cuales viven en poblados arroceros que fueron construidos con ese fin), que ha sido necesario reubicarlos en otros trabajos debido a la baja explotación de las áreas especializadas y de sus instalaciones industriales.

La aplicación con eficiencia de las tecnologías existentes permite alcanzar rendimientos superiores, lograr precios competitivos en la producción de arroz y si por otra parte se siguen reduciendo los gastos en portadores energéticos, uso eficiente de los fertilizantes, óptimo empleo del manejo integrado de plagas y malezas, imponiéndose además la obtención de nuevas variedades de arroz y tecnologías que respondan a las exigencias de la producción del arroz popular y a la situación actual, se puede asegurar que en el país se puede producir arroz competitivamente, en relación con el arroz importado.

Ante la inseguridad de las importaciones de arroz en Cuba, en 1967 se inicia un intenso programa de desarrollo de la producción arrocería nacional, empleando un modelo tecnológico con un alto grado de mecanización y quimización. En un lapso de 25 años, hasta el inicio de la década del '90, se produce una acumulación inversionista cuantiosa (en obras hidráulicas, sistemas de riego y drenaje, viales, pistas de aviación, comunidades rurales, centros de enseñanza e investigación, medios de mecanización agrícola, incluyendo la aviación, industria de beneficio) así como la habilitación de 150 000 ha de tierra para la producción de arroz, las que en su

Tabla 8.10. Principales variedades incluidas en la estrategia varietal del país

VARIEDAD	CAMPAÑAS: ÁREA PLANTADA (ha)							
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
HOLANDA								
Romano	416,74	590,94	805,34	984,90	1 243,52	1 102,82	2 046,18	1 468,91
Spunta	683,40	769,16	984,90	966,14	1 369,48	1 273,00	1 953,72	1 591,92
Santana	227,80	400,66	603,00	1 125,60	1 134,98	1282,38	1 867,96	1 546,36
Ajiba	284,08	434,16	560,12	636,50	641,86	791,94	958,10	896,33
Armada	-	15,68	13,40	40,87	219,76	388,60	464,98	380,96
Maranca	-	-	14,74	26,13	-	134,00	188,94	293,46
Red Scarlet	-	-	-	44,22	53,60	134,00	306,86	515,90
Fabula	-	-	-	-	2,01	26,80	50,92	68,61
Everest	-	-	-	-	-	-	-	46,23
Desiree	1 582,54	1 090,76	570,84	486,42	809,36	198,32	-	-
Symfonia	73,70	124,62	62,98	121,94	49,58		-	-
Arnova	-	16,62	28,14	167,50	262,64	256,74	-	-
Mondial	62,98	75,04	-	-	38,86	26,80	-	-
Carlita	-	-	21,44	69,68	29,48	-	-	-
FRANCIA								
Aida	-	11,93	4,02	73,70	257,28	402,00	316,24	245,22
Atlas	-	-	-	-	-	-	123,28	411,51
Apolline	-	-	-	-	-	-	-	13,80
CANADA								
Chieftain	5 668,74	4 522,10	5 173,74	5 554,30	4 845,84	4 796,40	1 228,78	-
Red Pontiac	2 414,68	1 829,10	1 019,74	469,00	434,16	250,58	625,78	109,21
Atlantic	510,54	569,50	339,02	388,60	530,64	816,06	116,58	46,90
Cal White	-	10,05	36,18	91,12	89,78	444,88	1 380,20	1 411,42
Red LaSoda	6,70	29,48	58,96	60,30	100,50	113,90	426,12	245,22
LaRouge	6,70	33,50	73,70	113,90	357,78	128,64	336,34	514,83
Spunta	-	34,84	392,62	170,18	132,66	45,56	210,38	160,80

mayoría se encontraban improductivas. En el decenio de los '80 se obtienen los mejores rendimientos y producciones, por encima de los 218,8 MMt de arroz húmedo, resaltando el año 1984 con el más alto rendimiento de 3,71 t/ha y en 1986 el récord de producción de 256,0 Mt de arroz consumo, lo que permitió la satisfacción de la demanda en un 55%, manifestándose en ese período una producción estable.

A partir de la década del '90 la producción de arroz no ha tenido sostenibilidad, debido a la problemática causada por la desaparición del campo socialista, la falta de financiamiento e ineficiencia productiva, afectando la producción del cultivo, deteriorando el rendimiento y causando la disminución de las siembras. El área cosechada disminuyó de 147 620 ha en el quinquenio 1986-90 a 91 256 ha en el quinquenio 1996-2000 y los rendimientos agrícolas cayeron a niveles de 2,8 t/ha.

A partir del año 1996 se desarrolla la producción no especializada de arroz (arroz popular o arroz del sector cooperativo-campesino) como una alternativa para aumentar la producción de arroz con menor costo, estimulada por el gobierno, dándose tierra a todo el que quisiera producir arroz, ayudándose con asistencia técnica y algunos insumos, lo que facilitó la disminución de los precios en el mercado de oferta-demanda.

Tanto el área de siembra como la producción en este sector han ido en aumento, manteniendo un rendimiento estable y cumpliendo con la expectativa de obtener mayores volúmenes de este alimento para la población; además el sector popular superó al especializado desde 1998, alcanzando el 75% de la producción total del país (tabla 8.11).

Tabla 8.11. Resultados de la producción de arroz a partir del inicio del Programa de Desarrollo Arrocero

ETAPA	PRODUCCIÓN ESPECIALIZADA			PRODUCCIÓN NO ESPECIALIZADA			TOTAL
	ÁREA COSECHADA (Mha)	RENDIMIENTO AGRÍCOLA (t/ha)	ARROZ CONSUMO (Mt)	ÁREA COSECHADA (Mha)	RENDIMIENTO AGRÍCOLA (t/ha)	ARROZ CONSUMO (Mt)	ARROZ CONSUMO (Mt)
1967-70	91	1,9	80	-	-	-	80
1971-75	189	1,9	166	-	-	-	166
1976-80	153	2,9	206	-	-	-	206
1981-85	140	3,6	228	-	-	-	228
1986-90	148	3,3	233	-	-	-	233
1991-95	104	2,3	111	-	-	-	111
1996-00	92	2,7	110	103	2,8	144	254
2001-05	39	2,9	42	117	3,4	199	241
2006-07	38	2,8	68	87	3,5	155	223

Requerimientos tecnológicos del cultivo

Época de siembra

En el país hay dos épocas definidas para la producción de arroz: La época de frío o seca, desde noviembre a febrero, y la época de primavera o húmeda, desde marzo hasta agosto. La mejor época de siembra es la de frío, especialmente durante los meses de diciembre-enero, cuando las variedades alcanzan un potencial de rendimiento promedio de 2,0 t/ha más que en la época de primavera. En la producción especializada los máximos rendimientos agrícolas obtenidos han sido de 5,6 t/ha para la época de frío y de 4,2 t/ha para la época de primavera, lo que demuestra que existe una brecha entre el rendimiento potencial y el rendimiento real. El ciclo de las variedades depende de la época en que se siembren. Las variedades de ciclo medio alcanzan 140-155 días como promedio en la época de frío; 125-140 días en la época de pre-primavera y menos de 125 días en la época de primavera. Las variedades de ciclo corto alcanzan 125-130 días en la época de frío, 110-120 días en preprimavera y menos de 100 días en primavera.

Selección del área y preparación de suelo

El área debe presentar buena nivelación del terreno, así como buen abasto de agua, tanto por vía superficial como por vía de bombeo, y estar lo más limpia posible de malezas. Se consideran bien preparadas y listas para sembrar, las áreas que hayan recibido adecuadamente el mantenimiento de la red de canales terciarios, la eliminación e incorporación de los restos de vegetales vivos y la mulción y alisamiento del terreno.

Política varietal para el cultivo del arroz

Constituyen principios técnicos obligatorios que ninguna variedad ocupe más del 50% del área de siembra y que la composición de variedades comerciales debe estar integrada por cultivares que posean:

- Alto potencial de rendimiento agrícola y resistencia a *Tagosodes orizicolus*.
- Resistencia al ácaro *Steneotarsonemus spinki*.
- Tolerancia a la salinidad.
- Resistencia a *Pyricularia grisea*.
- Alto potencial de rendimiento industrial.

La propuesta de variedades, según las características de manejo y del área productiva, se presenta en la tabla 8.12.

Métodos de siembra

La siembra puede realizarse a voleo, en hileras a chorrillo, a golpe o distancia y por trasplante. Cada método debe garantizar en cosecha unas 350 a 400 panículas/m², lo cual se obtiene con más de 200 plantas/m².

Fertilización

Al arroz se le pueden aplicar fertilizantes que contengan nitrógeno, fósforo y potasio, aunque puede darse el caso de ser necesario adicionar zinc (Zn), azufre (S), calcio (Ca), hierro (Fe), u otro elemento específico. Las fuentes portadoras de fertilizantes minerales más empleadas para el arroz son:

Tabla 8.12. Variedades de arroz propuesta por ecosistema

VARIEDAD	CARACTERÍSTICAS DE MANEJO Y DEL ÁREA PRODUCTIVA	CICLO	PERÍODO ÓPTIMO DE SIEMBRA
IACuba 27	Riego	Corto	Diciembre-febrero 10.
Reforma		Corto	Diciembre-abril 10 / junio-julio.
LP-5		Corto	Diciembre-marzo / junio 15-agosto.
J-104		Medio	Diciembre-abril 10 / junio-julio.
IACuba 29	Secano favorecido	Medio	Diciembre-abril 10 / junio-julio.
IACuba 30		Medio	
IACuba 25	Riego-Salinidad	Corto	Diciembre-febrero 10.
Perla	Riego-Secano favorecido	Corto	Diciembre-enero.
LP-7	Riego-Secano-Salinidad	Medio	Diciembre-abril 10 / junio-agosto.

Constituyen principios técnicos obligatorios que ninguna variedad ocupe más del 50% del área de siembra y que la composición de variedades comerciales debe estar integrada por cultivares que posean:

- Nitrógeno (N): Urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio.
- Fósforo (P_2O_5): Superfosfato triple o simple o roca fosfórica.
- Potasio (K_2O): Cloruro de potasio o sulfato de potasio.

Riego

Debido a la gran diversidad de variedades, condiciones ecológicas y conceptos de explotación de la tierra, se ha caracterizado el manejo de los ecosistemas de arroz en tres tipos: seco, seco favorecido y riego (aniego).

Protección vegetal

Los principales insectos que afectan la producción están la chinche de la espiga (*Oebalus insularis*); la palomilla del maíz (*Spodoptera frugiperda*); el picudito acuático (*Lissorhoptrus brevirostris*) y la sogata del arroz (*Tagosodes orizicolus*), mientras que entre las principales enfermedades se encuentran la pyricularia del arroz o añublo de la vaina (*Pyricularia grisea* o *Pyricularia oryzae*); el manchado del grano; el tizón de la vaina o mancha oriental (*Rhizotocnia solani*); *Sarocladium oryzae*; la mancha parda del arroz (*Bipolaris oryzae* o *Helminthosporium oryzae*; *Rhynchosporium oryzae* o *Gerlachia oryzae*) y la hoja blanca. Además, el cultivo es afectado por las malezas arrozillo (*Echinochloa crus-gall*), metebravo (*Echinochloa colona*), plumilla (*Diplachne fascicularis*), pata de cao (*Ischaemum rugosum*), zancaraña (*Rottboelia cochinchinensis*), pata de gallina (*Eleusine indica*.), bejuco Godínez (*Vigna vexillata*), tamarindillo (*Aeschynomene americana* L), platanillo (*Thalia geniculata* L), pelo de indio (*Cyperus iria* L) y cebolleta (*Cyperus esculentus* L).

Entre las técnicas empleadas en el manejo integrado de plagas, se dará prioridad a las que favorezcan los mecanismos naturales de regulación de las poblaciones de fitófagos, así como a las medidas preventivas, sobre las curativas.

8.2.4.3. LA PRODUCCIÓN DE TABACO

La distribución geográfica del tabaco en Cuba establece cuatro grandes zonas productoras: la de Vuelta Abajo y Partido en el occidente; la de Remedios en el centro y, la zona más oriental del país. Estas dos últimas, de conjunto, se identifican como Vuelta Arriba.

Para este cultivo resultan de especial interés los problemas relacionados con la calidad de las hojas, que constituyen la materia prima que se utiliza para la confección de diferentes productos industriales: puros, cigarrillos, tabaco en rama y otros.

En la producción agrícola del tabaco participan en total 1 066 cooperativas (de ellas el 60% tabacalera), 16 empresas agrícolas estatales y siete empresas agroindustriales estatales (tabla 8.13).

Tabla 8.13. Composición del sistema cooperativo que interviene en la producción tabacalera

ENTIDADES	TABACALERAS	NO TABACALERAS	TOTAL
Estatales	25	16	41
UBPC	36	22	58
CPA	125	56	181
CCS	453	332	785
TOTAL	639	426	1065

Finalmente, la materia prima disponible procesada por el sistema fabril, que presenta la siguiente composición:

- 50 fábricas de tabaco torcido de consumo nacional.
- 46 fábricas de tabaco torcido de exportación.
- 6 fábricas de envases de madera para tabaco.
- 4 fábricas de cigarrillos de consumo nacional.
- 1 fábrica de tabaco mecanizado de exportación.
- 1 fábrica de cigarrillos de exportación.

En Cuba se cultivan tres tipos de tabaco: Negro, Burley y Virginia. El tabaco negro se obtiene con tres formas de producción y destinos:

- Tabaco negro bajo tela o tapado: como se le llama comúnmente. Sus principales variedades son Habana-2000, Criollo-98 y Corajo-99. Es el más valioso y costoso, pues constituye la envoltura del puro a la que se le denomina capa. Las hojas utilizadas con este fin deben tener una determinada textura, color, sin roturas, ni manchas, entre otros requisitos. Aunque se cultiva en casi todo el país, las mayores áreas se concentran en Pinar del Río y La Habana y, en menor escala, en Ciego de Ávila.

La producción agrícola es sometida a un proceso de beneficio y curado de la hoja, para lo cual se dispone de la infraestructura de apoyo necesaria para esta etapa (tabla 8.14).

Tabla 8.14. Infraestructura disponible para el beneficio y curado del tabaco

CENTROS DE BENEFICIOS	
Escogidas	254
Centros de procesos	41
Despalillos	62
CENTROS DE BENEFICIOS	
Curación Natural	
Casas	19 361
Aposentos	67 519
Curación Controlada	
Casas	449
Aposentos	2 7834

- Tabaco negro al sol ensartado: sus principales variedades son Habana-92, Habana-2000, Criollo-98 y Corojo-99. Constituye el capote y la tripa (el interior del puro) y también es valioso. Solo se cultiva en Pinar del Río, en las vegas finas de San Juan y Martínez, San Luis y Pinar del Río.
- Tabaco negro al sol en palos: su principal variedad es la Habana-92. Se utiliza para exportación en rama y cigarrillos. Su cultivo se extiende a todas las zonas del país, pero los mayores macizos están en las provincias centrales. Lo significativo en este tipo de tabaco es que el productor “corta” el tallo principal, dejando que rebrote de una a dos yemas y corta lo que se llama “capaduras”. De acuerdo al estado de la plantación, esta labor puede hacerse de dos a tres veces. El corte del tallo principal se realiza entre los 65 días y 70 días después del trasplante, el primer corte de capaduras entre los 100 y 110 días después del trasplante y el segundo corte, entre 125 y 133 días después del trasplante.

El tabaco Burley se utiliza como componente de la materia prima de los cigarrillos suaves y solo se cultiva en la zona central de Pinar del Río; el tabaco Virginia constituye la materia prima principal de los cigarrillos suaves y solo se cultiva en la zona más occidental de Pinar del Río.

Los tabacos negros se “desbotonan” entre los 30 y 35 días después de la plantación. Esta labor consiste en eliminar la yema terminal mucho antes de la formación de la emergencia del botón floral. Es una operación delicada, que requiere habilidad, destreza y experiencia, pues influye directamente en el rendimiento y calidad del tabaco.

Los tabacos Burley y Virginia se “desfloran” y el momento (40-50 días) depende del tipo de producto que se quiera obtener, ya que el hacerlo antes o después puede aumentar o disminuir el contenido de nicotina de las hojas.

La duración promedio del ciclo del cultivo es de septiembre a mayo y abarca desde la etapa de semillero, hasta el proceso de curación.

- Semillero: 15 agosto -15 diciembre.
- Plantación: 20 octubre - 30 diciembre. La fecha óptima de trasplante es entre el 20 de octubre y el 30 de diciembre pero en ocasiones, por la incidencia de abundantes lluvias y de huracanes, se prolonga hasta el 15 de febrero.
- Curación: diciembre-mayo.

Según el tipo de tabaco y el suelo donde se va a cultivar, las distancias de trasplante que utilizan los productores son las mostradas en la tabla 8.15.

Las técnicas de riego que se utilizan en el tabaco son por goteo, por aspersión y por aniego o surco; también se emplean otros métodos como el riego por conductoras y por pronóstico. En el caso del pronóstico, actualmente el riego depende de la observación diaria de la plantación y de la experiencia del productor. Sin embargo, hay una cifra importante de áreas de “secano” en el tabaco sol en palos, fundamentalmente en las provincias centrales y Pinar del Río, cuya producción depende de las lluvias.

El mejoramiento genético del tabaco cubano estuvo dirigido en un principio al rescate de su calidad. Los primeros trabajos de mejoramiento dieron como resultado las variedades tradicionales que a lo largo de los siglos se han cultivado en Cuba y que han permitido la consolidación del prestigio del tabaco cubano en el mundo. Después, nuevos programas de mejoramiento tuvieron como objetivo fundamental

Tabla 8.15. Distancias de trasplante utilizadas, según tipo de tabaco y suelo

TIPO DE TABACO	SUELO ARENOSO		DENSIDAD (plantas/ha)	SUELO ARCILLOSO		DENSIDAD (plantas/ha)
	DISTANCIA e/PLANTAS (m)	DISTANCIA e/ SURCOS (m)		DISTANCIA e/PLANTAS (m)	DISTANCIA e/ SURCOS (m)	
Tapado	0,35	0,85	33 600	0,35	0,90	31 700
Sol ensartado	0,30	0,70	47 600	0,30	0,90	37 000
Sol en palo	0,25	0,76	52 600	0,30	0,90	37 000
Burley	0,50	1,00	20 000	0,50	1,00	20 000
Virginia	0,50	1,00	20 000	-	-	-

la obtención de variedades con resistencia a las principales enfermedades que afectan al cultivo, preservando en ellas la calidad organoléptica de las variedades tradicionales y mejorando en lo posible su potencial de rendimiento.

Entre las plagas y daños importantes al tabaco se encuentran:

- La pata prieta causada por *Phytophthora nicotianae*, que afecta fundamentalmente la raíz y las partes basales del tallo. Aparece en los lugares con exceso de humedad y áreas bajas con deficiencias en el drenaje; también es favorecida por las altas temperaturas.
- El moho azul causado por *Peronospora tabacina*, cuyos síntomas en semilleros se caracterizan por parches o zonas con plantas que presentan un color amarillo, con hojas acopadas que por el envés presentan un moho gris azulado. En plantación los síntomas en las hojas son manchas de color amarillo y por el envés se presenta un moho gris azulado. Con frecuencia las manchas se unen, formando una zona necrótica de color carmelita claro y en ambos casos las hojas se arrugan y se desfiguran para, por último quedar totalmente inutilizables.
- El pulgón verde (*Myzus persicae*) y el pulgón rojo, que emiten secreciones azucaradas que pueden facilitar el desarrollo de fumagina, que es un vector de enfermedades virales.
- Otras plagas de importancia, como el falso orobanche y la mancha parda o negrón entre los hongos; el pasador de tabaco, el verraquito de la tierra y el *Thrips palmi* entre los insectos y el mosaico del tabaco (VMT), y de la papa (PVY), gravado del tabaco (TEV) y encrespamiento foliar del tabaco (TLCV) entre los virus.

En adición a los efectos de las plagas, está la necrosis ambiental causada por el ozono, cuyos síntomas en las hojas son manchas húmedas, irregulares, muy numerosas, de 1 a 3 mm de diámetro. En 48 horas aproximadamente las lesiones se tornan de color pardo y después se necrosan. La severidad depende de la concentración de ozono y el tiempo de duración, la humedad, el nivel de nitrógeno y la densidad de plantas, entre otros factores.

La disponibilidad de madera es de vital importancia para la producción tabacalera, tanto en la fase agrícola como en la preindustrial, ya que participa decisivamente en la construcción de las casas de cura, tapaderos y cujes para secar tabaco.

El sector tabacalero utiliza alrededor de 50 000 m³ de madera en rollo anualmente o sea, alrededor del 12% de la producción nacional de este renglón.

Por esa razón, a partir de 1996 se comenzó a implementar un programa de desarrollo forestal como parte de la producción tabacalera, con el objetivo de alcanzar el autoabastecimiento de madera rolliza empleando especies de eucalipto, teniendo en cuenta su competitividad en cuanto a la conformación fenotípica, rápido crecimiento, capacidad de rebrote, resistencia mecánica y costos económicos.

Por otra parte el cultivo del cedro (*Cedrela odorata* L.), tanto intensivo como asociado con eucalipto, también ha sido objeto de atención a partir del año 2003, porque esta especie se utiliza en láminas, entrecamadas, tablas, vitolas, cajas y humidores durante la etapa de comercialización del tabaco; teniendo en cuenta su color, olor característico y textura, aspectos que le confieren la imagen única que caracteriza al puro habano. De esta especie el sector necesita alrededor de 2 000 a 2 200 m³ anuales.

8.2.4.5. LA PRODUCCIÓN PECUARIA

El rebaño nacional (ganado mayor y menor) varió entre 9,2 y 9,9 MM de cabezas durante el período 2002-2007, compuesto mayoritariamente por ganado vacuno (entre 3,7 y 4,0 MM de cabezas), a lo que se adicionan las aves, con una disponibilidad de entre 23,2 y 29,8 MM de cabezas y las abejas, agrupadas entre 88,6 a 162,5 miles de colmenas (tabla 8.16).

Tabla 8.16. Composición del rebaño nacional (M cabezas)

CONCEPTO	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Vacuno	3 972,3	4 025,4	3 942,6	3 703,7	3 737,2	3 787,4
Hembras	2 572,6	2 602,5	2 532,1	2 399,9	2 423,9	2 463,3
Machos	1 399,7	1 422,9	1 410,5	1 303,8	1 313,3	1 324,1
Équidos	468,0	4 82,4	494,8	499,8	512,9	536,4
Equino	437,5	451,6	464,0	469,5	482,8	506
Asnal	7,3	7,8	8,3	8,7	9,1	9,7
Total ganado mayor	4 440,3	4 507,8	4 437,4	4 203,5	4 250,1	4 323,8
Porcino	1 554,5	1 683,6	1 593,4	1 626,0	1 760,8	1 868,6
Ovino-caprino	3 480,3	3 530,7	3 456,6	3 400,5	3 932,2	3 779,2
Ovino	2 613,9	2 580,2	2 410,0	2 361,0	2 761,3	2 653,1
Caprino	866,4	950,5	1 046,6	1 039,5	1 170,9	1 126,1
Total ganado menor	5 034,8	5 214,3	5 050,0	5 026,5	5 693,0	5 647,8
Aves	24 177,0	23 210,0	25 032,5	27 440,1	29 847,6	29 412,8
Colmenas (UM: MU)	127,3	162,5	140,9	88,6	155,1	140,9

La producción pecuaria obtenida durante el período 2002-2007 a partir del ganado vacuno, porcino, ovino-caprino y la procedente de la apicultura (sin incluir la producción de huevos), varió entre 643,7 y 890,9 Mt de alimentos, donde la producción de leche ocupó el primer lugar (entre 353,2 y 607,5 Mt), seguida por las entregas porcinas (entre 136,0 y 268,2 Mt), mientras que la producción de miel alcanzaba los menores valores (entre 3,9 y 6,9 Mt) (tabla 8.17).

Tabla 8.17. Indicadores seleccionados de la producción pecuaria

SECTOR	CONCEPTO	UM	2002	2003	2004	2005	2006	2007
VACUNO	Producción de leche	Mt	589,7	607,5	512,7	353,2	415,2	485,1
	Rendimiento anual	kg/vaca	1 136	1 161	1 150	992	1 205	1 314
	Entregas a sacrificio							
	Cabezas	Mcabz	465,1	372,3	404,0	423,3	360,7	335,7
	Peso en pie	Mt	131,6	112,3	110,5	119,8	111,3	108,1
	Peso promedio	kg	283,9	301,6	273,5	283,0	308,6	322,0
PORCINO	Entregas a sacrificio							
	Cabezas	Mcabz	1 915,5	2 074,7	2 241,0	1 980,0	1 858,0	3 144,2
	Peso en pie	Mt	136,0	142,4	148,9	146,5	151,3	268,2
	Peso promedio	kg	71,0	68,6	66,4	74,0	81,4	85,3
OVINO-CAPRINO (a)	Producción de leche	MMU	1 347,9	1 457,1	1 359,6	1 633,8	1 534,4	1 880,0
	Entregas a sacrificio							
	Cabezas	Mcabz	678,6	688,4	725,0	721,0	861,5	832,1
	Peso en pie	Mt	19,0	19,0	20,1	20,3	18,9	23,3
	Peso promedio	kg	28,0	27,6	27,7	28,2	21,9	28,0
AVICOLA	Producción de huevos	MMU	1 778,2	1 785,1	1 748,6	2 066,3	2 341,3	2 351,7
APÍCOLA (a)	Producción							
	Miel total	Mt	5,6	7,2	6,2	3,9	6,9	6,2
	Cera total	†	105,5	135,6	116,8	73,5	130,0	116,8
	Rendimiento	kg miel /colmena	44,0	44,3	44,0	44,0	44,5	44,0
Producción total de alimentos de origen animal (b)		Mt	881,9	888,4	798,4	643,7	703,6	890,9

(a) Excluye los productores no especializados y los patios y parcelas de los hogares

(b) Incluye la leche, el peso en pie y la miel; no incluye la producción de huevos

8.2.4.6. LA PRODUCCIÓN PORCINA

A partir de 1969, con la creación del Combinado Porcino Nacional, esta actividad especializada comenzó a desarrollarse a un ritmo acelerado y creciente en el país; ya en 1970 se producen 16 Mt de carne y comienza la producción comercial con un crecimiento sostenido, hasta alcanzar en 1989 la cifra record de 102,4 Mt.

En el país se manejan cinco categorías de cerdos:

1. Sementales (verracos): los machos utilizados para la monta o inseminación artificial.
2. Reproductoras: cerdas vacías, cubiertas, gestantes y lactantes.
3. Crías: cerditos hasta los 33 días de edad.
4. Preceba (lechones y genética): a partir de los 33 hasta los 42 días primera etapa; en la segunda etapa, de 42 a 75 días.
5. Ceba (cochinatos y cochinatas): a partir de los 76 días hasta los 105 días.

Nacionalmente se conservan, mejoran y explotan cinco razas básicas. Además, se trabaja en la multiplicación del cerdo Criollo, como raza autóctona. Por otra parte, se han llevado a cabo trabajos para la evaluación de diferentes híbridos con vistas a incorporarlos al programa de cruzamientos nacional.

Las razas con que cuenta el país se dividen en maternas y paternas en función de las características fundamentales de cada una de ellas. El fin productivo de las líneas maternas es la producción de hembras comerciales, dada su aptitud reproductiva, sin menospreciar el aporte que producen a la descendencia en crecimiento y canales. Las paternas se caracterizan por sus aspectos productivos de crecimiento y canales y se utilizan como verracos terminales.

Las principales razas porcinas que existen en Cuba son:

Razas maternas

Yorkshire: aparece a finales del siglo XVIII y se cree que surge por el cruzamiento de cerdos oriundos de Gran Bretaña (primitivas razas Yorkshire y Cumberland), a las que se agregaron posteriormente cerdos Leicestershire, chinos y siameses. Tuvo gran éxito entre los criadores ingleses y europeos desde su origen. Su principal ventaja es su capacidad maternal y prolificidad, aunque también posee magnífica calidad de crecimiento y composición corporal. Los machos tienen un comportamiento sexual viril y activo. En Cuba se utiliza como raza materna básica para la producción de las reproductoras comerciales F1 Yorkshire x Landrace. En los años 1989-90 se realizó una importación del Reino Unido que se conoce como Large White. Ambas poblaciones, la canadiense y la inglesa, se han mantenido separadas y se han adaptado bien a las condiciones ambientales.

Landrace: tuvo su origen en Dinamarca en el año 1870, mediante el cruzamiento de cerdas oriundas con verracos Large White importados de Inglaterra, seguida de una cuidadosa selección para obtener cerdos de alta producción. La raza Landrace actual es una de las más seleccionadas y más magra del mundo. Es una de las razas de origen europeo. Se caracteriza por su alta prolificidad y buena habilidad maternal. Esta raza es la de menor rusticidad entre las explotadas en Cuba. Se utiliza como verraco en cruce con la Yorkshire (Large White) para obtener la hembra F1 Yorkshire x Landrace, de amplia utilización en las unidades comerciales de cría.

Razas paternas

Duroc: no se conoce con exactitud su origen; según algunos autores, surge de una mezcla de las mejores características de los cerdos rojos que existían hacia el año 1800 en los estados de Nueva York, Nueva Jersey, Connecticut y Vermont, procedentes de África (raza colorada de Guinea) y según otros, de los procedentes de la Península Ibérica. Su nombre proviene de la combinación de dos estirpes muy estimadas y famosas en esa época, La Duroc y la Jersey y su selección y consolidación comienza hacia 1823. Esta raza se ha extendido en todo el territorio nacional. Fue introducida en Cuba en la década del '50, pero solo después de los años 60 pudo ser incrementado su número gracias a importaciones provenientes de Canadá. Es notable por su fortaleza, rápido crecimiento y adaptabilidad. Las canales tienen la característica de aportar grasa intramuscular y es muy apropiada para los sistemas actuales de producción.

CC21: es una raza que tiene su origen en Cuba, sintética de nueva creación, formada fundamentalmente por las razas Duroc y Hampshire, con un porcentaje de las razas blancas. Es utilizada en los programas de cruzamiento como verraco paterno terminal en las unidades comerciales.

L35: es producto de la fusión de las poblaciones de cerdos Pietrain y de la línea sintética L63 que fueron importadas entre 1989 y 1990 del Reino Unido. Su principal propósito es la alta producción de carne, sin embargo son susceptibles al estrés, por lo que en la actualidad su uso ha ido disminuyendo en el país.

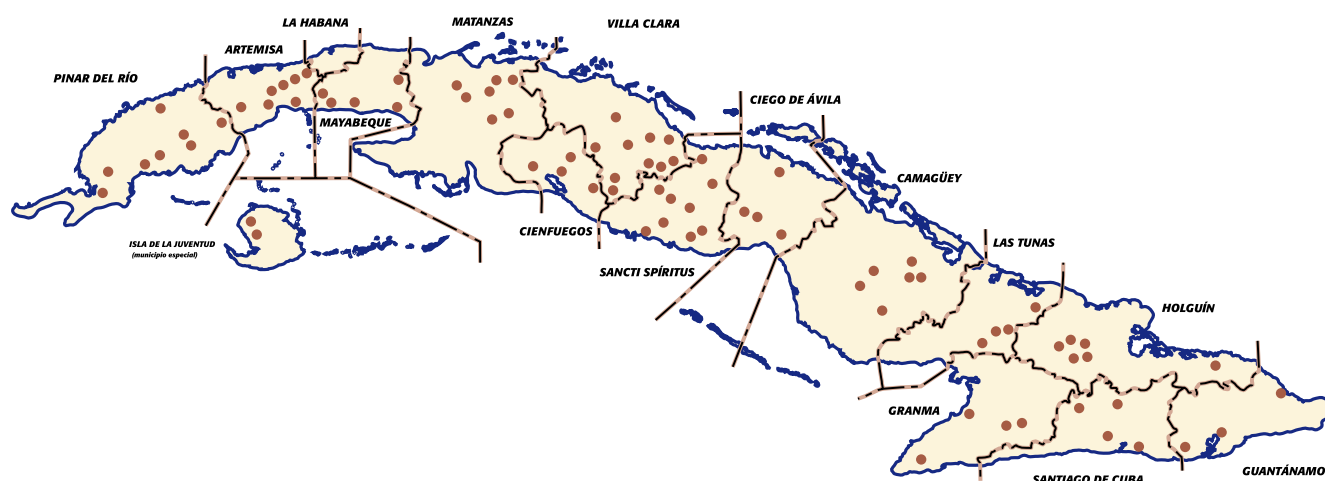
Criollo: es una raza de origen Ibérico, que se trajo a Cuba por los colonizadores españoles en el siglo XVI; se caracteriza por su resistencia a las adversidades del clima, manejo y alimentación. Existe un amplio programa de conservación de esta raza y se utiliza fundamentalmente en cotos porcinos.

A partir del año 1990 comenzó el descenso productivo provocado por la falta de alimentos, debido a la desaparición de los mercados tradicionales de importación. En abril del 2005, por acuerdo del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros, se decide comenzar la recuperación de la producción porcina mediante el Programa de Desarrollo Porcino, para alcanzar 100 Mt de carne en pie, basado en el crecimiento sostenido de la producción en las Unidades Porcinas Especializadas y acompañada de las modalidades de los Convenios Porcinos y de la producción individual y de traspato.

Al término del año 2007 Cuba contaba con 14 empresas porcinas estatales especializadas y en 160 municipios del territorio nacional existían unidades territoriales porcinas, pertenecientes al Grupo de Producción Porcina. En la tabla 8.18 se muestra la distribución porcina (de propiedad estatal) a nivel nacional por categorías, al término del 2007 y en la figura 8.7 se muestra su distribución (GRUPOR, 2007).

Tabla 8.18. Distribución porcina a nivel nacional al término del 2007

PROVINCIAS	CATEGORÍAS			
	CRÍAS	PRECEBAS	CEBAS	TOTAL
Pinar del Río	13 900	7 949	48 374	70 223
La Habana	19 053	20 837	58 208	98 098
Matanzas	14 239	11 468	43 552	69 259
Villa Clara	14 691	10 480	40 910	66 081
Cienfuegos	11 387	16 286	24 613	52 286
Sancti Spíritus	9 592	9 570	33 537	52 699
Ciego de Ávila	9 828	6 918	30 062	46 808
Camagüey	5 755	3 486	16 507	25 748
Las Tunas	6 939	7 352	18 123	32 414
Holguín	8 096	8 803	26 437	43 336
Granma	6 274	6 468	20 520	33 262
Santiago de Cuba	15 348	12 755	43 160	71 263
Guantánamo	2 132	2 361	7 710	12 203
Isla de la Juventud	1 406	1 691	6 749	9 846
NACIONAL	138 640	126 424	418 462	683 526

**Figura 8.7.** Distribución de las unidades territoriales porcina en el país

La producción anual de carne limpia durante el período 2003-2007 se muestra en la figura 8.8 (Grupo de Producción Porcina, 2007), donde se evidencia como fue en ascenso el desarrollo de la producción de carne porcina.

Las principales afectaciones de la producción porcina registradas en el país son:

- Enfermedades provocadas por la presencia de las aves migratorias.
- Enfermedades endémicas en los cerdos.
- Problemas inmunológicos asociados al estrés alimentario, hídrico (por falta de agua), térmico (de cada categoría) y la falta de vacunas.
- Deterioro en los piensos (se reproducen los hongos, mohos y levaduras) debido al aumento de la temperatura.

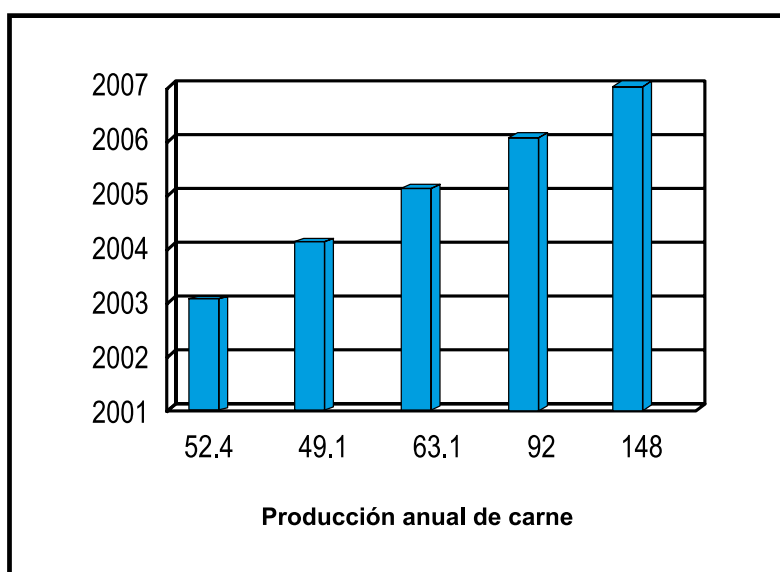


Figura 8.8. Producción anual de carne limpia (Mt) durante el período 2001-2007

8.3. IMPACTOS, MEDIDAS DE ADAPTACIÓN Y VULNERABILIDADES

8.3.1. LA ESTRATEGIA PARA LA PRODUCCIÓN DE PAPA

A partir de la campaña 2006-2007 el país comenzó una reducción de las áreas de plantación de papa y para compensarla, se ha tratado de aumentar los rendimientos con la implementación de una adecuada estrategia por área. La campaña 2008-2009 constituyó en este sentido una excepción, por el aumento significativo del área a plantar debido al paso de tres huracanes por el país y a la necesidad de producir cantidades suficientes de alimentos para la población en poco tiempo.

En correspondencia con ello, durante la última campaña (2010-2011), el área plantada disminuyó hasta unas 7,5 Mha (75% de la utilizada en la campaña 2006-2007); sin embargo, los rendimientos se mantuvieron al mismo nivel que en los dos años anteriores (tabla 8.19).

Tabla 8.19. Rendimiento de las últimas cinco campañas paperas, según informe técnico del cultivo 2011

CAMPAÑA	ÁREA PLANTADA (ha)	ÁREA COSECHADA (ha)	PRODUCCIÓN (t)	RENDIMIENTO (t/ha)
2006-2007	10 065,00	10 065,00	142 704,69	14,18
2007-2008	10 268,98	10 268,98	195 871,67	19,10
2008-2009	12 547,70	12 547,70	278 510,05	22,20
2009-2010	10 065,00	9 393,48	191 419,52	20,38
2010-2011	7 515,20	7 515,20	165 508,60	22,02

Fuente: Informe técnico de la campaña de papa 2010-2011. MINAG

Las reducciones de área de este cultivo no solo se debieron a problemas financieros, sino también al comportamiento de las variables climáticas durante el período de plantación.

Está demostrado que en el cultivo de la papa los resultados dependen, en gran medida, de las condiciones ambientales imperantes durante la etapa de desarrollo del cultivo y del cumplimiento estricto de las normas técnicas; sin embargo, los rendimientos están en mayor medida relacionados con el comportamiento de las variables meteorológicas y fundamentalmente, de las temperaturas. En muchos casos la diferencia de temperatura entre las provincias del oriente del país que producían papa (Las Tunas, Holguín y Camagüey) y las del centro y occidente llegaba hasta 4 °C, y por tanto sus rendimientos estaban muy por debajo de la media nacional. Por tal motivo, las provincias donde se plantaba papa y no reunían condiciones climáticas apropiadas para su desarrollo fueron eliminadas del área de producción del tubérculo.

La papa ya se cultiva actualmente solo en siete provincias (Pinar del Río, La Habana, Matanzas, Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila) y en el municipio especial Isla de la Juventud, territorio que comprenden el área centro-occidental del país, donde las temperaturas registran una media histórica inferior a los 23,0 °C durante el mes de enero, el más frío del año.

En la tabla 8.20 se muestran los rendimientos obtenidos en cada una de las provincias donde se cultiva el tubérculo en el país y donde los rendimientos se corresponden con la media histórica para este cultivo (excepto en la provincia Villa Clara, que son ligeramente superiores), con valores por encima de las 22 t/ha.

Tabla 8.20. Resultados de la campaña papera 2008-2009 en las diferentes provincias donde se cultivó el tubérculo

PROVINCIAS	ÁREA COSECHADA (ha)	PRODUCCIÓN (t)	RENDIMIENTO (t/ha)
Pinar del Río	268,4	5 892,64	21,95
La Habana	5 475,4	122 411,33	22,36
Matanzas	2 375,3	52 214,91	21,98
Villa Clara	778,4	18 912,55	24,30
Cienfuegos	845,5	18 924,05	22,38
Sancti Spíritus	335,5	7 024,70	20,94
Ciego de Ávila	2 375,3	51 511,11	21,69
Isla de la Juventud	93,9	1 618,75	17,23
TOTAL	12 547,7	278 510,05	22,20

Los resultados anteriores muestran una campaña donde no existieron afectaciones significativas del clima. Sin embargo este cultivo, es uno en los que se prevén mayores afectaciones por los cambios que el clima pudiera presentar en un futuro no lejano.

De todo ello se deduce la necesidad que tiene el país de implementar medidas organizativas que garanticen una máxima producción de papa en las áreas destinadas a este cultivo, minimizando con medidas de adaptación los impactos que el cambio climático ya está generando y que afectan de manera sensible este importante cultivo.

Esta primera acción de adaptación al aumento registrado por la temperatura atmosférica del país, y muy en especial a la elevación de sus valores mínimos durante la noche, basada en la selección de las áreas productivas, deberá próximamente ser complementada con los resultados del análisis del comportamiento futuro de la temperatura, a la luz de los escenarios climáticos de alta resolución (50 x 50 km) hoy disponibles en el país. Esto permitirá identificar incluso dentro del territorio centro-occidental del país hoy en uso para esta producción, los municipios que pudieran presentar mayores niveles de riesgo climático futuro para la producción de papa, análisis que deberá ser complementado con la información relativa a las capacidades agroproductivas de los suelos en los municipios de menores riesgos climáticos, pues de las seis provincias a las que se ha limitado el cultivo de la papa, Pinar del Río y Villa Clara ya reportan entre el 70 y el 80% de su territorio en las categorías agroproductivas más bajas (III+IV), mientras que en Matanzas, Cienfuegos y Sancti Spíritus esta situación alcanza entre el 50 y el 60% de sus territorios.

En adición a lo anterior resulta evidente la conveniencia de desarrollar acciones encaminadas a la obtención de nuevas variedades de papa que conjuguen la tolerancia a una mayor temperatura, con el mantenimiento de rendimientos aceptables en suelos de capacidad agroproductiva mediana (II+III), que incluso pudiera empeorar como consecuencia de impactos del cambio climático.

Esa labor, desde su inicio hasta que el material comercial esté disponible para entregar a los productores, puede demandar entre 10 y 15 años de trabajo, lo que significa que las nuevas variedades serían liberadas en un momento próximo al inicio de la década de los años '30, cuando probablemente las condiciones climáticas ya no se correspondan con las actuales, razón por la que a la necesidad de contar con nuevas variedades, será necesario añadir la condición de que para obtenerlas se tomen en consideración no las condiciones ambientales presentes, sino las esperables por los escenarios climáticos para ese momento, porque de lo contrario sus niveles de adaptación al estrés abiótico pudieran resultar inadecuados.

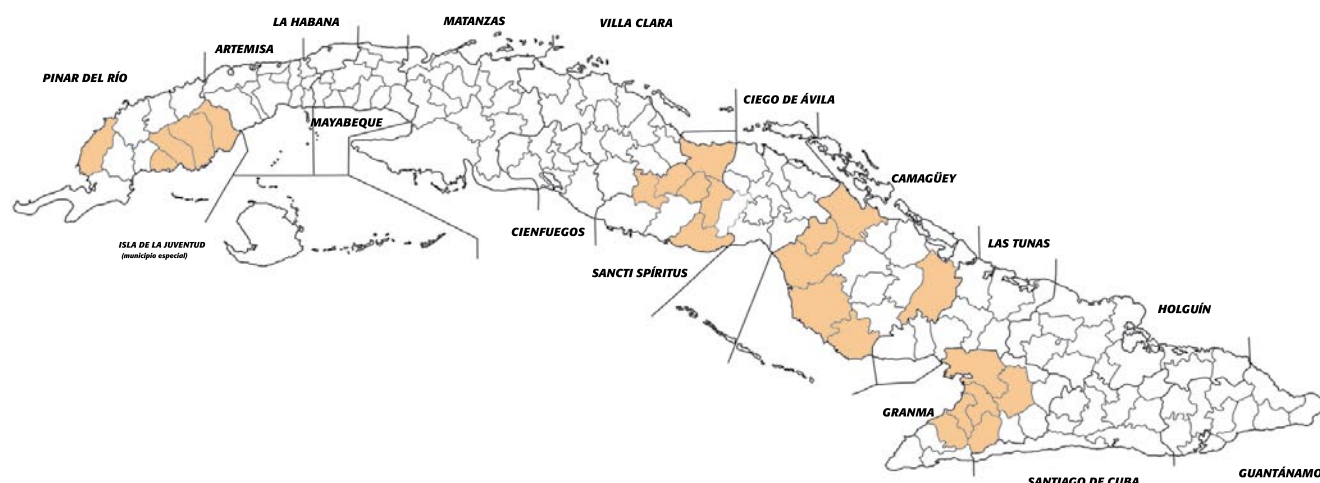
8.3.2. IMPACTOS CLIMÁTICOS SOBRE LA PRODUCCIÓN ARROCERA

Aun cuando la producción de arroz en Cuba comprende a todas las provincias del país, con la única excepción de Ciudad de La Habana (tabla 8.21), solo en cuatro de ellas se concentran actualmente los mayores niveles productivos, tanto en superficie como en cantidad, con rendimientos que varían entre 3,3 y 3,8 t/ha: Pinar del Río, Sancti Spíritus, Camagüey y Granma (figura 8.9).

Por otra parte, aunque diversas variables meteorológicas influyen la producción arrocería de diferentes maneras, la lluvia y la temperatura del aire constituyen elementos claves para el cultivo.

Tabla 8.21. Municipios más importantes para la producción de arroz nacional (especializado y no especializado) y provincias de mayor relevancia (subrayadas)

<u>PINAR DEL RÍO</u>	<u>LA HABANA</u>	<u>MATANZAS</u>	<u>VILLA CLARA</u>
Consolación del Sur Los Palacios Mantua San Cristóbal San Luis	Güines San Nicolás Nueva Paz Melena del Sur Batabanó	Los Arabos Calimete Cárdenas Colón Jovellanos	Santo Domingo Camajuaní Encrucijada Sagua Remedios
<u>CIENFUEGOS</u>	<u>SANCTI SPÍRITUS</u>	<u>CIEGO DE ÁVILA</u>	<u>CAMAGÜEY</u>
Aguada Abreu Palmira Cruces Lajas Rodas	La Sierpe Yaguajay Cabaiguán Taguasco Jatibonico Fomento	Chambas Morón Baraguá Majagua Bolivia Ciro Redondo	Vertientes Florida Esmeralda Santa Cruz Céspedes Guáimaro
<u>LAS TUNAS</u>	<u>HOLGUÍN</u>	<u>GRANMA</u>	<u>SANTIAGO DE CUBA</u>
Manatí Tunas Amancio Majibacoa Jobabo Menéndez	Urbano Noris Banes Gibara Calixto García Mayarí Frank País	Urbano Noris Banes Gibara Calixto García Mayarí Frank País	San Luis Palma Contramaestre Mella La Maya Segundo Frente
<u>GUANTÁNAMO</u>	<u>ISLA DE LA JUVENTUD</u>		
Baracoa Guantánamo El Salvador Yateras San Antonio del Sur Niceto Pérez	(Incluye todo el municipio)		

**Figura 8.9.** Distribución de las provincias y municipios donde se concentran las mayores producciones de arroz del país

En algunos casos el arroz se cultiva utilizando las lluvias como el único aporte de agua (arroz en cultivo de secano, tabla 8.12). Sin embargo, por lo general la cantidad de agua necesaria para el cultivo es mayor que la que puede ser suministrada por las lluvias, incluso en primavera, y aunque fuera suficiente, su distribución irregular durante el cultivo en tiempo y cantidad no se corresponde forzosamente con las necesidades de la planta, que varían según la etapa vegetativa en que se encuentre, razones por las que generalmente se emplean los sistemas de riego para complementar el abastecimiento de agua. No obstante, el nivel de agua en los embalses vinculados a las empresas arroceras del país para el riego de las áreas, también depende de la lluvia.

Por otra parte, la lluvia dificulta la realización de labores como la preparación de la tierra (por la humedad del terreno) y la cosecha (por la humedad de los granos) y los aguaceros fuertes tienen, por lo general, efectos dañinos, porque pueden provocar el acamado de las plantas; comprometer la fecundación si coinciden con ella, dejando granos vanos en las espigas y, lavar los pesticidas de contacto, si se producen poco después de su aplicación.

En cuanto a la temperatura, para el arroz existe un valor óptimo de 30 °C, aproximadamente, que se corresponde con la mayor velocidad de crecimiento; sin embargo, el cultivo puede desarrollarse en un rango de temperaturas comprendidas entre 23 y 34 °C sin que su desarrollo se encuentre afectado.

La sensibilidad del arroz a las variaciones de temperatura depende de la etapa en que se encuentre su ciclo de desarrollo:

- Germinación. La temperatura mínima de germinación por debajo de la cual la semilla no es viable, varía de acuerdo con la variedad, pero ninguna variedad de la subespecie Indica puede germinar a una temperatura inferior a 13 °C y muchas variedades cultivadas en Cuba no germinan por debajo de 16 °C (por ejemplo, el IR-8), en tanto que la mayor rapidez de germinación corresponde al rango de 30 a 35 °C.
- Crecimiento. El crecimiento vegetativo se acelera bajo temperaturas crecientes de 15 a 30 °C, tanto para el tallo como para las hojas, y se retarda bajo temperaturas superiores a los 30 °C.
- Ahijamiento. En este caso la temperatura a tener en cuenta es la del agua, y no la del aire. La temperatura óptima de 30 a 32 °C corresponde a la mayor velocidad de ahijamiento.
- Fases de la reproducción. El momento de la floración puede ser atrasado por temperaturas inferiores o superiores al rango óptimo de 27-29 °C; la abertura de las glumelas en el momento de la fecundación, en condiciones normales de humedad relativa, se produce entre 22 y 32 °C, ocurriendo la polinización pocos segundos después con una temperatura más elevada y durante la formación de la panícula, las temperaturas bajas afectan tanto la formación de la flor, como la formación del polen o del embrión. En ambos casos, la consecuencia es un aumento del porcentaje de espiguillas (granos vanos), aunque temperaturas muy bajas pueden hasta impedir la salida de la espiga por lo que, en resumen, las temperaturas bajas afectan la formación de la inflorescencia y, como consecuencia directa, los rendimientos.
- Maduración. Una temperatura de 25 °C es la óptima para la maduración del grano.

El aumento del nivel medio del mar como consecuencia del derretimiento de los hielos y el aumento de la expansión térmica de los océanos, debidos ambos al aumento global de la temperatura, es un elemento adicional a las afectaciones que directamente puede originar el clima del país sobre la producción arrocerá, porque gran parte de ella se realiza en zonas bajas, mayoritariamente de muy poca pendiente, próximas a la región costera, factor al que es preciso añadir que la mayor parte de los acuíferos subterráneos del país son abiertos, con un libre intercambio de aguas con el mar y, de aumentar este su nivel medio, entonces los tenores salinos de las aguas subterráneas se elevarían en las regiones costeras y la cuña de intrusión salina aumentaría su nivel de afectación tierra adentro.

Una vez concluida la identificación de las principales variables climáticas que potencialmente pueden afectar la producción de arroz en el país fue acometida la identificación de sus comportamientos históricos y luego, la de la variación esperada durante el resto del presente siglo, a partir de los escenarios de clima disponibles en el país.

El análisis histórico de estas variables indicó que:

- El acumulado medio anual de lluvia del país durante el período 1960-2000 fue de 1 329,7 mm (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, 2007), disminuyendo con respecto a la primera mitad del siglo XX en 200 mm, equivalente a una reducción de 11,4%, presentando además variaciones en su distribución temporal. Posteriormente, la evaluación del período 1970-2010 indicó que el nivel del acumulado anual había continuado descendiendo hasta unos 1 000 mm, aumentando así la reducción con respecto a la primera mitad del pasado siglo hasta 33,3% (Oficina Nacional de Estadísticas, 2011).
- La temperatura media anual del aire durante el período 1980-2000 fue 25,2 °C, aumentando 0,6 °C con respecto al período anterior, pero la temperatura mínima del aire aumentó 1,4 °C en igual período (2,33 veces el aumento de la media), disminuyendo así el diferencial de temperatura (diferencia entre la máxima y la mínima) (INSMET, 2008 a).
- El nivel medio del mar ha registrado un aumento anual de 2,14 mm (Agencia de Medio Ambiente, 2010).

Mientras que el análisis de la variación esperada durante el resto del presente siglo, indicó que:

- Los diferentes escenarios evaluados presentan una acentuada coherencia en sus resultados, coincidiendo al indicar que el país evolucionará hacia un clima más seco y más caliente (INSMET, 2010).
- Los resultados del análisis del escenario A1C (IPCC, 2001) sobre la variación del nivel medio del mar para Cuba indicaron que hacia fines del presente siglo debe esperarse un aumento de 85 cm en las costas del país (Agencia de Medio Ambiente, 2010).

Al combinar las informaciones disponibles sobre las principales variables climáticas que potencialmente pueden afectar la producción de arroz y cómo lo harían, con el análisis histórico de su comportamiento y con el análisis de su variación esperada durante el resto del presente siglo, se evidencian como posibles impactos sobre la producción arrocerá los siguientes:

- La reducción de la disponibilidad de agua. La cantidad de agua necesaria para el cultivo es mayor que la que puede ser suministrada por las lluvias, incluso en primavera y ello obliga al empleo de sistemas de riego para complementar el abastecimiento de agua, los que en definitiva también dependen de las lluvias. Pero la tendencia histórica del acumulado medio anual de lluvia del país y sus escenarios hasta finales del siglo indican una disminución progresiva y sostenida de esta variable, por lo que cabe esperar reducciones progresivas de la disponibilidad de superficie de cultivo por aniego, la que solo parcialmente podrá ser sustituida por cultivos de secano, afectando progresivamente la magnitud de los totales de cosecha posibles.
- El aumento de la temperatura atmosférica. El crecimiento del arroz se retarda bajo temperaturas superiores a los 30 °C; la floración puede ser atrasada por temperaturas superiores a 29 °C y la maduración del grano se afecta progresivamente con temperaturas superiores a los 25 °C; sin embargo la tendencia histórica de esta variable indica que en algunos casos ya han sido superados los límites tolerables para la maduración, y los escenarios hasta finales del siglo señalan un aumento sostenido y progresivo de la temperatura, por lo que cabe esperar además, reducciones en los patrones de crecimiento y atrasos en la floración de las variedades utilizadas, lo que de conjunto conducirá a cosechas de menor calidad y menor magnitud total.
- El aumento del nivel medio del mar. De los principales 79 municipios productores de arroz del país (tabla 8. 21), 44 de ellos (56%) presentan zonas costeras y 26 (33%) se distribuyen en la costa sur del país, principalmente en las provincias de Pinar del Río (5 de 6), La Habana (5 de 6), Camagüey (3 de 6) y Granma (4 de 6) (figura 8.10). Cuando tal distribución es comparada con los impactos esperados del aumento del nivel medio del mar hasta el 2100 (figura 8.11), se evidencia la coincidencia existente en la costa sur de las provincias de Pinar del Río, La Habana, Camagüey, en toda la región del Golfo de Guacanayabo y en la Isla de la Juventud, comprendiendo un total de 21 municipios productores de arroz, de los que 12 están considerados entre los principales productores del país.

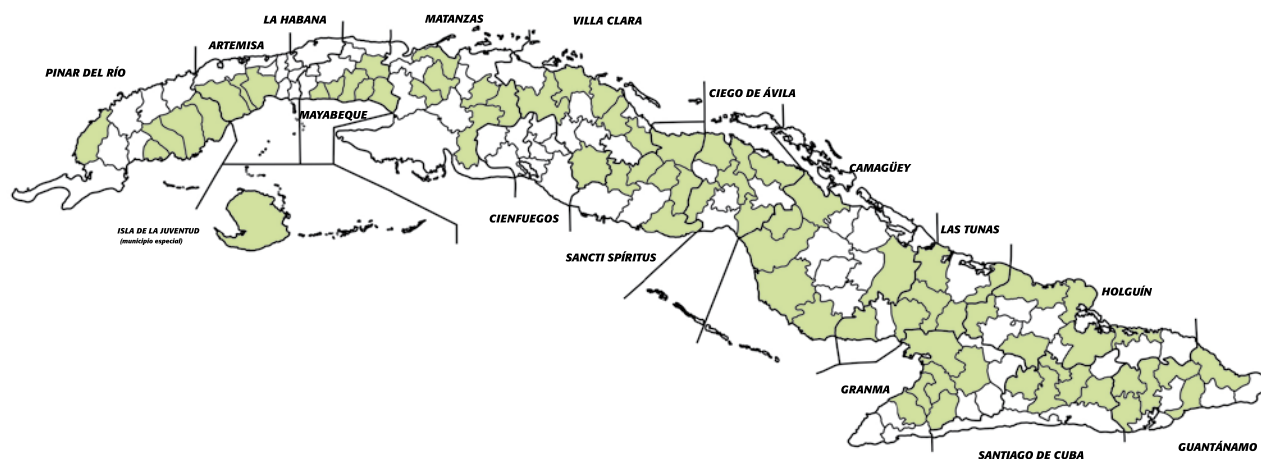


Figura 8.10. Distribución de los principales municipios productores de arroz del país



Figura 8.11. Principales zonas costeras afectadas por el nivel medio del mar al término del siglo XXI, bajo el escenario A1C (Agencia de Medio Ambiente, 2010)

Tal coincidencia significa que esos 21 municipios no solo se verán afectados porque perderán parte de su territorio costero que quedará bajo el mar y porque la línea de marea alcanzará mayores distancias hacia el interior de la costa, sino también porque la cuña de intrusión salina aumentará su penetración horizontal y vertical en los acuíferos subterráneos abiertos que allí existan, inutilizando parte de ellos para el regadío, mientras que en otros reducirá la calidad del agua al elevar sus tenores salinos, aspectos que de conjunto incidirán negativamente sobre la cantidad de tierra disponible, sobre las variedades utilizables, sobre los rendimientos alcanzables y finalmente, sobre la magnitud de la producción.

Rivero *et al.*, (2005) realizaron investigaciones acerca del impacto integrado del cambio climático sobre la producción de arroz en Camagüey empleando el modelo de cultivo contenido en el sistema DSSAT 3.0 para estimar los rendimientos del arroz con regadío para diversos escenarios de cambio climático, así como su consumo específico de agua de riego y los rendimientos de secano del cultivo. Independientemente estos autores hicieron una estimación sobre el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos de la región, basándose en un estudio anterior. Estos datos, más escenarios socioeconómicos independientes los utilizaron para alimentar la versión 2,0 del Modelo Integrado de Impacto Agrícola (MIIA 2,0) con y sin la adaptación de ir sembrando en secano las áreas para las cuales ya no se dispondría de agua para sembrar en condiciones de aniego.

Sus resultados sobre las estimaciones de la producción total de arroz con aniego en la Empresa Arrocería "Ruta Invasora" indicaron que esta decrecerá en el futuro en mayor proporción que los rendimientos agrícolas solamente y que una alternativa de adaptación consistente en sembrar en secano las áreas para las que ya no se dispondría de agua para la tecnología de aniego, era una opción viable que reducía considerablemente (pero no eliminaba) el impacto negativo del cambio climático sobre la producción total de arroz.

El conjunto de impactos identificados sobre la producción arroceras como consecuencia de la acción conjunta de la disminución de las lluvias, del aumento de la temperatura del aire y del aumento del nivel medio del mar indica la conveniencia de desarrollar acciones encaminadas a la obtención de nuevas variedades que conjuguen la adaptación a una menor demanda de agua, con una mayor tolerancia a la temperatura y a la salinidad.

Esa labor, desde su inicio hasta que el material comercial esté disponible para entregar a los productores, puede demandar entre 10 y 15 años de trabajo, lo que significa que las nuevas variedades serían liberadas en un momento próximo al inicio de la década de los años 30, cuando probablemente las condiciones climáticas ya no se correspondan con las actuales. Razón por la que a la necesidad de contar con nuevas variedades, será necesario añadir la condición de que para obtenerlas se tomen en consideración no las condiciones ambientales presentes, sino las esperables por los escenarios climáticos para ese momento, porque de lo contrario sus niveles de adaptación al estrés abiótico pudieran resultar inadecuados.

Sin embargo, a corto plazo también deben ser implementadas otras medidas, porque de los 3 176 hm³ de capacidad con que cuentan las fuentes de abasto de agua que irrigan 125,0 Mha de arroz en el país, se pierde entre el 50 y 55% debido a las condiciones técnicas de los 20,0 Mkm de canales que la conducen y, bajo una perspectiva de disminución creciente de las lluvias y aumento del nivel medio del mar, la atención a este tema es de vital importancia. Adicionalmente, sería conveniente valorar la posibilidad de cambiar la tecnología de cultivo por aniego por la de cultivo de secano en aquellas áreas donde los niveles de disponibilidad de agua fueran disminuyendo progresivamente.

8.3.3. IMPACTOS CLIMÁTICOS SOBRE LA PRODUCCIÓN TABACALERA

A partir de los escenarios climáticos de alta resolución disponibles en el país, así como del escenario sobre el aumento del nivel medio del mar, en la producción tabacalera fueron identificados cuatro tipos de impactos diferentes, asociados con:

a) El aumento de la temperatura atmosférica:

El aumento de la temperatura trae asociado la proliferación del hongo *Heliothis virescens*, la enfermedad de la pata prieta (*Phytophthora nicotianae*) y de *Fusarium* spp. en las plantaciones tabacaleras, provocando grandes afectaciones en la calidad y rendimiento del cultivo.

b) La disminución de las lluvias y de la humedad relativa:

El requerimiento hídrico del tabaco es superior a los acumulados de lluvia registrados en el período en que se produce y la capacidad de retención de humedad de los suelos, especialmente los dedicados a este cultivo en el occidente del país, es sumamente baja, razón por la cual es necesario aplicar riegos de acuerdo a los instructivos técnicos de cada tipo de cultivo para garantizar los rendimientos esperados y la calidad de la hoja, especialmente en las zonas productoras de la provincia La Habana y las localizadas en la región central del país.

En las áreas tabacaleras que no han tenido la posibilidad de rehabilitar sus suelos mediante las labores de riego (niveles de humedad requeridos para cada una de las fases por las que fue transitando el cultivo), se presentan sucesivos eventos

de marchitez temporal durante el día, a consecuencia de un exceso de la transpiración con respecto a la absorción, ya que además del déficit hídrico en los suelos, la disminución de la presión de vapor atmosférico evidenciada por los bajos porcentajes de humedad relativa del aire (fundamentalmente a las 13:00 horas), condiciona un agudo desnivel del gradiente del déficit de presión de vapor y por ello, es más intensa y duradera la transpiración. Sin embargo, no se debe descartar la posibilidad que en algunas áreas productoras, aun contando con las condiciones para efectuar los riegos necesarios, el marcado desbalance haya provocado incluso la disminución del potencial hídrico de las plantas y en consecuencia, los sucesos de marchitez permanente.

La sequía agrícola se caracteriza no solo por los espaciados y escasos eventos de lluvia, sino también por los bajos registros de humedad relativa del aire, muy por debajo de los valores normales, especialmente en las zonas tabacaleras localizadas en el centro del país.

Los bajos niveles de humedad, tanto en el suelo como en la atmósfera, repercuten no solo en la transpiración, sino también en la fotosíntesis, porque la reducción en el contenido hídrico de las hojas se traduce en la disminución de la actividad fotosintética, ya que los efectos del déficit de agua en los procesos de fotosíntesis son causados por la disminución en la hidratación de los cloroplastos y otras partes del citoplasma, así como por el cierre de los estomas. Además, el aumento del déficit hídrico hace disminuir el contenido de azúcar y aumentar el de nicotina y nitrógeno. Por todo lo anterior, un fuerte déficit de humedad durante el período de maduración del tabaco, puede influir notablemente sobre el valor de la cosecha.

c) El aumento en frecuencia e intensidad de los ciclones tropicales:

El viento afecta considerablemente la puesta de los tendales en la etapa de plantación y provoca el acamado de las plantas adultas, tanto en el tapado como en el tabaco al sol.

Con los fuertes vientos viene aparejado el traslado a largas distancias de las esporas del moho azul, considerada una de las principales enfermedades del cultivo, así como la erosión eólica, efecto especialmente importante en la zona más occidental del país porque:

- Además que el tipo de partícula predominante es la arena (por lo que califican como suelos arenosos), en muchas de sus áreas existe un relieve irregular (ligeramente ondulado, sin llegar a ser alomado), que propicia que estos suelos sean más susceptibles a este tipo de erosión, e incluso a la hídrica provocada por el impacto de fuertes lluvias y los ciclones tropicales, tan frecuentes en esta zona del país. Ello se debe a que el relieve facilita en gran medida el arrastre de las partículas del suelo que forman parte de su capa superficial, considerada como la más importante por ser en esta donde se realizan todas las labores de preparación y algunas de atención al cultivo. En ocasiones el arrastre es tan grande que los productores deben proceder a realizar la actividad de relleno, que consiste en tratar de emparejar hasta donde sea posible el suelo para disminuir el porcentaje de pendiente y atenuar al mismo tiempo, los impactos negativos que provoca la pérdida de parte o de toda la capa superficial del suelo en sus propiedades, su calidad y por tanto, en el desarrollo del cultivo.
- También es en esta capa (a veces denominada capa de aradura), donde se aplica la materia orgánica y habitan los microorganismos aerobios, encargados

de descomponerla y mejorar con la formación de ácidos húmicos sus propiedades. De hecho, en este tipo de suelos la materia orgánica se debe reponer con mayor frecuencia que en los otros suelos, para mantenerla en alrededor de 2,0-2,5%, que es el contenido mínimo que requiere el tabaco para su desarrollo normal en el campo.

En el proceso de curación del tabaco, los ciclones tropicales destruyen las casas de curación y afectan severamente la producción total de la cosecha, en tanto que las plantaciones de cedro y eucalipto en su etapa adulta (quedal y fustal), son muy dañadas por estos eventos climáticos extremos, provocando la caída y partidura de los árboles. El cedro, es el más afectado porque una vez dañado no se puede recuperar y se debe proceder a su tala, aunque no tenga la madurez necesaria para ser aprovechado.

d) El aumento del nivel medio del mar:

Este proceso, asociado al aumento de la temperatura atmosférica, lleva aparejada la salinización de los suelos y acuíferos por el aumento de la penetración, tanto vertical como horizontal, de la cuña salina en los acuíferos subterráneos, lo que conlleva que se perjudique la buena combustibilidad del tabaco. Sin embargo, en la provincia Artemisa, donde está ubicada la empresa *Lázaro Peña*, única productora en el país de la hoja para capa de los habanos de exportación, el aumento en la intrusión salina de los acuíferos puede tener importantes impactos negativos sobre las capacidades de exportación de este producto.

El diseño de un programa de enfrentamiento a este conjunto de impactos potenciales constituye un desafío técnico en el cual, entre otros aspectos, deberán quedar considerados:

- La valoración de los niveles de tolerancia o resistencia de las variedades actuales de tabaco a los efectos de *Heliothis virescens*, *Phytophthora nicotianae* y *Fusarium* spp.; al estrés abiótico generado por la disminución de la disponibilidad de agua y humedad, así como al aumento de la salinidad, lo que deberá estar combinado con la búsqueda de nuevas fuentes de variabilidad genética ante esos impactos.
- El empleo de barreras rompeviento perimetrales en las plantaciones, para atenuar los impactos sobre la calidad de los suelos.
- El aseguramiento del regadío a la mayor extensión posible de áreas productoras de tabaco, combinado con el empleo de sistemas tecnológicos que aumenten lo más posible la eficiencia técnica y biológica en el uso del agua.
- El rediseño de las casas para el curado, empleando materiales de mayor resistencia, con falso techo interno y un menor ángulo de inclinación de los techos, para atenuar los efectos del viento.
- La reducción, tanto como sea posible, de la ubicación de zonas productoras de tabaco en áreas próximas a las costas o susceptibles de ser afectadas por la intrusión salina de sus acuíferos subterráneos.
- La evaluación de la producción de capa para habanos de exportación, al menos en otras dos provincias, en adición a la de Artemisa.
- El desarrollo de una silvicultura intensiva con eucalipto, buscando que sin afectar la calidad final del producto, se acorte tanto como sea posible el turno de rotación de las plantaciones.

- La concentración de las plantaciones de cedro en las provincias de menores impactos históricos debidos a ciclones tropicales: Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey.

8.3.4. IMPACTOS CLIMÁTICOS SOBRE LA PRODUCCIÓN PORCINA

La temperatura corporal de los animales de sangre caliente se regula por medio de la tasa de irradiación de calor por la piel y por la evaporación del agua mediante la sudoración (evaporación a través de los poros de la piel) y el jadeo (evaporación a través de los poros de la boca).

Por estas razones el cerdo es un animal con una limitada capacidad termorreguladora, debido por una parte a que carece de un sistema que le permita la sudoración y por otra, por su potencialidad de acumular tejidos grasos debajo de la piel, los que aumentan su aislamiento térmico con el ambiente, razones que de conjunto lo hacen extremadamente vulnerable al aumento de la temperatura ambiental.

Las unidades porcinas especializadas, donde se manejan estos animales, están construidas cumpliendo las indicaciones técnicas establecidas en el Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina, según el cual las naves deben estar orientadas de Norte-Sur y tener 2,40 m de alto (interior); techos de canelones o fibrocemento a dos aguas y los aleros vierten hacia fuera; los pisos generalmente están hechos con rasilla y cemento y algunas unidades poseen la tecnología china conocida como *flan deck*.

Las características constructivas de estas unidades implican el empleo de cubiertas de poca resistencia ante fuertes vientos y elevado nivel de calentamiento solar, lo que se agrava por el generalmente predominante escaso arbolado existente en las áreas colindantes de las unidades.

Los principales impactos esperados en las diferentes categorías en la porcicultura cubana como resultado del aumento de la temperatura ambiental se presentan en la tabla 8.22, todos ellos conducentes a la disminución de los niveles productivos.

Tabla 8.22. Principales impactos del aumento de la temperatura ambiental sobre las categorías porcinas

CATEGORÍA	PRINCIPALES IMPACTOS ASOCIADOS AL AUMENTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL
Semental	<ul style="list-style-type: none"> - La calidad del semen tiene menor efectividad. - Disminución del apetito. - Muerte por infarto.
Reproductora	<ul style="list-style-type: none"> - Infertilidad. - Muerte embrionaria. - Estrés. - Disminución en la efectividad de cubrición. - Disminución del apetito. - Muerte por infarto.
Cría	<ul style="list-style-type: none"> - Muerte por enfermedades gastrointestinales. - Muerte por aplastamiento. - Disminuye el consumo de alimentos.
Preceba (lechones y lechonas)	<ul style="list-style-type: none"> - Enfermedades gastrointestinales. - Disminución del apetito. - Muerte por infarto.
Ceba (cochinatas y cochinatos)	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución del apetito. - Muerte por infarto.

La muerte por infarto originada por el aumento de la temperatura es un impacto común a cuatro de las cinco categorías de cerdos valoradas, con una repercusión directa sobre el tamaño del rebaño y la capacidad de reposición de las pérdidas, al afectar tanto a los sementales como a las reproductoras y del total nacional de unidades especializadas hoy existentes en el país, 36 de ellas (32%) están ubicadas en la región oriental, donde tanto las temperaturas actuales como las previstas por los escenarios de clima disponibles son más elevadas, lo que coloca en situación de riesgo al 71% del rebaño existente en el total de esas unidades y como parte de él, al 34% del total de reproductores (sementales + reproductoras) del sector estatal.

El aumento de la tolerancia de las razas de cerdo a las altas temperaturas constituye un empeño de limitadas posibilidades potenciales, debido a las características biológicas inherentes al propio animal, por lo que las medidas de adaptación deberán estar fundamentalmente orientadas hacia los aspectos ambientales propios de su crianza.

En tal sentido una primera medida a corto plazo pudiera perseguir una redistribución territorial de la carga por unidad especializada, de manera tal que mayor cantidad de animales sean ubicados en las provincias y municipios de la región centro-occidental, donde tanto los registros históricos como los previstos por los escenarios climáticos reportan valores menores.

Otra alternativa a considerar es un rediseño tal de las naves, que tanto su estructura como su cubierta y entorno favorezcan el menor calentamiento posible de su interior y en tal sentido, la sustitución de algunos de los materiales actualmente utilizados, una orientación adecuada tomando en consideración la dirección dominante de los vientos y el empleo de un apropiado sistema de cobertura arbórea circundante, tanto en especies como en distribución alrededor de la nave, pudieran dar lugar a una solución complementaria a la anterior.

8.4. CERTIDUMBRES, INCERTIDUMBRES, BRECHAS Y LECCIONES

En la valoración de los posibles impactos que cabe esperar que el cambio climático produzca sobre el sector agropecuario de un pequeño estado insular en desarrollo como Cuba, ha sido empleada una gama de métodos de investigación que incluyeron el análisis empírico, utilización de escenarios y de modelos físicos; sin embargo, los resultados alcanzados no tienen iguales niveles de certeza, porque mientras unos valoran hechos ya ocurridos, otros analizan posibles futuros alternativos.

8.4.1. CERTIDUMBRES

Las alteraciones biológicas registradas debidas al efecto del clima (como los cambios del rendimiento en la papa), son casos comprobados que además, indican que la consideración tradicional del clima como un factor cuasi constante en las investigaciones agrarias, donde la valoración de la importancia de sus efectos se circunscribía a la repetición temporal de los experimentos u observaciones por unos pocos años consecutivos, ha dejado de tener vigencia metodológica.

Este aspecto metodológico tiene repercusiones importantes sobre elementos conceptuales relacionados con las investigaciones orientadas a la obtención de somaclones, clones, variedades y Organismos Modificados Genéticamente (OMG) tolerantes o resistentes al estrés abiótico e incluso, al biótico, porque la liberación

comercial de tales materiales demora entre 10-15 años desde la fecha de inicio de las investigaciones y en tal período de tiempo, el material tolerante o resistente ante el estrés original, puede que ya no lo sea ante las condiciones existentes al final de las pruebas.

Tal situación obligaría a llevar a cabo evaluaciones y selecciones en instalaciones con condiciones climáticas controladas, capaces de simular las peculiaridades del clima futuro según los escenarios disponibles; sin embargo, los mejoradores genéticos generalmente no están suficientemente al tanto de esta situación y continúan trabajando de la forma tradicional.

Sin embargo, lo que sí se considera una certeza que no debe ser soslayada, es que el cambio climático ha comenzado a impactar el sector agropecuario cubano en sus niveles más básicos, a escala fisiológica, con manifestaciones externas verificables de que tales cambios están ocurriendo y en la medida en que otras investigaciones sean realizadas, nuevos argumentos respaldarán tal aseveración.

8.4.2. INCERTIDUMBRES

La valoración de riesgos siempre está asociada a eventos que están por ocurrir y por eso, adentrarse en el futuro implica incertidumbres que, en la medida en que el período valorado se aleje, aumentan.

Por tal razón los estudios de caso basados en el empleo de escenarios y modelos físicos están acompañados de la incertidumbre asociada a lo que realmente ocurrirá en el futuro y por tanto, su objetivo no es predecir el futuro, sino facilitar una estimación, al menos, de los límites extremos entre los que la realidad podrá ocurrir.

Con la conciencia de esa incertidumbre es que se valora los riesgos que podrán enfrentar en el futuro la producción de arroz y la producción porcina.

Las evidencias registradas y presentadas demuestran que el aumento de la temperatura del aire y del nivel del mar en las costas cubanas, así como la reducción de las lluvias, no son hipótesis sino realidades que vienen ocurriendo desde al menos, mediados del pasado siglo y las causas que las originan lejos de disminuir, aumentan, lo que tiende a reforzar estas estimaciones de los límites extremos de la realidad futura.

8.4.3. BRECHAS

En ocasión de la Primera Comunicación Nacional (PCN) a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático, en el 2001, las evaluaciones de los impactos esperables sobre el sector agropecuario contaron con el análisis realizado por el Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, mediante modelación, de la evolución esperable de los rendimientos y producciones de un conjunto de cultivos papa (*Solanum tuberosum* L.), frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), soya (*Glycine maximum* (L.) Merr.), yuca (*Manihot esculenta* Crantz), arroz (*Oryza sativa* L.), caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.), maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), millo perla (*Pennisetum americanus* (L.) Leeke) y caupí (*Vigna unguiculata*), lo esperable en relación con la biomasa aérea de los pastos y, con el comportamiento de algunas plagas, actividades en las que también participaron dos instituciones científicas del Ministerio de la Agricultura.

Concluidas las acciones que dieron lugar a la Primera Comunicación, los pocos centros científicos del MINAG vinculados a ella cesaron sus actividades en relación

con el tema del cambio climático, siendo continuadas solo por el Departamento de Agrometeorología del Instituto de Meteorología.

A finales del 2008 se iniciaron las acciones encaminadas a la preparación de la Segunda Comunicación Nacional y durante el 2009, la Dirección de Ciencia y Técnica del MINAG acometió la creación de la Red Agraria de Cambio Climático (RACC), con la misión de coordinar y facilitar la investigación, la capacitación, la mitigación y la adaptación al cambio climático en el sector agrario y como primera actividad a desarrollar, inició la implementación de un programa de creación de capacidades sobre cambio climático en todos los centros científicos que tributarán resultados al Ministerio de la Agricultura, a la par que acometió la identificación de las producciones agrarias que serían consideradas prioritarias a la luz de este tema y entre ellas, seleccionó las de papa, arroz, tabaco y carne de cerdo para participar, de manera directa, en la Segunda Comunicación.

Este lento accionar de los centros científicos que tributan resultados al Ministerio de la Agricultura, debido a la falta de identificación del enfrentamiento al cambio climático como una demanda prioritaria de la seguridad alimentaria del país, ha constituido la mayor y principal brecha existente entre la Primera y la Segunda Comunicación Nacional, condicionando que la diferencia cualitativa entre ambos informes haya estado muy por debajo de lo que potencialmente pudo ser alcanzado.

8.4.4. LECCIONES

¿Qué se ha aprendido durante los últimos 10 años sobre la posibilidad de evaluar los impactos del cambio climático en los bosques nacionales?

La **primera lección** derivada de todo el trabajo realizado es que la identificación de los impactos esperados del cambio climático y la formulación de un plan de enfrentamiento a ellos para disminuir sus efectos negativos tanto como sea posible, constituye una prioridad inaplazable para la actividad agroalimentaria del país, máxime cuando se trate de un pequeño país insular en desarrollo.

La **segunda lección** obtenida a partir del 2009 es que la obtención de los resultados que constituirán aportes a la Comunicación Nacional, tienen que ser consecuencia de la labor ininterrumpida de un equipo dedicado permanentemente a esa actividad, aun cuando su dedicación no tenga que ser exclusiva y que tal equipo requiere, en el caso del sector agropecuario, representantes de cada una de las producciones que lo integran, tanto agrícolas, como pecuarias, así como de los sectores cuya acción es transversal a esas producciones, como es el suelo, el agua, el transporte y otros, porque ninguno escapa a los impactos del cambio climático y porque la formulación de las estrategias de adaptación requieren la integralidad para ser objetivamente funcionales.

La **tercera gran lección** es que la contribución de los estudios de impacto no puede restringirse al plano técnico y académico, sino que su ejecución requiere el análisis y la discusión participativa, el involucramiento de quienes serán los principales afectados por los impactos, para que estén presentes en la obtención de información, identifiquen y valoren los impactos y finalmente, decidan si la estrategia de adaptación propuesta se ajusta o no a sus realidades y expectativas o, de ser necesario, en qué forma y medida esta debe ser complementada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia de Medio Ambiente (2010): Resultados del macroproyecto Peligros y Vulnerabilidad Costera (2050-2010) al término del año 2009. AMA, CITMA, La Habana, Cuba.
2. Centella, A.; J. Llanes; L. Paz; C. López y Miriam Limia (2001): Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. República de Cuba. 166 p.
3. Grupo de Producción Porcina (2007): Base de datos de la composición nacional del rebaño. GRUPOR, MINAG, La Habana, Cuba.
4. Grupo Empresarial de Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos (2011): Parte diario de embalses: 1º de junio de 2010. GEARH, INRH, La Habana, Cuba. 10 p.
5. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (2007): Boletín Hidrológico enero-diciembre. Dirección de Cuencas Hidrográficas, INRH, La Habana, Cuba.
7. INSMET (2008 a): Base de datos del clima. Período 1981-2000. INSMET, CITMA, La Habana, Cuba.
8. INSMET (2008 b): Suministrador de Climas Regionales para los Estudios de Impacto. <http://precis.insmet.cu/Precis-Caribe.htm>.
9. INSMET (2010): Base de datos del sistema PRECIS para Cuba.
10. Instituto de Investigaciones de Granos (2011): Versión para el informe de cambio climático: Cultivo arroz. IIG, MINAG, La Habana, Cuba. 15 p.
11. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (2011a): Informe sobre impactos, adaptación y vulnerabilidades al cambio climático. IAgriC, MINAG, La Habana, Cuba. 5 p.
12. Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola (2011b): Análisis de la eficiencia en el uso de agua para el riego en los principales cultivos agrícolas de las áreas del MINAG: 2007-2010. IagRIC, MINAG, La Habana, Cuba. 8 p.
13. Instituto de Investigaciones del Tabaco (2011): Informe de Tarea del Proyecto Segunda Comunicación Nacional: Sector Tabaco. IIT, MINAG, La Habana, Cuba. 22 p.
14. Instituto de Investigaciones en Riego y Drenaje (2005): Programa para enfrentamiento y mitigación de la sequía en el sistema productivo del Ministerio de la Agricultura. IIRD, MINAG, C. Habana, Cuba. 17 p.
15. Instituto de Investigaciones Porcinas (2011a): Composición del rebaño porcino al término del 2007. IIP, MINAG, La Habana, Cuba. 2 p.
16. Instituto de Investigaciones Porcinas (2011b): Resumen técnico de país: Sector porcino. IIP, MINAG, La Habana, Cuba. 13 p.
17. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (2011): Informe Cambio Climático: Cultivo de la papa. INCA, MES, La Habana, Cuba. 14 p.
18. Instituto de Suelos (2011): Diagnóstico de los suelos de Cuba. Minag. La Habana, Cuba. 26 p.
19. IPCC (2001): Special Report on Emissions Scenarios. IPCC WGIII. 35 p.
20. MINAG (2011): Composición del rebaño a nivel nacional al término del año 2007. Registro Pecuario, MINAG, La Habana, Cuba. 5 p.
21. Oficina Nacional de Estadísticas (2008): Anuarios Estadísticos de Cuba y sus Territorios 2007. Versión digital.
22. Oficina Nacional de Estadísticas (2011): Anuarios Estadísticos de Cuba y sus Territorios 2010. Versión digital.
23. Rivero, R. E.; Z. I. Rivero y R. R. Rivero (2005): Impacto Integrado del Cambio Climático sobre la Producción de Arroz en Camagüey. En: Memorias del III Encuentro Internacional de Arroz y III Congreso Nacional de Arroz. La Habana, Cuba, 6 al 10 de junio. 5 pág.



Agricultura urbana
Foto: Mario González

ASENTAMIENTOS HUMANOS Y USOS DE LA TIERRA

9.1. EVOLUCIÓN DEL USO Y TENENCIA DE LA TIERRA

La evolución del uso y la tenencia del recurso tierra en Cuba comienza con la etapa precolombina, cuando, según documentos de la época colonial, los bosques ocupaban más del 90% de la superficie en la Isla; situación que comenzó a transformarse durante la colonización española, donde el desarrollo de la agricultura y la adjudicación de la propiedad territorial, desencadenaron un proceso de explotación del recurso que inició su deterioro.

Durante la segunda mitad del siglo XVIII, la producción azucarera se consolida como principal actividad agrícola, con un intenso proceso de ocupación de las tierras en la región oriental, que fue acompañado de la tala indiscriminada del bosque, e inició un proceso sostenido de pérdida de agro productividad (Rodríguez, C. *et al.*, 2001). Ante el empuje de la industria azucarera, el cultivo del café se desplazó a las montañas, básicamente de la región oriental, para dar lugar a otro proceso de tala, que agregó el problema de una rápida erosión de los suelos; mientras, en el llano occidental se establece el cultivo del tabaco, y se intensifica la producción de alimentos y provisiones para la flota española que, durante meses, se reunía en el puerto de La Habana; y la ganadería se relocaliza en los suelos agrícolas degradados, o nuevas áreas taladas para la explotación de maderas preciosas.

En el siglo XIX los bosques ya ocupaban solo el 55% de la tierra del país, esta reducción contribuyó al deterioro ambiental, cuestión que era evidente para los habitantes de la Isla desde el siglo anterior. Durante la primera mitad del siglo XX (1898-1958), finalizada la era colonial, se extendieron los latifundios cañeros y ganaderos, principalmente en los llanos del centro y oriente, a cuenta de los bosques que aun quedaban, y su área total se redujo a menos del 14% de la superficie total del país. En esta época se agudiza la degradación de las zonas montañosas, se inicia la depresión de la actividad cafetalera ante el lavado de los suelos, y se produce un crecimiento importante del conjunto de ciudades e infraestructuras técnicas, que a cambio de mejorar la conectividad, ocuparon grandes superficies de tierras, acompañadas de un inexorable proceso de deforestación; además se afectan los humedales con la extracción del mangle para la producciones de leña y carbón, fundamentalmente.

En la segunda mitad del siglo XX (1959-2000), con el proceso revolucionario, se realizaron dos reformas agrarias, a partir de las cuales los grandes latifundios pasaron a ser propiedad estatal, para convertirse en grandes empresas especializadas, que habrían de impulsar ambiciosos programas de desarrollo y producción de alimentos con fines de autoabastecimiento e intercambio comercial, en particular azúcar y cítricos. En esta etapa se conciben los primeros planes de ordenamiento territorial para las zonas agropecuarias; se intensifica la mecanización de la agricultura; se abre paso la quimización de la agricultura; y se impulsan programas inversionistas para la producción nacional de los insumos necesarios para el modelo agropecuario en desarrollo.

Estas acciones, en ocasiones, no tuvieron en cuenta las investigaciones y las condiciones locales para su implementación, y terminaron agudizando los fenómenos de deterioro de los suelos y de las aguas subterráneas, a pesar del proceso de recuperación forestal, que también se había iniciado. Dicho fenómeno desarrolló un modelo agropecuario dependiente del suministro de abonos y riego, entre otros, para compensar la insuficiencia de su productividad natural, repercutiendo en la drástica reducción de los niveles de producción. Las técnicas de producción se ajustaron a las posibilidades locales, se incrementaron las áreas de tierras ociosas, hasta que en el año 1994, tiene lugar un nuevo proceso de socialización, con la creación de las Unidades Básicas de Producción Cooperativa (UBPC).

Ante el hecho de que esta medida tampoco logró elevar las producciones alimentarias a los volúmenes necesarios, en el año 2008 se produce otro reajuste del modelo de producción agropecuaria, y se pasa a la entrega de tierras ociosas en usufructo, con lo que se espera estimular el desarrollo de cultivos alimentarios de primera necesidad, y elevar la capacidad de autoabastecimiento alimentario y la resiliencia ante los efectos negativos que se pueden esperar de las modificaciones del clima, con incidencia en la modificación de la estructura y diversificación de técnicas de laboreo y uso del recurso tierra.

9.1.1. LA CAPTACIÓN DE CARBONO POR BOSQUE Y OTROS ÁRBOLES PERENNES

Manso *et al.*, (2001), estimaron la estructura porcentual, en términos de capacidad de absorción de CO₂, de las superficies cubiertas por bosques naturales, plantaciones forestales y frutales de tronco leñoso. Hasta el año 1990 existía una situación cercana al equilibrio entre la absorción y las emisiones de CO₂; más del 88% de la absorción era asumida por los bosques naturales, en particular los manglares y los bosques planifolios, que aun quedan en los ecosistemas de montaña, junto a aquellos surgidos del amplio proceso de reforestación que en el año 2010, ya sobrepasaba el 26,8% del total de la superficie nacional.

Los efectos actuales de la variabilidad climática, particularmente la mayor frecuencia de sequías intensas, las precipitaciones altas e intensas y las inundaciones que estas derivan han facilitado el desarrollo de procesos de degradación del suelo a través de la erosión, por el lavado de tierras muy secas, desprovistas de vegetación arbórea, que conduce a procesos de desertificación. Este proceso constituye un avance de lo que pudiera esperarse con el cambio climático, de no asumirse una actitud responsable y preventiva, y estas condiciones se hicieran permanentes.

9.1.2. USO DE LA TIERRA

Debido al cambio climático los procesos de sequía se intensificarán y se desplazarán hacia el occidente progresivamente, también el incremento de la temperatura del aire afectará a las cosechas de cultivos que actualmente forman parte de la canasta básica; aspecto que obliga a reorganizar el uso de la tierra, asimilar variedades más resistentes e incluso pensar en la introducción de otros cultivos que se desarrollen bien en las nuevas condiciones climáticas.

El uso de la tierra y su dinámica se estudia en el Balance de Uso de la Tierra (Álvarez, C. *et al.*, 2001), que recoge la ocupación del espacio en superficie agrícola por cultivos; superficies ociosas, boscosas, así como las ocupadas por asentamientos humanos e infraestructuras de todo tipo. Este balance permite conocer la ocupación del suelo por categorías y, por comparación con los anteriores, la dinámica de su evolución. Además constituye un instrumento para reconocer e implementar, desde hoy, las acciones imprescindibles para la adaptación de las actividades agropecuarias ante las exigencias de nuevos patrones climatológicos, que aun no están totalmente esclarecidos en las escalas regional y local, hay señales inequívocas de su existencia.

El agua es un recurso deficitario en muchas zonas del país, y su demanda crecerá en las condiciones climáticas esperadas, a la vez que disminuirá su disponibilidad. En Cuba se están ejecutando acciones, medidas e inversiones, para mejorar la distribución del agua, en particular para satisfacer las necesidades de riego en las zonas más intensamente afectadas por sequías, de lo contrario habría que renunciar a estas producciones, e incluso a la permanencia de la población en estos territorios. De igual forma, en proyectos urbanísticos y de diseño constructivo se deben incluir las soluciones que podrán dar respuesta a las exigencias del confort humano, por el régimen de temperaturas al que se verán sometidos viviendas e inmuebles en los próximos 50 o 100 años. Es imprescindible un mayor aprovechamiento de las precipitaciones y obras adecuadas al nuevo régimen climático.

La ganadería también requiere se determine la forma de manejo más adecuada, con técnicas de explotación sostenibles, que permitan garantizar la protección del medio ambiente y el alimento de una masa ganadera acorde a las demandas de la población, con capacidad para soportar el impacto de las consecuencias del cambio climático. La disponibilidad de información cartográfica de la evolución del uso y tenencia de la tierra en escalas más detalladas es aun limitada, una mejora en tal sentido, permitiría pasar de la disposición exclusiva de balances anuales alfanuméricos sobre la distribución y empleo del recurso tierra a su expresión en una cartografía digital actualizable con periodicidad.

Entre las acciones de adaptación recomendables, se imponen las dirigidas a: la diversificación de los cultivos; la mejora de las condiciones de los suelos; la introducción y desarrollo de variedades resistentes al nuevo escenario de temperaturas; el control de plagas; la defensa de las producciones y el manejo blando de los suelos. Sin embargo, los niveles de producción que será necesario alcanzar, dependerán en mayor medida de las inclemencias o potencialidades, resultado del comportamiento de las variables meteorológicas que imponen mayor racionalidad del uso del suelo, la actividad integrada de cultivos y el empleo de tecnologías ahorradoras de agua.

La reorganización de la tenencia de la tierra en el país y, particularmente del sector cooperativo, debe contribuir a mejorar y conservar las cualidades del recurso tierra; lograr un mejor y mayor uso del recurso y la elevación de los rendimientos agrícolas. Ahora se tratará de garantizar niveles aceptables de producción, sin excesos de fertilizantes químicos y maquinarias, a un menor costo en términos de deterioro del estado natural del suelo, y hasta restituirle sus condiciones iniciales. En lo sucesivo el cambio climático impondrá nuevas consideraciones en los sistemas de producción, que deberán corresponderse a las necesidades del nuevo escenario de clima y hacer corresponder las características y posibilidades de adaptación de los cultivos a la

vocación de los suelos, es clave en el éxito del ordenamiento del territorio agrícola y no agrícola del país.

Para las tierras de la zona oriental que son actualmente las más afectadas, donde se espera una agudización de los fenómenos de sequía, deben valorarse detenidamente las soluciones para lograr una adaptación de cultivos; la utilización de prácticas de laboreo adecuadas, la identificación de las variedades de cultivos, así como las soluciones para la estabilidad y permanencia de la población y los rebaños ganaderos en estos territorios, que además tienen una presencia muy significativa de ecosistemas sensibles, donde la falta de adaptación puede provocar afectaciones más dañinas.

La modalidad de la agricultura urbana, desarrollada en la última década, debe conciliarse con el uso prospectivo de las áreas libres en el casco urbano, y el abasto de agua actual y futuro, acorde con el potencial hídrico de cada localidad, y ajustar los volúmenes y estructura de la producción para el consumo de una población ubicada en sus proximidades. El proceso no debe olvidar que este es un uso más de la tierra, y que en lo adelante, clasifica como un área funcional más de la ciudad, y para su dimensionamiento deben contar también con el carácter del cambio climático esperado y la adaptación sucesiva al mismo.

El ascenso del nivel medio del mar estimado los años 2050 y 2100 (0,27 m y 0,85 m), impondrán la pérdida de una parte de la superficie del país, que puede llegar a ser del 2,32% y 5,45% respectivamente; a ello se unirá la pérdida de otras superficies en cayos e islots del archipiélago. Las áreas más afectadas serán las zonas de ciénagas, ocupadas actualmente por formaciones boscosas de manglares, las ciénagas de herbazales, así como territorios costeros sumamente bajos, donde se dañarán algunos asentamientos poblacionales costeros, y habrá un daño importante para los bosques de mangle que ahora actúan como sumideros de CO₂ y como defensa contra la erosión de las costas por el mar.

Otro efecto, indeseable de la elevación del nivel del mar será la salinización de tierra y los acuíferos, contra lo que se deberán tomar previsiones en aquellos territorios con predominio de rocas calizas, acuíferos subterráneos abiertos al mar, ubicados en costas bajas o en zonas con movimientos neo tectónicos descendentes, donde hay condiciones favorables para el retroceso de la línea de costas. En estos lugares se hace más complejo el tema del abasto y uso de las aguas subterráneas para satisfacer las demandas de la población y los asentamientos de las localidades próximas a las costas y de las grandes concentraciones urbanas dependiente de estas fuentes. Un ejemplo es la Cuenca Sur de las provincias Artemisa y Mayabeque y el servicio de agua a la capital del país, ubicada en la costa Norte de estas provincias (solución regional) y que debe ser monitoreado de forma sistemática, para evitar exceso de tenores de sales en el recurso que se extrae, tanto para uno u otros consumos, atendiendo a las demandas siempre crecientes, cuya situación se agravará si no se logra incluir tecnologías ahorradoras y se resuelven los problemas de ineficiencia de los sistemas de abasto y distribución.

La implementación de muchas de las medidas de mejoramiento del drenaje superficial e interno de los suelos, permitirá a mediano y largo plazos el adecuado desarrollo de los cultivos, en busca de alcanzar los rendimientos requeridos según la agro productividad de los suelos, y una mayor disposición de alimentos para animales y población, mayor autosuficiencia alimentaria en general, que permitan producciones para otros destinos y a su vez lograr una menor vulnerabilidad de los elementos en exposición.

9.1.3. USO ACTUAL DE LA TIERRA Y NIVEL DE EXPOSICIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

El mapa de la figura 9.1 muestra el comportamiento simultáneo de los diferentes tipos de limitantes de suelos, y las categorías cualitativas de intensidad de la degradación del recurso tierra por municipios. Según Rodríguez, C. (2008), estos son los elementos que, junto al balance de uso de la tierra y la distribución espacial de los ecosistemas sensibles, permitieron hacer una evaluación general del recurso tierra en cuatro niveles de vulnerabilidad, que a priori, posibilitan tener identificados la diversidad local para enfrentar los eventos esperados según el escenario de cambio climático.

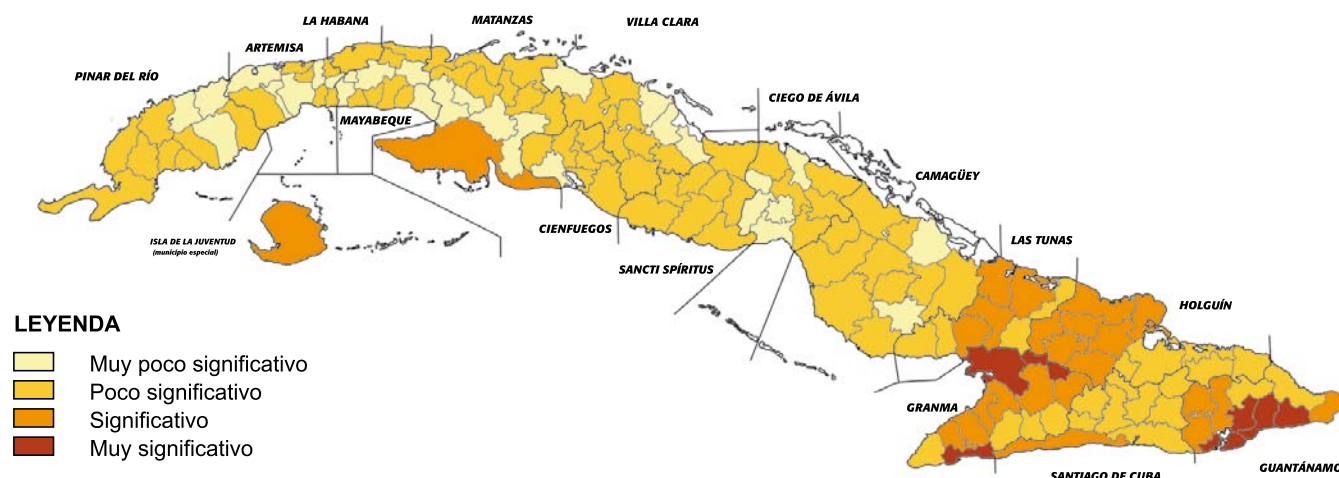


Figura 9.1. Grados de limitaciones integradas del recurso suelos para soportar el cambio del clima

En el mapa se clasifica por los siguientes niveles de vulnerabilidad:

- **Muy Significativa**, siete municipios ubicados en la cuenca del río Cauto y la costa sur de la provincia de Guantánamo y Granma.
- **Significativa**, 25 municipios situados principalmente en la región oriental, en zonas donde prevalecen suelos muy afectados por un uso reiterado en caña y ganadería; en municipios de zonas montañosas y en el municipio de la Ciénaga de Zapata.
- **Poco y muy poco Significativa**, 123 municipios básicamente de las regiones central y occidental del país, donde la línea de base ambiental está menos afectada y donde se espera que los efectos del cambio climático sean menos agresivos, respecto a las otras zonas con situaciones de partida ya más complejas.

La situación actual del recurso tierra requiere de la implementación de medidas de rehabilitación y adaptación con que revertir su estado actual, los proyectos de manejo sostenible de la tierra que se implementan en la actualidad están dirigidos a buscar soluciones factibles, acordes a las posibilidades, económicas y prácticas, del país para que puedan ser implementadas en la agricultura cubana del presente; sobre todo, cuando se gestan cambios importantes en el uso y la tenencia de las tierras, que repercutirán en el Balance de Uso de la Tierra, con la aparición de nuevas producciones, como la soya; y la posibilidad de atenuar los daños causados por el hombre en el proceso histórico de asimilación de los territorios.

En tal sentido, nuevas urbanizaciones apuntan a un crecimiento al interior de las ciudades, en busca de mayores densidades y de la reducción del uso de tierras agrícolas; evitando una expansión incontrolada que produzca nuevas ocupaciones de tierra, que una vez urbanizadas no podrán volver a tener el uso agrícola que les caracterizó antes.

9.1.4. IMPACTO DEL ASCENSO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

En los últimos años se ha profundizado en las investigaciones para conocer la magnitud de las afectaciones en los territorios costeros del país por el ascenso del nivel medio del mar. Por las disímiles características de las costas cubanas, el impacto y las afectaciones esperadas en estas difieren de un territorio a otro, y en consecuencia difiere el nivel de intervención en ellas y hace necesario precisar con antelación las políticas de ordenamiento territorial y de otro tipo (figura 9.2).

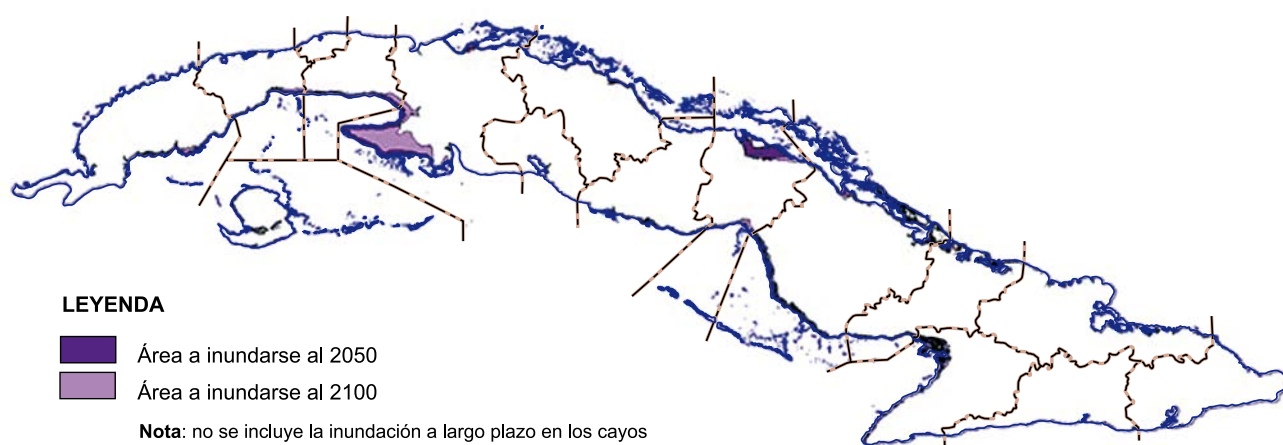


Figura 9.2. Archipiélago cubano y las franjas de inundación por cambio climático años 2050 y 2100

La superficie total de afectaciones en asentamientos humanos puede llegar a ser de 37,21 km²; cifras que se irán ajustando en la medida que se disponga de estudios cartográficos más exactos. En general, las superficies agrícolas costeras están resguardada de los efectos del ascenso del nivel medio del mar, porque se encuentra en alturas superiores a los 0,85 m de ascenso estimados para el año 2100; por la presencia de una barrera protectora de manglares y porque la lentitud del proceso permite ir retirando los cultivos de las zonas que van a quedar sumergidas; no obstante, todavía es un proceso que se está estudiando.

9.2. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN

El tamaño de la población en Cuba muestra signos de estancamiento, y los pronósticos refieren una disminución en el número total de habitantes. Este es un proceso bien establecido, sobre el que distintas instituciones especializadas realizan estudios, para hacer recomendaciones de cómo el país puede conciliar sus líneas de desarrollo con esta realidad. La recomendaciones son de tipo económica y social, porque este problema va acompañado de un proceso muy rápido de envejecimiento de la población, que requerirá de una infraestructura adecuada para atender necesidades específicas de la edad avanzada, que además les convierte en un

grupo más vulnerable, ante eventos severos provocados y/o reforzados por el cambio climático para el escenario cubano.

9.2.1. TAMAÑO DE LA POBLACIÓN

La población de Cuba ha estado creciendo a ritmos cada vez más lentos hasta llegar a un punto de franco estancamiento; para en poco tiempo comenzar a acelerar la reducción de su tamaño, como se aprecia en la tabla 9.1. Esto ocurre de forma menos acelerada para los asentamientos urbanos, descontando la ciudad de La Habana; no obstante ya desde el año 2007 las estadísticas de población han reportado un descenso en la cifra total de habitantes del país.

Entre los asentamientos urbanos están las capitales provinciales y las cabeceras municipales, que fueron protagonistas de un proceso de descentralización de las inversiones con el objetivo de lograr focos de desarrollo que contribuyeran a paliar las desigualdades territoriales que el país había heredado, y con ello amortiguar el crecimiento de la capital del país. También crecieron asentamientos urbanos sin categoría político administrativa, prácticamente inexistentes en 1970; que facilitan el acceso de la población de los municipios a servicios de mayor frecuencia de uso, y permiten la concentración de la población en asentamientos urbanos, pero con regulaciones urbanísticas menos exigentes que en las cabeceras municipales o las capitales provinciales.

Tabla 9.1. Dinámica del tamaño de la población* en Cuba

FECHA	POBLACIÓN TOTAL	CIUDAD DE LA HABANA	RESTO URBANO	RURAL
1970	8 569 121	1 786 522	3 401 327	3 381 272
1981	9 723 605	1 929 432	4 782 598	3 011 575
1992	10 829 320	2 173 086	5 892 080	2 764 154
2002	11 200 388	2 204 028	6 291 975	2 704 385
2008	11 236 099	2 148 132	6 316 763	2 771 204
2020	11 190 082	2 042 925	-	-
2030	11 039 619	1 992 618	-	-
TASA DE CRECIMIENTO				
1970 -1981	1,16	0,70	3,15	- 1,05
1981-1992	0,98	1,09	1,91	- 0,78
1992-2002	0,34	0,14	0,66	- 0,22
2002-2008	0,05	- 0,43	0,07	0,41
2008 -2020	- 0,03	- 0,42	-	-
2020 -2030	- 0,14	- 0,25	-	-

* Se utiliza la información del 31 de diciembre de cada año, excepto 1970 y 1981

Fuente: Elaborada de JUCEPLAN, 1976; CEE, 1984; ONE, 2007; ONE 2009 y ONE 2009

Los asentamientos urbanos que más crecieron fueron los de 20-50 mil habitantes, que de 1953 a 1981 crecieron 2,6 veces, en cantidad de asentamientos y de población; así como los mayores de 100 mil habitantes, que de 1970 a 2002 crecieron 2,2 veces en cantidad de asentamiento y 2,6 en población. La población rural crece sostenidamente en los asentamientos entre mil y 5 mil habitantes; y de 1970 a 2002

los asentamientos menores de 200 habitantes se reducen en 4,4 veces y la población dispersa se mantiene decreciendo. Lo anterior ha contribuido a elevar el índice de concentración de la población y de condiciones de vida en asentamientos urbanos que ya residía el 75,3% de la población en 2008. No obstante, debe señalarse que la apertura económica actual hacia el sector privado, marcadamente dirigida al sector de los servicios, es un elemento que debe ser considerado para establecer de forma oportuna, las acciones de adaptación para el largo plazo.

Para analizar el comportamiento de la población radicada en ecosistemas frágiles se trabajó con las mismas definiciones que utilizaron Pérez, A. *et al.*, (1999), pero las áreas ocupadas por estos ecosistemas han sido delimitadas con cartografía más precisa, de modo que los asentamientos considerados no tienen que coincidir exactamente con los estudiados por los mencionados autores. La tabla 9.2 muestra que el crecimiento de la población en estos ecosistemas se ha estancado, como en el resto del país; pero hay algunas diferencias cuando se separan las tasas de crecimiento urbanas y rurales.

Tabla 9.2. Dinámica del tamaño de la población en ecosistemas frágiles

FECHAS	HUMEDAL	SECO SEVERO	MONTAÑA		COSTERO
			EN MACIZOS	A MÁS 200 M	
1981	1 035 877	35 356	722 248	130 785	3 090 697
2002	1 311 006	49 041	1 001 232	180 901	3 696 571
Tasas de crecimiento 1981-2002 (por cien)					
Total	1,13	1,57	1,57	1,56	0,86
Urbana	1,1	1,3	1,4	1,8	0,8
Rural	1,3	2,3	2,0	1,4	1,8
Grado de urbanización (%)					
2002	98,0	67,4	71,2	29,2	98,9
Asentamientos urbanos (%)					
2002	37,4	11,7	3,0	1,8	34,7

Fuente: Elaborada de CEE, 1984; ONE, 2007

Como asentamientos en humedales se tuvo en cuenta a todos los ubicados en territorios bajos, aunque solo estuviera en ellos una parte del asentamiento, de ahí lo populoso de este ecosistema, que tiene y mantendrá en lo sucesivo dificultades para el hábitat, en lo ambiental y en lo constructivo. En el ambiente seco severo se consideró todo el sur de la provincia de Guantánamo, en su llanura costera. En la montaña se identificaron dos grupos de asentamientos, los ubicados en los macizos montañosos; y los ubicados a partir de 200 m de altura dentro de estos macizos. Mientras que como asentamientos costeros se identificaron todos los que están hasta 1 000 m de distancia de la línea de costa y parte de su superficie está hasta 1 m de altura sobre el nivel del mar.

9.2.2. ENVEJECIMIENTO DE LA POBLACIÓN

La población cubana tiene niveles muy altos de envejecimiento (superior al 15%), y la figura 9.3 muestra que este proceso, se distribuye desigualmente en el territorio nacional, las provincias orientales están menos envejecidas que las centrales y las occidentales, y dentro de las provincias, el comportamiento es desigual entre las zonas urbanas y las rurales.

Según Hernández, R., (2009), que los cambios en la esperanza de vida y en la fecundidad modificaron la estructura de la población, que pasó de la piramidal clásica, donde predominan las edades más jóvenes, a una estructura más vertical, que se va asemejando a un cilindro, como se muestra en la figura 9.3.

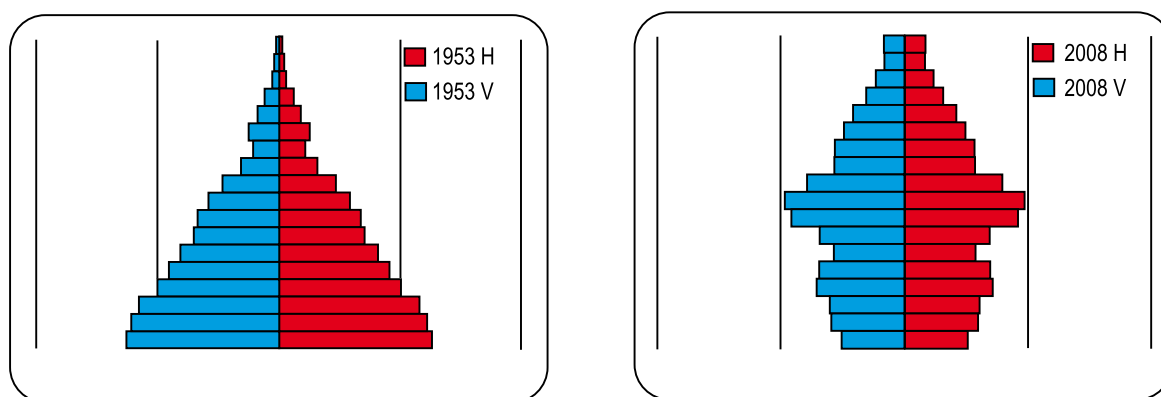


Figura 9.3. Dinámica de la estructura sexo etaria de Cuba 1953 y 2008

Fuente: ONC, 1955 y ONE, 2008 (b)

Estos cambios son relevantes, porque modifican la estructura de la población en las edades laborales y no laborales. Las tendencias que se observan son el decrecimiento de la población 0-14 años, el crecimiento de la población mayor de 60 años, y el estancamiento en el crecimiento de la población entre 15 y 59 años, que comenzó a decrecer, según ONE 2009-b, para el año 2010; por tanto, este grupo es cada vez menor y con población de más edad, lo cual constituye un alerta sobre la necesidad de aumentar la participación de la población en la actividad económica, el incremento en la productividad del trabajo y en la adaptación al cambio climático, particularmente de la población de mayor edad. Asociado al envejecimiento de la población se incrementará la demanda de servicios especializados para los grupos de mayor edad, también en los requerimientos en espacios públicos, con un diseño adecuado a las edades de las personas que mayormente los frecuentarán.

9.2.3. MIGRACIONES INTERNAS

Se consideran migraciones los cambios definitivos de lugar de residencia, en Cuba existe un sistema de registro de la población asociado a la emisión de los documentos de identidad de uso nacional, que capta esa información, y se la entrega a la Oficina Nacional de Estadística (ONE) para su procesamiento.

En el país, las migraciones desde la franja rural principalmente las dirigidas a las ciudades, podrían dificultar el auto abastecimiento alimentario a nivel de municipio, dado que el desarrollo tecnológico de las actividades agropecuarias es limitado y no se han dado saltos significativos en la elevación de los rendimientos y la producción. La tabla 9.3 muestra un resumen del comportamiento de las tasas de saldo migratorio promedio en los municipios.

No hay estudios que relacionen los movimientos migratorios con las circunstancias del cambio climático, sin embargo, las estadísticas muestran que desde la primera mitad del siglo XX ha existido un movimiento continuado de oriente a occidente, de una población que se mueve desde territorios con muchas restricciones naturales y de otro tipo, a territorios llanos de alta fertilidad y con cierto desarrollo industrial,

Tabla 9.3. Resumen de tasas migratorias municipales

PROVINCIA	1996 – 2000					2001 – 2005				
	EMISOR		EQUILIBRIO	RECEPTOR		EMISOR		EQUILIBRIO	RECEPTOR	
	Alto	Medio		Medio	Alto	Alto	Medio		Medio	Alto
Occidente	1	4	33	20	4	0	6	40	8	8
Centro	3	9	33	5	2	3	13	32	3	1
Oriente	14	18	20	2	0	2	27	24	1	0
I. de la Juventud	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
CUBA	18	31	87	27	6	5	46	97	12	9

Fuente: ONE

cercanos a la Ciudad de La Habana. Esto puede ser una señal de que en caso de agravarse los problemas ambientales ya existentes en la región oriental, se produzca una migración a otras provincias como La Habana por sus atractivos de empleo y servicios; por ello es importante identificar cuál es la población expuesta al cambio climático en cada territorio, y las medidas necesarias para alcanzar una adaptación adecuada, preferiblemente *in situ*, sin dejar de reconocer las situaciones que exigirán adaptaciones *ex situ* y los requerimientos de un mayor equilibrio en el desarrollo de la región más deprimida económicamente en la actualidad.

9.2.4. DISTRIBUCIÓN DE LA POBLACIÓN (1970-2002)

La forma en que históricamente se fueron distribuyendo las personas en la Isla estuvo influida por las características de la actividad económica básica en cada territorio, por ejemplo, los cultivos del tabaco y el café generaron un modo de asentamiento disperso, con viviendas aisladas o la reunión de unas pocas de ellas; por su parte el de la caña de azúcar estuvo asociado a una industria procesadora, que evolucionó tecnológicamente, y en ese proceso dio lugar a asentamientos concentrados en las proximidades de la industria y de los intercambios de la red ferroviaria. Todo este proceso ha dado lugar a una distribución de la población en la que se pueden identificar cinco patrones, aunque cierto nivel de heterogeneidad dentro de algunos patrones indica estadios de transición (tabla 9.4). Los patrones identificados son:

- **Aglomerado:** municipios con más del 70% de la población en la cabecera municipal. Solo cuatro municipios se incorporaron al grupo en treinta años, dando la idea de que existe un umbral difícil de sobrepasar para lograr una cabecera municipal tan fuerte. Aquí se concentran los municipios con las principales funciones provinciales, algunos con funciones inter provinciales; excepto Antilla y Caimanera, donde la concentración de población en la cabecera responde a circunstancias ajenas a su importancia territorial.
- **Concentrado:** municipios donde entre el 40 y 70% de la población reside en la cabecera. Este grupo se ha incrementado en 18 municipios en estos treinta años, significativo de la consolidación de las cabeceras que han adquirido nuevas funciones regionales. Se presentan bolsones según particularidades de la propiedad de la tierra y de lo accidentado que pueda ser el relieve.
- **Compensado:** municipios con menos del 40% de su población en la cabecera. El grupo se ha incrementado con 50 municipios en el período estudiado. Constituyen un escalón importante en el proceso de concentración, con un protagonismo

de los asentamientos mayores de 2 mil habitantes, que colectivamente pueden superar la población de la cabecera, también presentan una concentración secundaria en asentamientos menores.

- **Difuso:** municipios con menos del 40% de la población en la cabecera, el grupo se ha incrementado en seis municipios. Constituyen un patrón característico de municipios donde abundan grandes áreas de territorio accidentado, y un patrón de transición para los municipios de territorios más llanos; presenta un notable protagonismo de los asentamientos entre 200 y 2 mil habitantes, aunque mantienen importantes cantidades de población dispersa o en asentamientos menores de 200 habitantes;
- **Disperso:** municipios con más del 40 %de la población en asentamientos menores de 200 habitantes o dispersos, en el período se ha reducido a siete municipios, donde una mayor concentración no parece viable.

El conjunto de municipios que se asocia a cada patrón (K-Medias) en el período 1970 a 2002 no es totalmente homogéneos, pero sí lo suficiente para estudiar la causalidad de estas distribuciones y el sentido de su evolución, al parecer muy relacionada con el modelo concebido para el Sistema de Asentamientos Humanos (SAH) del país, y la influencia de características propias de cada territorio.

Tabla 9.4. Dinámica y estructura de los patrones de poblamiento

1970	CANT.MUN	PORC_CAB	PORC_2M	PORC_200	PORC_NO_CONC
	21	81	2	5	12
	22	53	4	12	30
	12	28	23	18	31
	14	25	8	31	36
	85	18	4	17	61
1981	CANT.MUN	PORC_CAB	PORC_2M	PORC_200	PORC_NO_CONC
Aglomerado	22	81	2	8	9
Concentrado	35	50	5	21	24
Compensado	36	29	28	22	21
Difuso	34	23	9	40	27
Disperso	27	17	5	21	57
2002	CANT.MUN	PORC_CAB	PORC_2M	PORC_200	PORC_NO_CONC
Aglomerado	24	81	4	10	5
Concentrado	49	51	11	23	16
Compensado	45	31	32	22	14
Difuso	29	28	12	35	25
Disperso	7	16	6	26	52

Actualmente la forma de distribución de la población más difundida es la que tiene una cabecera relativamente poco importante (en términos de peso poblacional); tiene uno o más asentamientos mayores de 2 mil habitantes, con la misma proporción de población que la cabecera y condiciones favorables para el asentamiento; y otra cantidad similar de población reside en asentamientos menores de 2 mil habitantes, una pequeña parte de la cual permanece sin concentrar.

El análisis de los patrones de poblamiento de los asentamientos, debe contribuir a la determinación de un tratamiento diferenciado, de acuerdo al impacto esperado en ellos del cambio climático; en términos de búsqueda de confort, seguridad o menor vulnerabilidad; ya que en la medida que se precisen con mayor exactitud el escenario climático del futuro, y sus impactos en otros sectores, será necesario un análisis diferenciado que garantice la adaptación requerida en los asentamientos humanos según su localización geográfica y características socio económicas.

9.3. PROCESOS SEQUÍA

La sequía es uno de los eventos hidrometeorológicos más nocivos a escala planetaria, por su carácter multidireccional (Solano *et al.*, 2000), y la influencia determinante en el ciclo hidrológico y, en particular, sobre la disponibilidad y distribución de los recursos hídricos. Según Rodríguez *et al.*, (1999), en Cuba la población que experimenta en algún grado los efectos de las condiciones de aridez, provocada por este fenómeno, supera al millón de habitantes que residen en 1 056 asentamientos de los cuales solo el 9% son rurales, de manera que los asentamientos humanos urbanos son los más afectados, y las medidas más complicadas porque se requieren soluciones de abasto de agua en sistemas hidráulicos con alto grado de deterioro.

9.3.1. PROVINCIA LAS TUNAS

La provincia Las Tunas y sus poblaciones urbanas han sido severamente castigadas por la sequía de forma reiterada. Esta provincia está ubicada en la zona oriental del país, entre los 20° 30', 21° 27' de latitud norte y los 77° 48', 76° 58' de longitud oeste; limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con la provincia Granma y el Golfo de Guacanayabo, al este con la provincia Holguín y al oeste con la provincia Camagüey; tiene un área total de 6 591,2 km² de tierra firme; 525 485 habitantes (ONE, 2002) y su fondo agrícola representa el 77% del total de las tierras de este territorio.

Todos los tipos de suelo que se identifican (18) en la provincia son altamente susceptibles a los procesos degradativos, por lo cual ya existen grandes áreas afectadas, con un marcado descenso de los rendimientos agrícolas, además de la incapacidad para satisfacer las necesidades alimentarias de la población y de materia prima para la agro industria provinciales no solo en volumen, sino también en diversidad. Estos procesos de degradación, en buena parte se deben a un prolongado e inadecuado manejo y explotación de los suelos, que han propiciado la aparición de la erosión, la salinidad, la compactación y la acidez. (Lalana *et al.*, 2003); a lo que se superponen procesos prolongados y frecuentes de sequía, fundamentalmente al norte.

Esta es actualmente una de las provincias más deforestadas del país, con poca superficie de bosques, en su mayoría deteriorados. Se ha estimado que el 89% de los bosques en los municipios de la costa norte son bosques naturales (Lalana *et al.*, 2003), con predominio del manglar, pero el déficit boscoso al interior, en territorios tan llanos y de cuencas abiertas al mar, favorece la aparición de procesos de desertificación y contribuye al reforzamiento de las sequías en las zonas agrícolas. Entre los principales problemas se destacan la pérdida, degradación o carencia de franjas hidrorreguladoras en arroyos, ríos y embalses; la desproporción existente entre las superficies agrícolas y forestales para atenuar la degradación de los suelos.

Los vientos del este que predominan tienen un comportamiento mensual poco variable, con un ligero incremento en la velocidad por épocas del año y provocan un efecto secante negativo para los cultivos, que empeora la situación en los períodos de seca; cuando se incrementa la temperatura y hay una reducción aguda de las precipitaciones, más grave en este caso que predominan las cuencas superficiales y las reservas subterráneas son muy limitadas. Además al norte de la provincia las condiciones geológicas son muy adversas para los acuíferos y hacen que los ríos sean más cortos y menos caudalosos. En general, el uso de la poca agua potable disponible también está limitado por la contaminación, resultado del vertimiento de residuales industriales, agropecuarios y domésticos a los acuíferos.

Los mayores asentamientos tienen limitaciones para abastecer de agua a toda la población residente debido a que las fuentes de abasto son limitadas, y se encuentran seriamente afectadas por los procesos de sequía. De la misma forma, sufren el déficit de agua, el resto de los asentamientos humanos rurales y urbanos de menor tamaño, que se abastecen de pozos locales y pequeñas cuencas subterráneas afectados también por las prolongadas sequías.

9.3.1.1. MUNICIPIOS SELECCIONADOS

El proceso de sequía ocurrido entre 2000 y 2005 ha sido de los más extremos registrados en la historia climatológica e hidrológica del país, abarcó el 79% de la superficie de Las Tunas en la época seca y el 73% en la lluviosa, para ser la provincia más afectada del país (Solano *et al.*, 2006).

Para el estudio de caso se eligieron tres municipios ubicados en la vertiente norte de la provincia: Manatí, Puerto Padre y Jesús Menéndez, con una superficie de 2 772 km² (42% de la provincia), y una población de 147 000 habitantes (ONE, 2001), distribuidos en 277 asentamientos (9 urbanos y 268 rurales), que representan el 54% de los asentamientos de la provincia y donde reside población dispersa, vinculada con la propiedad de la tierra y el modo de producción agropecuario. La tabla 9.5 (ONE, 2006 y Lalana *et al.*, 2003) resume las características de la provincia y de la zona de estudio:

Tabla 9.5. Caracterización de la provincia y de la zona de estudio

INDICADORES	U.M.	PROVINCIA	ZONA ESTUDIO	%
Superficie	km ²	6 588	2 772	42
Población	hab	531 366	147 809	28
Urbana	hab	329 019	87 853	27
Rural	hab	202 347	89 956	44
Consejos Populares	u	83	27	33
Asentamientos	u	508	277	54
Urbanos	u	18	9	50
Rurales	u	490	268	55

Fuente: ONE, (2006) y Lalana *et al.*, (2003)

Los tres municipios tienen condiciones climatológicas e hidrológicas favorables a procesos de sequía, con características geológicas, edáficas, y antropogénicas que agravan el impacto de estos procesos (Rodríguez, C. 2005). Su economía está basada fundamentalmente en una agricultura de secano, donde la producción se hace crítica a partir de los años noventa del siglo pasado, cuando se instauró un proceso largo de sequías que afectó la economía del lugar ante las dificultades con la disponibilidad de agua, que alcanzó el consumo de la población. Históricamente estos municipios se habían ocupado en cultivos permanentes, con predominio de la caña de azúcar. En el período 2001-2004, y como resultado del reajuste nacional del sector azucarero, muchas áreas cañeras pasaron a estar dedicadas a ganadería, forestales, frutales y cultivos temporales, fundamentalmente viandas y vegetales.

En general, el incremento observado en la presencia de sequía en los últimos 30 años es alarmante, situación que contribuye a la progresión de la aridez en el territorio, que unido a la disminución ostensible de los volúmenes de agua, ha llegado a impactar de forma diferenciada a la población y sus condiciones de vida, en proporción directa con el nivel de vulnerabilidad que estas presentan. La reiteración y prolongación de los procesos de sequía en la región oriental, y en particular en el territorio norte de la provincia Las Tunas, ha incidido de manera significativa y negativa en las actividades económicas de todo tipo, agropecuarias, silvícolas, industriales, y sobre todo en la calidad de vida de la población, impactos que en alguna medida se contrarrestan con la adopción por el estado cubano de un conjunto de medidas destinadas a ello.

Desde 1987 la provincia ha estado en Fase de Alerta para todas aquellas instituciones involucradas en el uso del agua, ante las afectaciones de los cultivos, los pastos y el ganado. El 2004 fue un año crítico para todos en la provincia y particularmente en la zona norte, donde la falta de agua llegó a modificar el modo de vida de la población, aplicándose soluciones locales apoyadas por el gobierno provincial y nacional para garantizar el abasto de agua de consumo de la población, junto al reforzamiento alimentario que permitieron frenar procesos migratorios, entre otros.

9.3.2. ESCENARIO DE SEQUÍA Y SU EXTENSIÓN AL RESTO DEL PAÍS

En el año 2004 se reconoce el avance de la extensión de la sequía desde la región oriental al resto del país, como parte de un mismo proceso meteorológico. Al analizar la extensión superficial de la sequía agrícola por regiones en el período 2000-2005, se determinó que la región oriental fue la más afectada y la occidental la menos perjudicada (Solano *et al.*, 2006).

De acuerdo a recientes investigaciones (Rodríguez *et al.*, 2008), se identificaron 45 municipios del país con muy alta probabilidad de ocurrencia de sequía, ubicados en la región oriental y Camagüey; y otros 52 municipios con altos niveles de probabilidad, prácticamente en todas las provincias del país, en particular a lo largo del eje central de la isla grande y en los municipios de la provincia Pinar del Río. Por otra parte, la última evaluación GEO Cuba (CITMA, 2007), señala que la intensidad de la sequía agrícola aumenta de occidente a oriente, alcanzando mayor severidad en las zonas no montañosas de la región oriental, porque según esa misma evaluación la sequía afecta al país en forma no homogénea. Se reconoce que para el año 2006 aumentaron las precipitaciones y la situación comenzó a mejorar.

La región occidental que estaba conceptualizada como de menor probabilidad de afectación de sequía tuvo una experiencia difícil en la última temporada

2010-2011, cuando colapsaron las fuentes de abasto subterráneas y la única posibilidad de recuperación depende de la mejoría de la precipitación en el período húmedo del año; que ha mostrado un desplazamiento en su inicio para finales del mes de mayo.

En el escenario climático esperado se prevén patrones de precipitaciones irregulares, asociados con el cambio climático (PNUD, 2007) de forma que es muy probable que sucedan períodos extensos de sequía, seguidos por períodos de precipitaciones intensas, esta rutina se repetirá cada vez con más frecuencia. Este patrón de comportamiento trae por consecuencia la degradación de la calidad del suelo, que se desencadenen procesos de erosión y desertificación, con efectos ambientales y socioeconómicos adversos, que afectarán a una gran parte de la población, por lo que no debe quedar al margen de un análisis de búsqueda de soluciones actuales y de adaptación a similares o peores escenarios a más largo plazo.

9.3.3. PROPUESTAS PARA LA ADAPTACIÓN

Rodríguez *et al.*, (2008), proponen un conjunto de medidas de adaptación que podrían atenuar los efectos de este fenómeno, y que toman en cuenta las posibilidades reales del país para su implementación. Las mismas están referidas a los asentamientos humanos, a las nuevas áreas de desarrollo; a los usos del agua, las viviendas, el alcantarillado, entre otros elementos clave. Con la aplicación de las opciones adecuadas a cada situación, estas acciones además permitirían evitar las migraciones que podrían producirse de agravarse las condiciones climáticas, y afectar a otros territorios no preparados para asumir tal responsabilidad, sin condiciones para garantizar la calidad de vida adecuada para la población que inmigra. Las medidas de adaptación son las siguientes:

- Asegurar la disponibilidad del recurso hídrico para satisfacer una demanda racional de las poblaciones que vayan a ser asentada de forma concentrada en cada localidad donde se produzcan sequías periódicas; lo que implica hacer ajustes de normas de consumo y tener fuentes seguras y alternativas.
- Promover la construcción de obras hidráulicas capaces de almacenar volúmenes adicionales de agua, utilizables en situaciones de intensa sequía, que puedan utilizar la infraestructura de redes existentes tanto en los asentamientos humanos como en otras actividades dependientes del agua.
- Propiciar la paulatina relocalización de asentamientos humanos, y de la población dispersa, distantes hoy de las fuentes seguras de abasto de agua.
- Priorizar la relocalización de asentamientos en territorios con una fuerte degradación de las condiciones ambientales, y deterioro de las actividades económicas, según propuesta para el manejo y gestión del sistema de asentamientos humanos para situaciones insuperables de deterioro.
- Las nuevas áreas de desarrollo y los nuevos asentamientos humanos, deben disponer de estudios previos sobre potencial hídrico y la capacidad de oferta y aseguramiento de agua para el consumo humano con las normas mínimas aprobadas.
- Promover en cada nuevo asentamiento, ubicado en zonas expuestas a la sequía, la ejecución de pequeños acueductos que además de la distribución segura del recurso, garanticen su calidad en situaciones de estrés hídrico.

- Propiciar la búsqueda de fuentes de abasto de agua alternativas para cada asentamiento humano en territorios afectables por intensas sequías, como parte de los planes de contingencia ante esta amenaza.
- Las viviendas e instalaciones de asentamientos humanos ubicados en zonas propensas a la sequía deben estar habilitadas con sistemas de captación de agua de lluvia y aljibes, para aprovechar el potencial total disponible.
- Las urbanizaciones en áreas propensas a la sequía deben someterse a un tratamiento de reforestación sistemática, hasta lograr una cobertura vegetal capaz de aliviar el intenso calor; brindar condiciones de sombra; frenar el libre movimiento del polvo levantado por el viento; mejorar el entorno y proveer algún alimento para el consumo de la población.
- Brindar prioridad al uso de sistemas ahorradores de consumo de agua en las viviendas y restantes instalaciones de los asentamientos humanos en las zonas sometidas a sequías intensas, como vía para minimizar las pérdidas del recurso más deficitario y lograr su uso más racional.
- Promover el estudio y construcción de obras hidráulicas en las localidades sometidas a la sequía o en el entorno regional, que brinden respuesta a los diferentes usuarios de la zona: población, actividades agrícolas, pecuarias, industriales, servicios comunales, en ese orden de prioridad.
- Obtener diseños civiles y arquitectónicos de viviendas e instalaciones, que propicien una mejor climatización, para el confort de sus habitantes, en particular durante las sequías extremas.
- Evitar cualquier acción antrópica en actividades económicas que dependan del recurso hídrico, y que aceleren los procesos erosivos en territorios con alto a mediano riesgo por sequías, los asociados a períodos intensos de sequía y degradación del recurso edafológico.
- Evitar a toda costa la extracción adicional de agua subterránea, sin previa evaluación y autorización de los organismos sanitarios en los territorios, con independencia del grado de riesgo alto o medio de sequía que posean.
- Promover la construcción de acueductos con al menos dos fuentes alternativas de abasto de agua, en los asentamientos humanos ubicados en zonas de alta sequía. Asegurarles adicionalmente, la existencia de depósitos de agua para uso individual y colectivo, que en caso de sequías extremas, faciliten el acceso al agua como alternativa no convencional.
- Fomentar la adecuación de los cultivos a especies tolerantes al régimen de sequías intensas y prolongadas, para permitir actividades agrícolas, de empleo y producción en tales condiciones; crear condiciones de forraje mínimo y áreas de pastizales en la localidad o su alternativa en zonas más distantes, para garantizar la alimentación de animales y condiciones para su traslado en un evento fuerte, garantizando la ganadería local y el abasto de leche, al menos, a los grupos etarios más necesitados.
- Propiciar el fomento de la ganadería menor, de mayor resistencia a las condiciones de sequía, como vía para lograr la permanencia de pie de cría y se puedan satisfacer demandas de carne de los pobladores locales.

- Promover en los asentamientos humanos las soluciones de alcantarillado o el tratamiento de residuales líquidos (individual o colectiva). En caso que la sequía obligue a abandonar las facilidades intradomiciliarias de servicio sanitario, garantizar la inserción de letrinas y fosas localizadas con la salubridad requerida.
- Crear condiciones de capacitación y organización de la población, y de los restantes actores del territorio, para asumir los retos que impone el estar en áreas de sequías intensas, prolongadas y reiterativas.
- Contribuir a perfeccionar, a nivel local y del sistema de asentamientos humanos, las medidas y preparación para la reducción de desastres y la conformación de los planes de contingencia.
- Promover el re-uso de las aguas en los asentamientos humanos y en las viviendas, insertar tecnologías de esta índole en localidades que estarán sometidas a condiciones extremas.
- Solucionar el deterioro de los sistemas de distribución de agua en el país, así como la recuperación de la plomería intradomiciliaria, causantes ambas de grandes pérdidas de agua bombeada y que constituyen hoy reservas a favor de una adaptación posible en condiciones de sequía extrema.
- Promover la investigación y el uso de técnicas de desalinización de aguas salobres para su utilización en los territorios de extremas sequía, limitados recursos hídricos, donde es imprescindible mantener el desarrollo de actividades económicas y sociales.

9.3.4. CONCLUSIONES

Los procesos de sequía, su irrupción en el archipiélago cubano, la periodicidad registrada, la extensión de los meses del período seco y el desplazamiento temporal del inicio de las lluvias, forman parte de las características que van consolidándose en el contexto climático cubano, con mayor severidad en las zonas costeras.

Otro de los rasgos que ha podido identificarse es el hecho de que aun cuando en la situación actual, y en los escenarios de cambio climático realizados para Cuba, se infiere la mayor presencia y duración de estos eventos severos en la zona oriental del país, y de eventos con menor intensidad hacia el centro y finalmente el occidente. Esto no exime a las autoridades de la necesidad de la prevención de los efectos dañinos derivados de las mismas en cualquier localidad y asentamientos humanos del país, para lo cual es imprescindible valorar y consolidar el cuerpo de medidas, acciones e inversiones que garanticen la adaptación al cambio climático y a estos eventos, que no por el carácter de su desarrollo lento, deja de provocar pérdidas de mucho valor.

Se está hablando de una exposición a las sequías de la totalidad de los 6 993* asentamientos humanos existentes en el país (ONE 2007), en los que en 2008 residen 11 236 099 personas (ONE, 2009); y donde las últimas experiencias de la etapa de sequía 2010-2011 llevó a niveles mínimos el abasto de agua desde fuentes subterráneas de gran importancia e históricamente seguras para la propia capital del país, que conllevaron a la aplicación de medidas de manejo del agua muy

* La cifra de asentamientos está conciliada con la ONE, no considerando las fracciones como asentamientos individuales.

rígidas, para evitar una potencial salinización regional de pozos alternativos para el abasto.

9.4. ASENTAMIENTOS HUMANOS COSTEROS

Los asentamientos humanos más vulnerables al cambio climático están situados en general en:

- Localidades con fuerte degradación ambiental.
- Espacios con procesos no organizados de concentración de población, en viviendas improvisadas; en zonas de peligro y/o con insuficiente urbanización.
- Territorios donde se agudizan los fenómenos de sequía con abasto de agua insuficiente, y no se logra la satisfacción de las necesidades alimentarias, y/o quedan desprovistos de las actividades económicas de sustento de su población.
- Zonas de inundaciones por intensas lluvias, con drenajes insuficientes y/o obstruidos.
- Zonas costeras con base económica vinculada directamente con las actividades de pesca, portuarias, industriales o servicios, y que son afectados por el ascenso del nivel medio del mar, y la surgencia y el oleaje provocados por ciclones tropicales.

En los territorios afectados por estos fenómenos es importante identificar y reforzar su resiliencia, para reducir los impactos y vulnerabilidades provocadas por los fenómenos asociados al cambio climático, así como la prevención ante fenómenos propios del clima tropical.

9.4.1. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS ASENTAMIENTOS COSTEROS

La isla de Cuba posee más de 3 500 km de costa, en lo que se ha denominado tierra firme, y donde históricamente se localizaron los asentamientos humanos vinculados a las actividades de la pesca, el comercio, la navegación, el turismo y la recreación, para un total de 262 asentamientos costeros (sin incluir a la ciudad de La Habana). En este sentido (Rodríguez, C. *et al.*, 2008, Rodríguez, C. *et al.*, 2009 y Rodríguez, C. *et al.*, 2010), han aportado conocimientos sobre:

- Acceso a una base de datos actualizada y validada en el territorio de los asentamientos costeros e interiores potencialmente afectables, de forma permanente o temporal, por el cambio climático y huracanes categoría 5 de la escala Saffir-Simpson. Con datos de los elementos en exposición, para los escenarios de ascenso del nivel medio del mar (n.m.m.) escogidos (0,27 m y 0,85 m) para los años 2050 y 2100 respectivamente.
- Síntesis nacional de los elementos vulnerables por el ascenso del n.m.m., de forma definitiva, y los que se afectarán temporalmente por eventos meteorológicos severos, para los años 2050 y 2100, con cartografía digital asociada.
- Evaluación del impacto esperado por asentamientos humanos, con su cartografía digital asociada.

- Formulación de medidas de adaptación para los asentamientos costeros, para los años 2050 y 2100, que permitan a sus poblaciones atenuar paulatinamente la vulnerabilidad e impactos identificados.

Los asentamientos humanos costeros, son aquellos ubicados en la franja contigua a la línea de costa, donde se ejercen la máxima interacción entre la tierra y el mar, y los efectos directos producidos por esto repercuten en la vegetación, las prácticas económicas, la calidad de las aguas subterráneas (fácilmente salinizables). Entre estas interacciones están: las penetraciones del mar por el desencadenamiento de eventos meteorológicos severos; y las afectaciones por el ascenso del nivel medio del mar y además, se identifica como la zona de mayor impacto: aquella que está ocupada hasta 1 m de altura sobre el nivel del mar y a una distancia de 1 000 m hacia el interior, tras la línea de costa (IPF, 1998).

Los principales impactos que se producirán en las zonas costeras ocurrirán sobre los manglares, las crestas arrecifales, las dunas arenosas, los asentamientos humanos, terrenos con diferente cobertura vegetal y otras instalaciones ubicadas en las proximidades de la línea costera. Según el grado y tipo de afectación, estas podrán considerarse de carácter permanente o temporal, correspondiendo las primera a la ocupación por el agua salobre de espacios de tierra firme, como consecuencia del ascenso permanente del nivel medio del mar; y, la segunda, cuando la causa de la ocupación son el oleaje o la surgencia generada por el paso de ciclones tropicales u otros fenómenos meteorológicos.

9.4.1.1. IMPACTOS POR ASCENSO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

Se han reconocido 122 asentamientos humanos costeros amenazados por el ascenso del nivel medio del mar, en los que se reconocen variados niveles de vulnerabilidades e impactos. En este conjunto, existen asentamientos de diversas jerarquías en el Sistema de Asentamientos Humanos, que les confieren multiplicidad de intereses y tipos de solución ante el fenómeno estudiado, por lo que se deben estructurar estrategias de adaptación específicas. La mayoría de estos asentamientos no tienen jerarquía político administrativa, y constituyen urbanizaciones incipientes; se trata de 69 asentamientos rurales y 30 urbanos de base, para el 81,1% de los asentamientos impactados.

La superficie total en tierra que pudiera quedar permanentemente ocupada por aguas del mar en el año 2050, debido a un ascenso del nivel medio del mar de hasta 0,27 m, podría llegar a ser de 2 550 km²; y para el año 2100, con un ascenso de hasta 0,85 m, hasta 5 994 km². De los asentamientos que se encuentran en esos territorios actualmente, 21 dejarán de existir, de no ejecutarse las necesarias obras ingenieras de protección, aunque su elevado costo hace pensar en otras soluciones, como la relocalización de la población a lugares menos expuestos a los eventos meteorológicos severos, o su redistribución en asentamientos ya existentes, más seguros y con mejores indicadores de servicio y calidad de vida (tabla 9.6).

Las investigaciones realizadas sobre el comportamiento de la surgencia y el oleaje para Cuba, identificaron 534 asentamientos con posibles afectaciones temporales en el 2050; de ellos: 277 parciales y 257 totales; y para el año 2100 esta cifra se podría elevar hasta 576 asentamientos, de ellos: 301 con carácter parcial y 275 de forma total (se excluye la capital). Algunos de estos asentamientos se encuentran en zonas donde las eventuales penetraciones del mar causadas por huracanes, pueden alcanzar hasta 9 Km. tierra adentro, dependiendo del relieve; la batimetría de la plataforma; la magnitud

Tabla 9.6. Asentamientos con afectación total por ascenso del nivel medio del mar por cambio climático al año 2050 y 2100

PROVINCIA	ASENTAMIENTOS 2050	CATEGORÍAS	ASENTAMIENTOS 2100	CATEGORÍAS
Pinar del Río	Las Canas	rural	La Bajada	rural
	Punta de Cartas	rural	Carenero	rural
La Habana	Playa Majana	rural	-	-
	Guanimar	rural	-	-
	Playa Cajío	urbano	-	-
	Playa Mayabeque	rural	-	-
	Playa Caimito	urbano	-	-
Villa Clara	Playa Uvero	urbano	-	-
	Playa Emilio Córdoba	rural	-	-
	Playa Jaquete	rural	-	-
	Playa Piñón	rural	-	-
	Playa Juan Francisco	rural	-	-
Sancti Spíritus	Tunas de Zaza	urbano	-	-
Ciego de Ávila	-	-	Manatí	rural
	-	-	Playa de Cunagua	rural
	-	-	Júcaro	urbano
Camagüey	Playa Florida	rural	Playa Jigüey	rural
Las Tunas	Playa Los Pinos	rural	-	-

del huracán y su ángulo de incidencia al arribar a la costa, las características físicas de la atmósfera y del meteoro en particular, las facilidades de drenaje del territorio donde se enclava el asentamiento, incluso la existencia de medidas de protección implementadas en el tiempo y hasta la protección ejercida por las barreras arrecifales y las formaciones boscosas las costas, en particular los manglares.

Es igualmente importante señalar que muchos de los asentamientos rurales que habían permanecido vinculados a la pesca, han perdido buena parte de su base económica, por la contracción de los potenciales de captura y el deterioro de las instalaciones, ante el embate de eventos meteorológicos severos, el envejecimiento y la falta de mantenimiento así como la reposición de las embarcaciones.

En el caso particular de la Ciudad de La Habana, seis de sus quince municipios tienen costas, predominando en ellos las terrazas abrasivas y las dunas arenosas, para dar muy poco margen a las afectaciones por el ascenso del nivel del mar, pero donde el paso de las bajas extratropicales, los ciclones tropicales y los huracanes, pueden generar penetraciones del mar que impactan temporalmente. Un huracán categoría 5 de la escala Saffir-Simpson afectaría a unos 194 000 habitantes. Por penetraciones del mar asociadas a huracanes, el área construida inundable total podría llegar a ser de hasta 210,4 km² (no simultáneamente), estas inundaciones pueden mantenerse por espacio de varias horas o días, en dependencia de los factores físicos ya mencionados, la coincidencia con mareas altas y el propio drenaje de cada localidad. El mayor número de asentamientos afectables son rurales, con afectaciones parcial y total en proporciones similares; y los 23 urbanos se afectan totalmente. En la capital, según el

modelo de ascenso del nivel medio del mar, la ocupación temporal podría alcanzar los 27,73 km² y afectar unos 193 969 habitantes, tanto en el 2050 como en el 2100.

La superficie construida en asentamientos humanos que se afectaría temporalmente en el resto del país podría ocupar 297,0 km². También, en esta situación, el mayor porcentaje de asentamientos afectables recaería en los de carácter rural, y contarían con afectaciones parciales en un alto número de ellos. Las provincias de Artemisa, Mayabeque, Pinar del Río y Matanzas, son las que registran el mayor número de asentamientos afectados, a lo que se añaden las actividades agropecuarias que allí tienen lugar. Por otro lado las afectaciones temporales y parciales se concentran en las provincias Holguín, Granma, Santiago de Cuba y en menor magnitud en Guantánamo.

La población perjudicada es alta (tabla 9.7). Teniendo en cuenta el impacto esperado generado por la surgencia y el oleaje debido a huracanes de categoría 5 y deduciendo las modificaciones de línea de costa en el tiempo por el ascenso del nivel medio del mar, la afectación alcanzaría a una población total residente de 543 239 habitantes, expuestos en los 542 asentamientos (sin la ciudad de La Habana), esto representa el 29,5% de los habitantes de esos asentamientos, estimados en 1 842 838 habitantes (ONE, 2007). La población de la Ciudad de La Habana involucrada por este fenómeno temporal, es la residente en zonas bajas de los 18 Consejos Populares aledaños a la costa, que debe estar entre 344,1 mil y 348,3 mil habitantes en el 2050; y entre 308,1 y 348,2 en el 2100, cifras inferiores estas últimas, ya que en las proyecciones a tan largo plazo lo que se avizora es que continúe la contracción de la población como ya se mencionó antes.

Tabla 9.7. Estimados de población en asentamientos costeros afectables por los escenarios de cambio climático

FECHA	POBLACIÓN ESCENARIO TENDENCIAL			POBLACIÓN ESCENARIO OPTIMISTA		
	ASENTAMIENTO AFECTACIÓN TOTAL	ASENTAMIENTO AFECTACIÓN PARCIAL	TOTAL	ASENTAMIENTO AFECTACIÓN TOTAL	ASENTAMIENTO AFECTACIÓN PARCIAL	TOTAL
2050	6 306	21 509	27 815	6 370	21 858	28 228
2100	2 088	354 652	356 740	2 221	418 888	421 109
Totales	8 394	376 161	384 555	8 591	440 746	449 337

Fuente: Proyecto 11-2010

El número de viviendas que se dañarían es 305 146 a nivel nacional. Las provincias con un mayor nivel de exposición son Matanzas y La Habana, con 64 837 y 54 129, respectivamente. Las afectaciones temporales de viviendas en La Habana en el 2050 y 2100 serían de alrededor de 54 129 viviendas. En este sector costero están además otras instalaciones, cuya afectación interrumpe la vida en las zonas bajas del litoral habanero. Tanto las viviendas como las instalaciones estarán afectadas, además, por los vientos de bajas extratropicales al norte, vientos del sur que hacen sistemáticas las afectaciones a la población residente en estas zonas.

Los impactos en las infraestructuras tecnológicas podrían ser considerables si no son evaluadas su potencial afectación, son el caso de las termoeléctricas de Mariel, Cienfuegos, Nuevitás, y Felton, pues de no ejecutar medidas de protección a tiempo podría existir incidencia directa en las instalaciones y de modo indirecto se vería impactado la vida de la población y la economía del país; también existen algunos grupos electrógenos de producción energética distribuida, que de forma excepcional,

podrían quedar fuera de servicio (tabla 9.8). Del mismo modo sufriría la infraestructura hidráulica; en el año 2050 habrá 124 asentamientos humanos con afectaciones en las fuentes de agua subterránea y 218 en el 2100, además de 150 acueductos de asentamientos que pueden sufrir una afectación temporal en sus servicios (tabla 9.9).

Tabla 9.8. Nivel de afectaciones a infraestructuras técnicas e instalaciones afines por surgencia y oleaje para huracanes categoría 5 de la escala Saffir-Simpson al año 2050 y 2100

TIPO DE INFRAESTRUCTURA	UM	AFECTACIÓN TEMPORAL			
		TOTAL		PARCIAL	
		2050	2100	2050	2100
Termoeléctricas	u	1	2	3	2
Grupos electrógenos	u	42	66	66	42
Subestaciones eléctricas	u	20	27	48	47
Total fuentes eléctricas	km	63	95	117	91
Acceso vial expuesto	km	247,5	6 410,4	867,4	-
Acceso ferroviario expuesto	km	93,6	106,3	107,9	821,6

Fuente: Proyecto 11-2010.

Tabla 9.9. Nivel de afectaciones a acueductos por surgencia y oleaje para huracanes categoría 5 de la escala Saffir-Simpson al año 2050 y 2100

ASENTAMIENTOS	AFECTACIÓN TEMPORAL	
	2050	2100
Afectables	159	153
No afectables	300	322
Sin información	75	101

Fuente: Proyecto 11-2010.

La evaluación de los servicios de:

- Salud: hospitales, policlínicos, consultorios/posta médica, hogar de ancianos y otras instaciones de salud.
- Educación: círculos infantiles, escuelas primarias, secundarias, media y superior.
- Procesamiento de alimentos: pan, carne, leche, pescado, frutas/vegetales, donde además se han valorado las zonas industriales y los almacenes portuarios y no portuarios con funciones clave en cada asentamiento costero o no.

Todo obliga a la búsqueda de soluciones de relocalización de los inmuebles y de adecuación de los planes contra catástrofes. Las instalaciones con mayor cantidad de centros afectados serían en el sector de la salud, en particular 865 del nivel primario en el 2050 y 1017 en el 2100 (incluida la Ciudad de La Habana); seguidas por las instalaciones del sector educacional y las industriales.

La base económica de sustento de estos asentamiento actuales se afectarían por los eventos severos que se estudian en 296 asentamientos en el 2050 y 334 en el 2100, siendo las actividades más afectadas la agropecuaria; mientras la actividad pesquera solo presentará afectaciones en 57 y 54 asentamientos, como consecuencia de la reducción de las capturas de pesca en general en las zonas de plataforma, el deterioro de las embarcaciones y las artes de pesca y de otras actividades económicas como el turismo y la explotación gasopetrolera en estas zonas costeras (tabla 9.10).

Tabla 9.10. Base económica de primer orden y actual de los asentamientos afectables

ACTIVIDAD ECONÓMICA	2050	2100
Agrícola	235	269
Pecuaría	61	65
Pesca	57	54
Forestales	29	31
Turismo	27	27
Servicios	24	24
Petróleo	5	5

Fuente: Proyecto 11-2010.

9.4.1.2. LA CIUDAD DE LA HABANA

La provincia abarca 721 km², de ellos más de 300 km² conformando una superficie urbanizada continua, donde se concentra aproximadamente el 20% de la población del país, con una densidad de 3 007,2 hab/km²; cuenta con costas que superan los 60 Km. de longitud, con diversas morfologías costeras, donde quedan expuestos recursos humanos, económicos y actividades que brindan vida a la ciudad y pueden ser afectadas por la acción combinada de ascenso del n.m.m., la surgencia y el oleaje de los huracanes de categoría 5.

De un total de 90,2 km² de superficie total en los 18 Consejos Populares que sufren las penetraciones del mar, en el 2050 se estima la superficie puede llegar a 27,71 km² y a 27,72 km² en el 2100. Aquí, el problema no radica en la superficie inundable, sino en la densidad de ocupación por población, viviendas e instalaciones que existen en esos territorios, que estarían involucrados en situaciones de catástrofe de no existir un adecuado plan de contingencias, y una implementación paulatina de medidas necesarias de adaptación al cambio climático. En los escenarios del 2050 y 2100, en las Playas del Este, aun cuando este fenómeno tiene menor incidencia, se impactan las dunas arenosas, viviendas y algunas instalaciones de recreación; siendo estas las zonas donde en la actualidad se escenifica la mayor recreación de verano de la población residente en la capital del país.

En general se afectaría temporalmente una población estimada para el 2050 en 193 969 habitantes, mientras el número de viviendas alcanzaría la cifra de 54 349. En el año 2100 el estimado de población residente en las zonas de afectación y las viviendas temporalmente afectadas es similar a los estimados del 2050, sin grandes incrementos debido entre otros motivos por las regulaciones urbanísticas vigentes para el territorio costero y en particular su zona de protección.

9.4.1.3. JERARQUIZACIÓN POR AFECTACIONES PERMANENTES

Hay indicadores de impacto que caracterizan, desde la situación actual, la afectación total y parcial permanente por ascenso del nivel medio del mar; sobre la base de los cuales se construyó un índice para clasificar y jerarquizar la incidencia o intensidad del impacto del cambio climático por ascenso del n.m.m., en cada asentamiento costero, utilizando un método de evaluación multicriterio.

Aquí se han incluido los 122 núcleos habitados próximos a la costa con instalaciones e infraestructuras cuya afectación puede hacer perder la funcionalidad del

asentamiento. Se han seleccionado un conjunto de indicadores base que describen aproximadamente las características de cada zona de estudio, con imprecisiones aun por la escala del trabajo, pero de utilidad para obtener una aproximación cualitativa del nivel de afectaciones previsibles. De la base informativa se seleccionó un conjunto de datos para crear indicadores de impacto que caracterizan, desde la situación actual, la afectación total y parcial por ascenso del nivel medio del mar, siendo ellos:

- Proporción de superficie expuesta.
- Proporción de población expuesta.
- Proporción de viviendas expuestas.
- Principales instalaciones expuestas por 100 habitantes.
- Densidad vial y ferroviaria expuesta.

Definidos los indicadores a partir de las variables contabilizadas en la zona de estudio, se obtuvo un índice para clasificar y jerarquizar la incidencia o intensidad del impacto en cada asentamiento costero mediante una evaluación multicriterio. Una vez obtenido para cada asentamiento el valor del *índice de intensidad, incidencia o afectación permanente*, visto en términos de vulnerabilidad, se clasifica y se cualifica en cinco estratos *Muy alto*, *Alto*, *Moderado*, *Bajo* y *Muy bajo*. La tabla 9.11 muestra la distribución de los 122 asentamientos en los años 2050 y 2100, según los cinco niveles de gravedad mencionados.

Tabla 9.11. Niveles del impacto esperado en asentamientos costeros por ascenso del nivel medio del mar en los años 2050 y 2100

GRADO DE AFECTACIÓN	NÚMERO DE ASENTAMIENTOS	
	2050	2100
Muy alto	16	10
Alto	7	21
Moderado	17	32
Bajo	33	26
Muy bajo	20	18
Total	93	107

Fuente: Proyecto 11-2010

9.4.1.4. JERARQUIZACIÓN POR AFECTACIONES TEMPORALES

Para este cálculo se consideraron las variables siguientes: cantidad de población, cantidad de viviendas, principales instalaciones, fuentes generadoras de electricidad, fuentes de abasto de agua y tipo de afectación (total o parcial).

En todos los casos se cuantifica la exposición, desde la situación actual, sin tomar en cuenta la superficie expuesta, por cuanto no tiene la misma trascendencia que cuando se trata de una afectación permanente imputable al cambio climático. Otros aspectos como el comportamiento de la neo tectónica en los tramos costeros o el comportamiento de las mareas no han sido considerado por su significación en relación al efecto particular esperado en condiciones de un huracán. Debe señalarse por igual que las bahías de bolsa, aun cuando no se han excluido a los efectos del impacto esperado en los asentamientos, en la perspectiva podrían ser precisados en términos de penetraciones del mar esperadas dado el amortiguamiento que pudiese

esperarse en la surgencia y el oleaje en condiciones de un mar confinado. En el marco de evaluación se definen criterios de base para obtener diferenciaciones de carácter cualitativo. Las variables son reclasificadas en un rango numérico del 0 al 5, y se establecen cinco niveles. A partir del promedio de las categorías para las diferentes variables, se obtiene el valor del impacto para cada asentamiento.

La investigación identifica 534 asentamientos potencialmente afectables de manera temporal en el 2050 por surgencia y oleaje provocados por un huracán de categoría 5; y de ellos 255, se verán afectados en la totalidad en su superficie y elementos en exposición con carácter temporal, mientras 279 asentamientos costeros y no costeros son dañados parcialmente. Para el escenario del 2100 se reportan 279 asentamientos con afectación total temporal y 297 afectación parcial temporal, para un total de 576.

En la tabla 9.12 se muestra la distribución de los asentamientos según grados de afectación ante eventos meteorológicos severos. Los valores de Alto, Moderado y Muy bajo, agrupan cantidades similares de asentamientos y en menor cantidad aparecen las categorías de Muy alto y Bajo pero con resultados totales aproximados. En este caso la cantidad de asentamientos expuestos se polarizan entre las categorías Alto y Muy bajo, con importantes cifras en la categoría de Moderado.

Tabla 9.12. Distribución de asentamientos por categoría de afectaciones o impacto para los años 2050 y 2100

GRADO DE AFECTACIÓN	NÚMERO DE ASENTAMIENTOS	
	2050	2100
Muy alto	56	63
Alto	163	159
Moderado	117	108
Bajo	78	80
Muy bajo	121	167

Fuente: Proyecto 11-2010

9.4.2. POLÍTICAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

9.4.2.1. ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y URBANO, Y MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Partiendo de los instrumentos de planeamiento vigentes para el país se llega a los siguientes resultados:

- Todos los asentamientos humanos involucrados en este estudio han sido considerados en los Esquemas Provinciales de Desarrollo, donde se recoge un conjunto de políticas y recomendaciones generales, a partir de las conclusiones a las que arriban los Subsistemas de Asentamientos Humanos y de Medio Ambiente; que indican, en primer lugar, la pertinencia de su permanencia en su localización actual, las actividades y papel que desempeñarán en lo sucesivo, la población estimada y las regulaciones de ordenamiento territorial a seguir. Estos esquema, por su nivel de actualización, pueden haber incluido o no aspectos relativos a la exposición de los asentamientos ante peligros naturales y el cambio climático.
- La totalidad de asentamientos humanos que pueden ser impactados no han sido analizados para la elaboración de los planes municipales y provinciales de

ordenamiento territorial, y solo los de carácter urbano disponen de esquemas o planes de desarrollo, que consideren los escenarios del 2050 y 2100.

- Todos los asentamientos humanos disponen de planes de contingencia, o contra catástrofes, que aseguran la evacuación de la población y la protección de los recursos económicos de que disponen. Estas y otras medidas son objeto de divulgación, capacitación y ejecución de ejercicios de preparación anual (simulacros), que le ponen a pruebas ante una amenaza dada.
- Las intervenciones de trasformaciones que se realizan en los asentamientos rurales en general, se vienen ejecutando de forma espontánea, sin responder a planes urbanísticos prefijados, y necesariamente no sustentan en lineamientos de desarrollo y regulaciones territoriales que puedan ser monitoreadas. Esto se evidencia al evaluarse una microlocalización de inversiones precisamente en zonas afectables*. Por lo general, estos asentamientos rurales, que representan el 83,9% del total, temporalmente afectable por las penetraciones del mar, tienen un pobre desarrollo urbanístico, y no disponen de un cuerpo de medidas de adaptación ajustado a sus requerimientos.
- El asentamiento de actividades en polos turísticos, con independencia de su reconocimiento dentro del sistema (urbanos y rurales), han sido objeto de valoraciones especiales, y contemplados para el desarrollo de la región o polo turístico en particular; en ellos rigen las medidas de defensa civil que han sido establecidas para salvaguardar las vidas humanas y los recursos materiales existentes en los mismos. Estas instalaciones, no necesariamente fueron concebidas en áreas sin afectación potencial de penetraciones del mar, y allí donde son altos períodos de retorno para los eventos meteorológicos severos, deben determinarse en la actualidad con el nuevo conocimiento de los impactos esperados por el cambio climático las vías de adaptación.
- Los planes de ordenamiento urbanístico disponibles para los asentamientos humanos que son potencialmente afectados por las penetraciones del mar, cuentan con diversas fechas de realización que van desde el año 1999 hasta el 2009, en especial para aquellos que sufrieron los fuertes embates de los ciclones y huracanes del año 2008, o que fueron seleccionados a nivel nacional por la complejidad de su nivel actual de riesgo.
- En los planes de ordenamiento territorial y urbanístico en general falta el análisis del tema cambio climático; no obstante, los más actualizados ya poseen indicaciones, medidas y acciones para disminuir los niveles de exposición ante eventos meteorológicos severos, y que constituyen de hecho una forma de contribuir a la adaptación, a partir del principio de reducción de vulnerabilidades.
- En el sur de las provincias Artemisa y Mayabeque, están más definidas las consideraciones para la relocalización de asentamientos costeros, por la regularidad con que tienen lugar los eventos meteorológicos severos; además de ya ser evidente el más agudo retroceso de la línea de costa del país y donde se ha gestado un trabajo comunitario y social, dirigido especialmente a la capacitación y documentación sobre las medidas o acciones de intervención imprescindibles

* El proceso inversionista incluye de forma obligatoria la consulta a los órganos de la administración del Estado, permitiendo incluir las medidas de adaptación.

para adaptarse a un cambio climático que afectará por completo o parcialmente a los asentamientos costeros localizados en este territorio. También han sido objeto de intervenciones importantes de relocalización asentamientos al sur de Pinar del Río. Además de las reubicaciones ya ejecutadas con posterioridad a huracanes del 2008 en sectores de los asentamientos humanos de Santa Cruz del Sur y Guayabal, en las provincias de Camagüey y Las Tunas, respectivamente, esto paulatinamente se irá extendiendo a las localidades que así lo requieran.

- La investigación reporta aun, la reconstrucción en asentamientos que fueron totalmente devastados por los huracanes que azotaron el país en el 2008, y que constituyen malos ejemplos, porque se reconstruye el riesgo, tales son el caso de Playa Los Pinos, en la costa norte de Las Tunas (vinculada básicamente a la recreación pero con población residente permanente) y que desaparece a largo plazo por el ascenso del nivel del mar y el de Delio Chacón, en Isla de la Juventud, en una zona de inundación temporal bien identificada.
- El control sistemático del territorio, máxime cuando se dispone de estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo, así como los derivados del cambio climático, apuntan a la necesidad de la toma de medidas y control de las intervenciones que permitan garantizar la adaptación al cambio climático y la reducción de vulnerabilidades, ante los eventos que afectan a estas localidades en la actualidad.

Pese a los avances en las investigaciones aun no ha podido ser identificadas la totalidad de medidas dirigidas a disminuir la vulnerabilidad de los asentamientos interesados por el ascenso del n.m.m. y las penetraciones por surgencia y oleaje, que a su vez son medidas de adaptación al cambio climático; esto hace imprescindible seguir trabajando en esta línea, conciliando el desarrollo, los riesgos e impactos del cambio climático, como única vía para conformar una estrategia de respuesta integradora en el ámbito de los asentamientos costeros. En tal sentido, debe trabajarse en las soluciones estructurales y no estructurales, e iniciar la realización de proyectos de protección, cuando esta sea la solución inevitable, mientras se despliega un trabajo psico-social con las comunidades que serán impactadas y que deben intervenir directamente en la materialización de las soluciones de adaptación.

Aun son insuficientes las soluciones brindadas de prevención y adaptación por el ordenamiento territorial a los asentamientos expuestos, en particular en aquellos asentamientos con menor número de habitantes, que son los más comunes en estas localidades, donde no solo es importante la afectación física al asentamiento y a la población, sino a otros impactos como la salinización de las aguas de consumo y el retroceso de la línea de costa.

9.4.2.2. POLÍTICAS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

La investigación ha evaluado el impacto esperado en los asentamientos humanos costeros del país, comprobándose la necesidad de establecer un conjunto de políticas y regulaciones para el ordenamiento territorial y urbano, así como acciones, medidas y profundización del conocimiento, entre otras vías que contribuyan a resguardar los recursos humanos y económicos de la sociedad; evitar la exposición actual e incidir en la reducción de la vulnerabilidad acumuladas y adaptarse al cambio climático. A continuación se proponen un conjunto de propuestas de políticas generales para la adaptación al cambio climático y la reducción de los impactos en asentamientos costeros:

Políticas de adecuación de los instrumentos metodológicos de ordenamiento territorial:

Política 1: actualizar los resultados de aplicación de los instrumentos metodológicos de ordenamiento territorial y urbano, a la luz de los impactos esperados por el cambio climático y ante el paso de un huracán categoría 5 con el peor ángulo de incidencia.

Política 2: incorporar con carácter obligatorio al planeamiento, gestión y control de los planes territoriales, el tema de la adaptación al cambio climático y la reducción de vulnerabilidades.

Políticas territoriales relativas a la disminución de las vulnerabilidades por impactos por cambio climático:

Política 1: contribuir con la evaluación de los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo de eventos actuales y esperados por cambio climático y sus impactos en zonas costeras mediante el perfeccionamiento de los planes de contingencia y de adaptación.

Política 2: crear condiciones para reducir el riesgo, modificando las condiciones originales de vulnerabilidad a eventos meteorológicos severos actuales y futuros.

Políticas territoriales relativas a la preparación de los territorios ante las situaciones de desastre y de impactos esperados en asentamientos costeros y próximos a estas por cambio climático:

Política 1: contribuir con la evaluación de la gestión de riesgos de territorios al perfeccionamiento de los planes de adaptación al cambio climático y contra catástrofe en asentamientos costeros.

9.4.2.3 RECOMENDACIONES PARA ESQUEMAS, PLANES Y PROYECTOS DE INVERSIONES EN EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

La situación descrita en este acápite ha demostrado los diversos niveles de exposición y pérdidas que pueden gestarse en los inmuebles, como consecuencia de las características de la morfología costera, la batimetría, los eventos meteorológicos, el ascenso del n.m.m. y el retroceso de línea de costa y las diversas características del fondo habitacional (tipologías, estados constructivos), esto se manifiesta en los asentamientos con diversos niveles de vulnerabilidad. Los daños permanentes o temporales, parciales o totales repercuten en los tiempos de recuperación, con efectos directos en el funcionamiento de los asentamientos y la calidad de vida de la población residente.

Las afectaciones no se limitan a las de índole físico o estructural, sino que incide en la funcionalidad de los asentamientos y los territorios por períodos más o menos largos, por lo cual es necesaria la implementación previa de medidas, acciones y/o inversiones que permitan reducir la vulnerabilidad actual.

Las soluciones individualizadas del sistema de asentamientos humanos costeros, obligan al estudio y valoración de múltiples aspectos que permitan restituir las condiciones habituales de vida y protección definitiva de sus habitantes. Otros

fenómenos asociados a los huracanes, con incidencia negativa, son los fuertes vientos y los altos volúmenes de precipitación que refuerzan las condiciones de catástrofe en las localidades costeras bajas.

Las acciones para prevenir estos efectos y posibilitar la adaptación ante las condiciones ambientales descritas en los escenarios de cambio climático, y que deben ser contempladas en el trabajo sistemático de ordenamiento territorial y urbano pueden estar destinadas a:

- Disminuir los niveles de exposición al peligro.
- Reducir la vulnerabilidad de los elementos expuestos (población, economía, vivienda, e inmuebles en general).
- Emplear el planeamiento físico y la localización de inversiones como mecanismo de reducción de riesgos y situaciones de catástrofe.
- Conjuguar las acciones para el desarrollo de territorios costeros, en particular los asentamientos, velando porque estas no se reviertan en la agudización de un riesgo o no sean consecuentes con la necesaria implementación del programa de adaptación al cambio climático.

Estas acciones básicas deben ser recogidas en todo programa de inversiones de desarrollo, incluyendo las dirigidas a la rehabilitación o la reconstrucción por situaciones de catástrofe, con medidas estructurales y no estructurales, y con prioridades claras de implementación, desde el nivel local hasta el nacional. Entre las recomendaciones que pueden ser ejecutadas en los asentamientos costeros se han identificado:

- Evitar el crecimiento habitacional y de instalaciones permanentes en las zonas costeras inundables, con impacto muy alto por las inundaciones asociadas a penetraciones del mar y en zonas de protección de las costas, en particular las más sensibles (playas de dunas arenosas y manglares).
- Prohibir la localización y construcción de instalaciones estatales y privadas, sobre dunas y bermas de las playas, por ser estas los segmentos más sensibles de las costas, al igual que los manglares que a su vez realizan acción protectora de costas.
- Evitar la nueva construcción de viviendas y otras instalaciones en las zonas afectables por las penetraciones del mar permanentes, sin medidas de protección.
- Reorientar el uso de las construcciones existentes o partes de ellas para otras actividades. Especial atención debe brindarse al caso de sótanos y subsótanos y en la primera línea de construcciones.
- Propiciar por la vía de los proyectos de urbanización, la garantía de un apropiado sistema de drenaje pluvial en las áreas de exposición a penetraciones del mar y de la orientación de las edificaciones en los proyectos de nueva ejecución, para facilitar la evacuación de las aguas en los momentos críticos, una vez que un evento desencadena las inundaciones.
- Promover, en la medida de las posibilidades, el reacomodo de los asentamientos costeros, fuera de la franja de mayor impacto por las penetraciones del mar, en particular en las costas bajas (1 000 m de distancia de la línea de costa y 1 m de altura sobre el nivel del mar), donde los efectos de las penetraciones del mar son intensos y reiterativos.

- Contemplar y perfeccionar un plan de evacuación sistemática de los habitantes a localidades e inmuebles más seguros ante la eventualidad de penetración del mar. La situación más favorable es la reubicación a un distanciamiento superior a la profundidad previsible de las penetraciones, y la elevación en altura de las edificaciones en relación con el valor estimado o histórico del ascenso del agua salobre sobre el nivel medio del mar para cada localidad en particular, y tomar en cuenta el período de retorno con que se desencadenan tales eventos, para así decidir las prioridades de intervención. En este caso se ha trabajado con la situación extrema, por ello puede adecuarse la situación a períodos de retorno más cortos, con el aseguramiento de medidas y acciones adicionales para los eventos extremos.
- Ejecutar las obras de drenaje requeridas en las zonas bajas aledañas y al interior de los asentamientos inundables, para mejorar la capacidad de evacuación de las aguas acumuladas, y establecer la ejecución y el control del mantenimiento y la limpieza de los canales de desagüe, con el objetivo de lograr la eficiencia esperada de tal medida de protección y adaptación.
- Dar respuesta en lo local al mantenimiento de los drenes, aumentar si fuera necesario su capacidad de paso y de descarga, como vía para garantizar una ágil evacuación de los excesos de agua en zonas bajas, provocados por la penetraciones del mar.
- Favorecer el distanciamiento de las instalaciones y las viviendas en zonas contiguas a la desembocadura de ríos, donde se reportan la conjunción de las penetraciones del mar, con las inundaciones de zonas bajas por el desbordamiento de los ríos. Velar por la inclusión de este análisis en todo proyecto de ampliación o desarrollo urbano, o en la ejecución de nuevas inversiones en territorios identificados como en zonas inundables.
- Promover, una vez ocurrida una situación de desastre (por surgencia ciclónica o por la coincidencia de varios peligros, incluyendo los vinculados al cambio climático), las acciones reactivas y a su vez de carácter preventiva en lo sucesivo ante nuevos eventos, la prohibición explícita y solución alternativa de localización de áreas de desarrollo para viviendas e inversiones de toda índole, para velar por garantizar: nuevos emplazamientos en terrazas elevadas respecto al nivel de ascenso esperado de las aguas, el uso de tecnologías y materiales de construcción de viviendas poco vulnerables, la inclusión de soluciones en pilotes, terrazas o la incorporación en los diseños de solución en los inmuebles para auto-evacuar los bienes en barbacoas o segundos niveles de construcción habilitados para este fin, entre otros.
- Priorizar la realización de esquemas y planes de desarrollo urbano de asentamientos humanos que son inundables de forma permanente o temporal, según un orden de prioridad que asuma un modelo de desarrollo consecuente con el peligro actual y la adaptación futura ante el cambio en el comportamiento de los peligros naturales.
- Prever mecanismos duros de protección, si el tipo de costas lo permite, brindar en ellos soluciones adecuadas de drenaje, esto permitiría contar con un menor número de elementos y habitantes en exposición, contribuyendo a la reducción de riesgos.

- Conciliar en los planes de ordenamiento territorial y urbano como prioridad, el uso público de los espacios más expuestos a las penetraciones del mar en los asentamientos costeros y emplear en estas locaciones preferiblemente instalaciones ligeras y desmontables de uso temporal, espacios públicos.
- Garantizar que con los proyectos de desarrollo de asentamientos humanos costeros se preserven las áreas forestadas, en particular la formación de manglares, reconocidas como una de las medidas que suavizan el impacto de la penetración del mar sobre los asentamientos viviendas, infraestructuras y otras inversiones, ubicadas en segunda línea de construcciones.
- Propiciar la ejecución de obras de contención, allí donde el tipo de costa lo aconseje.
- Contemplar como obra inducida obligatoria, las relativas a la protección ante penetraciones del mar e inundaciones por lluvias, para aquellas inversiones previstas en los programas y planes de desarrollo de los territorios y asentamientos humanos.
- Prohibir definitivamente el desarrollo de nuevas zonas de viviendas en áreas de penetración del mar de categoría alta.
- Apoyar programas de protecciones de las instalaciones existentes o de nueva ejecución expuestas al impacto de penetraciones del mar y de imprescindible permanencia en las localidades afectables por ascenso del nivel medio del mar por surgencia y oleaje vinculado a huracanes.
- Promover el proceso de recuperación de la franja boscosa de las zonas costeras, como uno de los factores de protección del litoral y territorios e instalaciones, ubicados tierra adentro.
- Contribuir al incremento de la reforestación de tramos costeros bajos, ubicados frente o próximos a los asentamientos costeros, en particular en costas acumulativas, para ejercer una acción protectora del litoral, rehabilitación y contención de las penetraciones del mar. Esta es una medida de disminución de daños y de adaptación de los territorios.
- Proteger las barreras coralinas o crestas arrecifales a lo largo en las costas, y entender la importancia como sistema protector de la costa de los asentamientos costeros, dados sus efectos en los intereses de pesca y el propio resguardo de los habitantes por el efecto protector que logra ante el desencadenamiento de los fenómenos que se atribuyen a los huracanes.
- Contar con un estricto cumplimiento de lo establecido por el plan contra catástrofes que establezca la evacuación de la población de asentamientos vulnerables a inmuebles más seguros, dentro o fuera de estos.
- Contar con las alternativas de solución en los esquemas de desarrollo de los asentamientos y no promover, o evitar como regla, la reconstrucción in situ de los inmuebles en estas localidades, pues contribuiría a reconstruir las condiciones de riesgo, una vez ocurrida una situación de desastre o previo a las mismas si se domina el peligro esperado.
- Prohibir cualquier acción antrópica que acelere los procesos erosivos en zonas donde estos son evidentes, tales como tala de mangle, extracción de arena,

deterioro del perfil de la duna arenosa, construcción de objetivos pesados y permanentes en áreas de la acumulación de arenas. Esta situación se hace más grave y requiere de atención especial cuando es más evidente el retroceso de la línea de costa.

- Prohibir la acumulación de desechos y otros materiales de origen natural e industrial, que modifiquen el perfil de la línea de costa y provoque condiciones adecuadas para el retroceso de la línea de costa.
- Verificar en los asentamientos costeros el cumplimiento de lo establecido en sus planes generales, parciales y especiales, en materia de lineamientos para la protección ante el ascenso del nivel del mar, y el efecto de penetraciones transitorias, como resultado del desencadenamiento de eventos meteorológicos severos producidos por la variabilidad y el cambio climáticos.
- Introducir en la práctica del urbanismo y del ordenamiento territorial, los resultados de las investigaciones realizadas en el área de los impactos esperados ante el cambio climático.
- Producir estudios sociológicos en las comunidades altamente vulnerables, bajo todas las circunstancias evaluadas del cambio climático y fenómenos hidro-meteorológicos, previos a la realización de una relocalización de los habitantes (capacitación/interiorización del problema/búsqueda de solución lógica y viable).
- Elevar la gestión y el control de los territorios a todos los niveles, y exigir el cumplimiento de las políticas, acciones, medidas y regulaciones territoriales urbanas, que garanticen el cumplimiento de la política general de adaptación, resultados del nivel científico técnico alcanzado por el país.
- Llevar los planes urbanos y territoriales a categoría de instrumentos jurídicos de cumplimiento obligatorio, con vistas a garantizar la protección de recursos económicos, sociales y la población, ante los impactos esperados del cambio climático.
- Reubicar o brindar soluciones constructivas de protección adecuadas a instalaciones que inevitablemente deben estar ubicadas junto al mar.
- Incluir en los planes anuales una asignación de inmuebles para elevar el fondo de viviendas, dirigido a brindar paulatinamente respuestas a la problemática identificada, con carácter preventivo y de adaptación además de solucionar las situaciones de catástrofes de modo reactivo ante el desencadenamiento de una situación de riesgo. Estas acciones forman parte de la gestión de reducción de riesgos de los territorios y el país.

9.5. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA SURGENCIA EN CAYERÍAS CON DESARROLLO TURÍSTICO

Cuba cuenta con cuatro archipiélagos principales en su plataforma, y desde el año 1990 se ha desarrollado un intenso programa inversionista del turismo en dos de ellos, lo que ha dado origen a la investigación en Los Canarreos (la región sur-occidental) y Jardines del Rey o Sabana Camagüey (la región nororiental), dada la exposición y gravedad del efecto de la surgencia en estas localidades naturales, y las acciones antrópicas que se ejecutan para consolidar una intensa actividad turística,

en particular las capacidades en alojamiento, instalaciones extra-hoteleras, así como infraestructuras y centros de apoyo, basados en el potencial natural disponible en playas, que deben tomar en consideración las limitantes y niveles de riesgos a los cuales se exponen. (Salas, I., 2006).

9.5.1. REGIONES DE ESTUDIO

En los archipiélagos seleccionados se encuentran cinco de las regiones turísticas del país, identificadas en la tabla 9.13. Ambos con un alto potencial natural, que les ha permitido alcanzar un importante y acelerado desarrollo turístico, y disponen de un fuerte proceso inversionista en términos de incremento de capacidades hoteleras e infraestructuras técnicas.

Tabla 9.13. Regiones geográficas, regiones turísticas y objetivos de estudio

REGIONES GEOGRÁFICAS DE LA PLATAFORMA INSULAR *	ZONAS GEOGRÁFICAS	REGIONES TURÍSTICAS	OBJETIVOS A ESTUDIAR
Nororiental	Archipiélago Sabana - Camagüey	Sagua	Cayos: Bahía de Cádiz, Sotavento y Esquivel.
		Caibarién	Cayos: Frágoso, Francés, Ensenachos, Santa María, Las Brujas y el vial a Cayo Santa María.
		Jardines del Rey	Cayos: Guillermo, Coco, Paredón Grande, Antón Chico y el vial a Cayo Coco.
		Norte de Camagüey	Cayos: Mégano Grande, Cruz, Romano, Guajaba, Sabinal y el vial a Cayo Romano.
Suroccidental	Golfo de Batabanó	Archipiélago de los Canarreos	Isla de la Juventud: Punta del Este, Playa Blanca, Cocodrilo, Francés-Pedernales, Colony y Playa Bibijagua; Cayo Largo, Cayo Rosario, Cayo Ávalos y Cayo Campos.

* Claro, 1994. Hernández, 1999.

Estas zonas clasifican como de exposición temporal al impacto negativo de ciclones producto de la surgencia y el oleaje, fenómenos que provocan las mayores penetraciones del mar, deterioro de las dunas arenosas; condiciones que previsiblemente se verán reforzadas por el ascenso nivel medio del mar derivado del cambio climático, y que hoy tienen manifestaciones de erosión o abrasión de las playas y la disposición natural de arenas hacia el interior de las lagunas costeras, proceso este que es detenidamente estudiado a profundidad por sus efectos en

este complejo ecosistema y los efectos posteriores que se registran en cuanto a la alimentación de las dunas arenosas.

Las localidades estudiadas han sido valoradas como de peligro Muy Alto y Alto respectivamente, ante el impacto de la surgencia que acompaña a los ciclones tropicales, con un alto grado de Vulnerabilidad y Riesgo (Salas, 1999).

9.5.2. PELIGRO DE INUNDACIÓN COSTERA POR SURGENCIA

A partir del estudio físico-geográfico de cada localidad, se ha establecido la estrategia para determinar el peligro de inundaciones costeras por surgencia. Entre otros factores analizados, los ciclones tropicales que impactan a los cayos lo hacen en general con mayor intensidad, cuando el ángulo de incidencia de su arribo a la costa está entre 90° y 225°, y con alturas de surgencias mayores en el sector derecho de su movimiento de traslación, excepto para la Playa Bibijagua, en Isla de la Juventud, donde la trayectorias más nocivas son las que arriban con un ángulo de incidencia comprendido entre los 45° y los 180°.

Las zonas de playas con dunas arenosas, y las que tienen las dunas erosionadas, son muy sensibles, mientras en los sectores de costas con manglares y lagunas interiores, presentan con su formación boscosa un frente de resistencia a estos eventos, cumpliendo el efecto de barrera de protección tierra adentro, aminorando por fricción el efecto nocivo. Las costas altas abrasivas reportan una incidencia menor de impacto por pérdida de energía lograda al chocar las olas con las rocas. Se determina también que la presencia de barreras y crestas arrecifales ejercen una acción protectora ante la penetración del mar, al interponerse al avance de la ola de surgencia en su aproximación a la línea de costa.

9.5.3. ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL ESTUDIO DE LA CAYERÍA

La precisión alcanzada por los modelos de pronóstico, depende de la calidad de la información disponible para lograr mayor certidumbre. Sin embargo la combinación de los sistemas físicos y sociales están pobremente entendidos; la información sobre las variables es incompleta, y solo pueden ser apreciadas a través de la intuición y son mejor comunicadas por las imágenes e historia de la localidad. Para este estudio se asumieron los Escenarios IS92 del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), que mostraron el camino a los investigadores cubanos que realizaron modelaciones del clima futuro para Cuba.

9.5.3.1. ASCENSO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

En la tabla 9.14 se resumen las proyecciones de ascenso del nivel medio del mar para Cuba bajo condiciones de distintas sensibilidades climáticas y su variación en el tiempo con los escenarios A1C y B2, evaluados para realizar este estudio y que conjugan ciertos paradigmas sociales, económicos, tecnológicos y ambientales identificados por la comunidad internacional en su labor de predecir comportamiento del clima y otros eventos asociados.

La situación seleccionada ha sido A1C para la sensibilidad climática Alta, que repercute en un ascenso del nivel medio del mar de 0,27 m al año 2050 y de 0,85 m al año 2100. Esta constituye el punto de partida para aplicar el modelo de cálculo

Tabla 9.14. Proyecciones del nivel medio del mar para Cuba y su variación en el tiempo con el Modelo MiniCam y los Escenarios A1C y B2, seleccionados en este estudio

ESCENARIOS	SENSIBILIDAD CLIMÁTICA (ΔT)	AÑO			
		2030 (cm)	2050 (cm)	2070 (cm)	2100 (cm)
A1C	Baja(1,5 °C)	4	8	14	22
	Media(2,6 °C)	9	17	30	49
	Alta(4,2 °C)	15	27	48	85
B2	Baja(1,5 °C)	4	7	10	15
	Media(2,6 °C)	10	16	23	23
	Alta(4,2 °C)	15	26	40	40

Autor: Salas, I., et al., 2006

de la surgencia MONSAC 3, útil para determinar la altura total de la surgencia por CT el peligro y con posterioridad el riesgo de los cayos con desarrollo turístico y sus principales instalaciones dentro de los dos archipiélagos seleccionados una vez que ha sido evaluado la vulnerabilidad y exposición de estos.

El ascenso previsible del nivel del mar de entre 0,27 y 0,85m para el escenario A1C (sensibilidad térmica o de ascenso estimado de entre 1,20 C y 4,20 C de temperatura) y se ha comprobado que estos valores repercuten de forma limitada en los resultados de la aplicación del modelo MONSAC 3.1 para el cálculo de las surgencia de CT., de compararse los valores de surgencia actual con la futura, se aprecia que el incremento de alturas es de 3 a 6% respecto a la situación actual.

En el impacto y vulnerabilidad de las construcciones radicadas junto a las costas, inciden otros factores como la altura del emplazamiento, la altura de las edificaciones, el diseño de las obras, la resistencia de materiales empleados y la existencia o no de obras ingenieras de protección, entre otros, de vital interés para las actividades turísticas en las cayerías y que se insertan como elementos complementarios en el estudio realizado.

9.5.3.2. MAPAS DE PELIGRO POR SURGENCIA

El Decreto Ley 212 del año 2000 define a la costa como: la franja marítima-terrestre de ancho variable, donde se produce la interacción de la tierra, el mar y la atmósfera mediante procesos naturales. Su ancho es variado y depende de las características propias de la costa; este Decreto establece límites de protección acordes a los objetivos de conservación y mejoramiento de estos ecosistemas como parte de la política de manejo integral de las costas no así el efecto de las penetraciones del mar.

Las condiciones del archipiélago cubano son peculiaridades dadas por su extensión, diversidad de costas y repetitividad de los eventos meteorológicos severos tropicales y extratropicales. Lezcano y A. Pérez, 1993, permitieron diferenciar la zona costera en dos subzonas: la primera que se corresponde con los primeros 1 000 m, la de mayor impacto debido a un ascenso súbito del nivel medio del mar, limitada por el intervalo altimétrico de 1 m, para dar el máximo peligro de inundaciones costera por penetración del mar, y una segunda zona cuando esta costa puede alcanzar en zonas bajas la cota de 5 m de altura y distante 5 000 m de la línea de costa. Esta definición se apoya en el comportamiento de las series cronológicas sobre eventos

meteorológicos severos del Instituto de Meteorología, y que originan penetraciones del mar en costas bajas pantanosas registradas entre 0 y 12 Km, este último valor en el sector 4 en las proximidades de la Playa Guanímar, al sur de la provincia La Habana en el año 1944.

En la figura 9.4 se muestran 26 sectores costeros determinados en esa oportunidad y que han servido para la realización de esta investigación por su utilidad práctica, basada en la información de costas en tierra firme pero útil aun así para las especificidades de la cayería. En este caso serían coincidentes los tramos 17, 18, 19 con el archipiélago Sabana-Camagüey y los tramos 23, 24, 25, 26 para las costas de la Isla de la Juventud y sin sector específico los cayos que conforman el archipiélago de Los Canarreos al este de la referida isla. A su vez en la figura 9.5 se aprecia la primera versión del nivel de peligro cualitativo de los sectores.

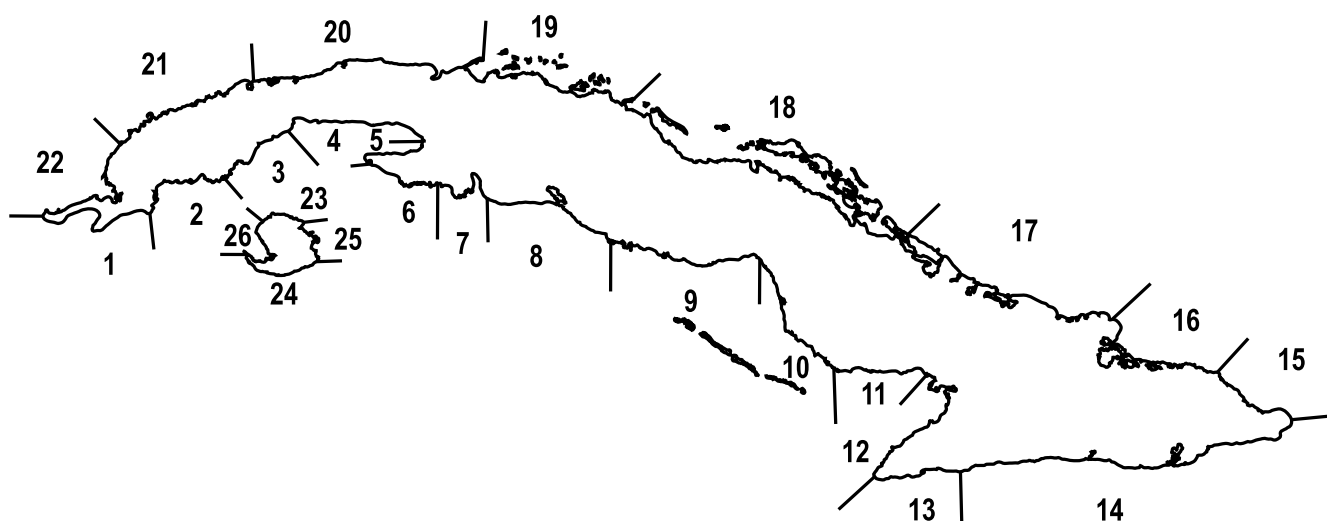


Figura 9.4. Mapa de sectores costeros con características físico-geográficas similares.
Fuente: Salas, 1999

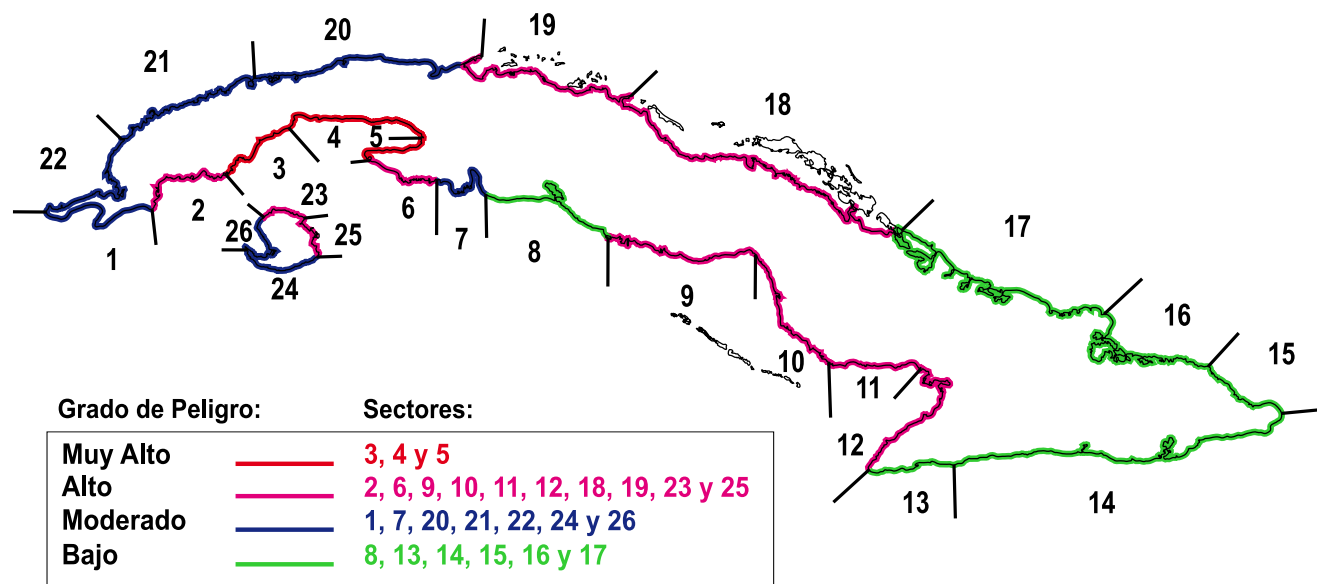


Figura 9.5. Mapa de peligro por surgencia provocada por los ciclones tropicales
Fuente: Salas, 1999

9.5.3.3. VULNERABILIDAD Y ASCENSOS DEL NIVEL DEL MAR

9.5.3.3.1. Determinación de la vulnerabilidad

Determinado el peligro, la estimación de la vulnerabilidad se calcula como la diferencia entre los impactos más críticos y las adaptaciones adoptadas para aliviar los efectos nocivos del fenómeno (Burton, 2001).

Una correcta gestión del riesgo es la guía apropiada para la decisión de políticas de reducción de vulnerabilidades, a través de un proceso lógico y sistemático que considere todos los posibles impactos futuros en el tiempo y que tome en cuenta todo riesgo para la totalidad de actores, la evaluación de costos y los beneficios a alcanzar. (Arenal, 2003). Para ello, se requiere una selección de indicadores que favorecen o reducen la vulnerabilidad de una localidad; la evaluación cualitativa de estos y su cualificación en grupos de gravedad; la selección de indicadores clave del peligro y su evaluación cualitativa; además de integrar estos aspectos para determinar niveles de riesgo por instalación y localidad.

La evaluación del Peligro establece cuatro grados de peligro, Muy Alto, Alto, Medio y Bajo a partir de considerar la altura y el período de retorno de la surgencia del presente y para los escenarios de ascenso del nivel medio del mar. Este trabajo se realiza para cada cayo, segmentos de estos y pedraplenes.

La valoración de la vulnerabilidad depende de aspectos naturales como: la presencia de barreras arrecifales, el tipo y densidad de la vegetación costera, la dinámica del litoral con un balance acumulativo favorable y las características morfológicas de la playa, entre otros. En el caso de las instalaciones y de las infraestructuras, la capacidad de respuesta depende fundamentalmente de su localización espacial con respecto a la línea de la costa, dado por la distancia y la altura del emplazamiento, además se consideran la tipología constructiva, su estado y la resistencia de los materiales empleados, aspectos que moderan la mayor o menor vulnerabilidad.

El trabajo realizado incluyó el análisis de 229 elementos, 67 naturales, fundamentalmente playas, y 162 elementos antrópicos, de ellos 28% son construcciones ejecutadas y un 72% que corresponden a parcelas preservadas para asimilar el desarrollo turístico de cada cayo. Del desarrollo del trabajo en los dos archipiélagos se concluye que el 75% de las playas analizadas se localizan en la cayería norte Sabana-Camagüey, en particular en las 21 regiones turísticas del Norte de Camagüey y la 14 en la región los Canarreos.

La vulnerabilidad de los elementos naturales para el desarrollo turístico se determinó en 67 unidades costeras, el 69% localizada en la cayería norte y el 31% en la sur; la mayoría de las playas poseen altos valores naturales para el desarrollo del turismo, aunque existen tramos costeros donde se localizan pueblos turísticos o costas acantiladas de importancia. El número de playas clasificadas por grados de vulnerabilidad indican la siguiente distribución: Muy Alto (18), Alto (18) y Medio (18) y con vulnerabilidad Baja hay 13 playas.

Existe una visión detallada de la vulnerabilidad de los objetivos naturales, instalaciones actuales y actividades antrópicas proyectadas al futuro, de manera que cada punto o centro ha sido evaluado para un ascenso extremo del nivel medio del mar y la surgencia por huracanes categoría 5 de la escala Saffir-Simpson, que es la peor situación que pudiera producirse.

La evaluación de la vulnerabilidad en el archipiélago de Los Canarreos para 21 unidades costeras con diferentes modalidades y nivel de desarrollo turístico, dio como resultado que el 48% clasifica en vulnerabilidades de categorías Muy Alta y Alta.

En el archipiélago Sabana Camagüey además se ubica una de las zonas más ricas en biodiversidad de Cuba y el Caribe, donde se identificaron 46 unidades en 17 polos turísticos, 14 con grado Muy Alto, 12 Alto, 12 Medio y solo 8 de Bajo. El 76% de las unidades analizadas están en las regiones turísticas de Norte de Camagüey y Jardines del Rey, donde el 56% de las mismas tiene vulnerabilidad Muy Alta o Alta.

El estudio de la vulnerabilidad de los elementos antrópicos construidos para el desarrollo turístico, demuestra que la mayoría de los elementos antrópicos analizados se ubican fuera de la zona de protección costera establecida en el Decreto Ley 212/2001, por tanto su distancia a la línea costera excede los 50 m y en ocasiones supera los 100 m y donde el estado constructivo de los inmuebles nuevos es bueno, con predominio del uso de materiales de construcción sólidos. La totalidad de las parcelas propuestas para el desarrollo, se localizan fuera de la zona de protección costera, factor este que disminuye el impacto en ellas, pero no están resguardadas por entero de la surgencia estudiada en esta oportunidad.

La investigación incluye el análisis de un total de 45 elementos antrópicos construidos, de ellos 42 son instalaciones hoteleras y de apoyo, y 3 son los pedraplenes ubicados en la cayería norte, el 69% de los elementos antrópicos construidos se localizan en el archipiélago Sabana-Camagüey. El comportamiento por grado de vulnerabilidad es bastante uniforme, aunque poco más del 50% se corresponde con los grados Muy Alto y Alto en las instalaciones hoteleras y de apoyo, mientras el 100% en los pedraplenes tiene igual categoría y alta exposición, ya que pueden afectarse e incomunicarse del resto de las instalaciones al paso de un huracán. El huracán IKE del 2008 dejó una experiencia, no por nueva desconocida, que implicó todo un proceso sostenido de reconstrucción y rehabilitación en particular de los puentes, dañados en los puntos de apoyo y que en general limitó el paso por las vías.

Por otra parte se estudiaron 117 parcelas propuestas para el desarrollo turístico, 95 en la cayería norte y 22 en la sur, y se identifica el grado de vulnerabilidad a partir de las características naturales del emplazamiento, la cantidad de habitaciones y el número de trabajadores, debido a que aun no se cuenta con la definición de los parámetros constructivos. Debe señalarse que las variables: altura del emplazamiento respecto a la altura de la duna y la distancia a la línea de costa, así como la presencia de lagunas litorales tienen un peso significativo en la exposición de estas parcelas a los efectos de la surgencia.

Predominan los grados de vulnerabilidad Alta y Bajo, un análisis comparativo entre la vulnerabilidad de las dos cayerías establece que en Los Canarreos no se proponen parcelas con grado de vulnerabilidad Muy Alto, y solo cuatro alcanzan vulnerabilidad Alta, con un predominio de los valores Bajos, mientras en Sabana-Camagüey, se evidencia lo contrario, hay un mayor número de parcelas propuestas con vulnerabilidad Muy Alta y Alta, que deben ser monitoreadas en lo sucesivo para reducir sus índices de afectación.

9.5.3.6. RIESGO DEL PRESENTE Y EN LOS ESCENARIOS FUTUROS

La importancia de la evaluación del riesgo por surgencia en las zonas costeras insulares, radica en que ahí pueden ocurrir pérdidas materiales o humanas, y dar

lugar a situaciones de catástrofe, en caso de no existir una estrategia de respuesta adecuada. Los eventos meteorológicos extremos causantes de la surgencia, no pueden modificarse, pero si trabajar por disminuir el efecto de esta sobre las playas; a la vez que actuar sobre las vulnerabilidades, si se puede incidir mediante el ordenamiento integral de las zonas costeras, la localización protegida; el diseño y resistencia de las instalaciones turísticas, de apoyo e infraestructura desempeñaron un papel fundamental en su calificación.

En ambos archipiélagos, tanto los elementos naturales como antrópicos, tienen grados de riesgo en donde predominan los valores de Muy Alto, Alto/Muy Alto y Alto, para constituir el 60% de las parcelas analizadas. Hay elementos con valores Alto, mientras que los grados Bajo y Medio/Bajo son muy pocos al norte, y no existen en el archipiélago del sur.

Esta situación se mantendrá a muy largo plazo, pues el ascenso del nivel medio del mar provocado por el cambio climático contribuye a reforzar la altura de la surgencia, y donde la proximidad de los lotes construidos y los de uso previstos a ocupar en la línea costera, exponen en mayor magnitud a los elementos naturales y antrópico a edificar ante la fuerza del agua de mar en su proceso de penetración tierra adentro.

9.5.4. CONCLUSIONES

- El nivel de construcción hoteleras en las costas alcanzado en el año 2010 superó la cifra de 40 000 habitaciones, de ahí la necesidad de este estudio y la identificación de medidas de prevención, protección o de adaptación para evitar las importantes pérdidas de vidas humanas, por lo cual se necesita perfeccionar los planes de contingencia con evacuación de turista por parte de la Defensa Civil ante situaciones de amenazas.
- El acelerado proceso inversionista vinculado al turismo en la cayería se guía desde el año 2001 por el Decreto Ley 212 de gestión de zonas costeras, dirigido en lo fundamental a la protección de estos ecosistemas, y permite delimitar la zona de protección costera definida a partir de sus recomendaciones, no incluye el comportamiento de la surgencia por tormentas tropicales y huracanes y los procesos derivados del cambio climático.
- El estudio de los cayos de los archipiélagos de Los Canarreos y Sabana Camagüey, ha permitido establecer, en detalle y con criterios de expertos, la magnitud del peligro, la vulnerabilidad de los elementos naturales y antrópicos en exposición, así como la estimación del riesgo en cada localidad seleccionada. Además se ha analizado el comportamiento ante las condiciones que se derivan de la simulación de los escenarios de cambio climático previsibles para Cuba.
- La investigación brinda al ordenamiento territorial de las zonas turísticas, y al Sistema de la Planificación Física datos de interés para los dos archipiélagos más importantes del país, donde se ha instalado el grueso de las inversiones turísticas en la última década y en franco proceso de desarrollo en el año 2011 y permiten hasta la prohibición de intervenciones constructivas por los sensible de algunos de estos cayos.
- En el análisis ha quedado reflejado que las modificaciones ocasionadas por el ascenso del nivel del mar y las surgencias en zonas de playas, para un escenario

de cambio climático, repercuten significativamente en el ancho de las franjas arenosas aptas para el turismo, que pueden disminuir en superficie total, con reducción de las capacidades instantáneas de bañistas y modificaciones en el perfil de las dunas.

- El peligro originado por surgencia de huracanes es más frecuente para el archipiélago de Los Canarreos que en Sabana-Camagüey, y en ambos casos, los valores de altura de la surgencia se incrementan de este a oeste lo que incide en la clasificación que adquiere el riesgo de las playas, las instalaciones construidas y las proyectadas para un futuro.
- Presentan un riesgo calificado de Muy Alto a Alto, 41 de las 67 polos estudiados, de ellos 25 se localizan en Sabana-Camagüey y 16 en Los Canarreos, solo 3 playas del archipiélago del norte poseen la categoría de riesgo Bajo ante una eventual surgencia por estar relativamente protegidos.
- El 42% de las instalaciones construidas estudiadas reflejan un riesgo Muy Alto y Alto, en la categoría Media aparecen 14, mientras con riesgo Bajo no existe instalación alguna; en relación a las de 117 parcelas concebidas para obras de futuro emplazamiento y desarrollo evaluadas, (95 en Sabana-Camagüey y 22 en Los Canarreos), clasifican en la categoría de riesgo Muy Alto a Alto 64 instalaciones que representan el 54%, en su mayoría se localizan en el archipiélago del norte; al grupo de riesgos Medio corresponden 11 propuestas de desarrollo y se considera inexistente la posibilidad de un riesgo Bajo entre las instalaciones a desarrollar en la perspectiva.
- La surgencia esperada en los pedraplenes puede alcanzar valores superiores a 3 m sobre el nivel medio del mar, según su orden de localización de oeste a este (Cayo Santa María, Cayo Coco y Cayo Romano-Santa Cruz), el efecto esperado se materializa en una intensa fuerza de la columna de agua y del viento que embestirá al trazado y diseño de las vías, que puede socavar su basamento, paseos y corona, con efectos desestabilizadores y pérdida del funcionamiento según el grado de impacto producido.
- El ordenamiento territorial con sus instrumentos de planeamiento, gestión y control aborda de forma priorizada los temas del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo a los desastres naturales y antrópicos en los diferentes territorios, mediante el establecimiento de políticas, regulaciones, acciones y medidas para mitigar, reconstruir y prever los impactos esperados.

9.6. LAS CIUDADES Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

La magnitud de la transformación del medio urbano viene dada por el tamaño de la urbe, las características físico-geográficas de su localización y las relaciones socioeconómicas que se establezcan en el desarrollo de cada ciudad. Inevitablemente para dar paso al ecosistema urbano se produce una intervención muy seria sobre los ecosistemas naturales; si estas transformaciones se hacen de forma no planificada, surge una inevitable e intensa degradación del medio, que se manifiesta en cambios de sus componentes naturales, tales como: la contaminación de las aguas, la atmósfera y los suelos, los problemas de inundación y el empobrecimiento de la capa vegetal, la descomposición e inadecuado manejo de los desechos, la deforestación,

la edificación en zonas de peligro, la desorganización del emplazamiento de viviendas, por citar solo algunos ejemplos; con amplias repercusiones en la calidad de vida de la población residente.

9.6.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS CIUDADES QUE IMPACTAN AL MEDIO AMBIENTE

Las ciudades presentan un conjunto de rasgos que las caracterizan y que producen impactos en las diferentes escalas de los componentes atmosféricos del sistema medioambiental urbano. Entre los más importantes en el contexto del cambio climático y sus efectos, se aprecian:

- Aglomeración de la población, con aumento de la producción de desechos sólidos y líquidos.
- Mayor consumo de energía y, por consiguiente, una mayor generación de calor hacia el entorno urbano.
- Concentración de industrias y otras actividades productivas, que provocan un aumento en la contaminación atmosférica.
- Muchos de los expelidos a la atmósfera por las ciudades se clasifican como Gases de Efecto de Invernadero (GEI).
- Gran densidad de edificaciones, fundamentalmente viviendas y centros de servicios, con la particularidad de almacenar mucho calor durante el día, y de emitirlo lentamente en la noche.
- Entramado complejo de vías, muchas de ellas asfaltadas, que conforman el conjunto que más calor genera en las áreas urbanizadas, existiendo diferencias en cuanto a su ancho, orientación y ubicación.
- Déficit de drenaje y obstrucción del natural existente.
- Mayor demanda de agua desde fuentes subterráneas, con alto impacto en los acuíferos abiertos al mar.
- Áreas abiertas que reciben mayor cantidad de radiación solar que las calles.
- Presencia de espacios verdes urbanos que atenúan, en cierta medida, los efectos de generación de calor, constituyendo áreas mucho más frescas dentro de la ciudad.
- Componentes urbanos que generan condiciones medioambientales en todas las escalas climáticas conocidas, desde las micro-climáticas hasta la global, entre ellas el microclima urbano, asociadas a la composición y trazado de las vías; el tráfico; y la intensa actividad industrial, en particular por la peculiar distribución del viento dentro de la urbe, con influencia en los cambios del clima por la influencia antrópica.
- El establecimiento de balances térmicos e hídricos diferentes a los existentes en las zonas rurales aledañas, así como entre los distintos barrios del asentamiento poblacional.
- La aparición del efecto de isla de calor, con repercusiones en el bienestar térmico de sus habitantes y en el incremento de las precipitaciones a sotavento de la ciudad.

- El clima urbano se analiza, comparándolo con su entorno próximo, aunque cada ciudad conserva los rasgos climáticos propios de la región en la que se asienta.

9.6.2. EL ESTUDIO DE LAS CIUDADES EN CUBA

Durante años, tanto el Instituto de Planificación Física (IPF) como sus direcciones provinciales (DPPF), han realizado estudios sobre las ciudades y su planeamiento, que incluyen los efectos locales de la urbanización sobre el confort ambiental de sus habitantes, y cómo sus dimensiones influyen en ello. También, el tema del clima urbano ha estado entre los intereses investigativos del Instituto de Meteorología (INSMET). En primer lugar, Ortíz, R y H. Ortiz, 1955, establecieron la distribución de las temperaturas en La Habana, mediante observaciones efectuadas durante un día, utilizando instrumentos montados en vehículos; luego Paz, L., 1986, determinó las temperaturas máximas y mínimas en siete puntos de observación de la ciudad. También se desarrollaron importantes estudios sobre el clima de la ciudad de La Habana, con la colaboración soviética en el Laboratorio Conjunto Cubano-Soviético de Meteorología Tropical, cuando se calcularon los valores de tres índices bioclimáticos de sensación térmica: temperatura efectiva, efectiva equivalente e índice de calor sofocante (Nieves, M.E. *et al.*, 1988).

Durante los años '90 continuaron las investigaciones en La Habana y otras ciudades más pequeñas (Nieves, M. E. y P. L. Ortiz, 1994). Se han identificado dos efectos de la ciudad sobre el medio ambiente: los efectos sobre las variables físicas y los efectos sobre la composición química del aire; encontrándose valores más elevados de temperatura hacia el centro de La Habana, que conforman islas de calor, sujetas a migraciones y fluctuaciones en su intensidad durante el día y bajo condiciones meteorológicas específicas, como señalan Nieves, M. E. *et al.*, 1988. Lo anterior es también aplicable al comportamiento de algunos índices bioclimáticos (temperatura efectiva y efectiva equivalente e índice de calor sofocante), aun cuando se atenúan las diferencias entre la ciudad y sus alrededores.

Este trabajo se concentra en el estudio de las capitales provinciales, en estaciones meteorológicas de algunas de estas ciudades, que hagan par con una cercana en el ámbito rural, para realizar las comparaciones pertinentes. Para el estudio se midieron las variables: temperaturas máxima y mínima medias del aire, temperatura media del aire, humedad relativa del aire, tensión del vapor de agua, precipitación total, velocidad media del viento, dirección y velocidad media del viento predominante, número de días con precipitación y número de días con tormenta, desde 1979 hasta 2009. Investigaciones más reciente incorporan nuevos resultados alcanzados en el comportamiento de las variables climática de zonas urbanas y aledañas (INSMET, 2011).

9.6.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CAPITALS PROVINCIALES

Las doce ciudades seleccionadas están en distintos estadios de desarrollo; como capitales provinciales han recibido un amplio programa constructivo, que ocupó nuevas áreas y, además, modificó el entorno producto de las emanaciones de gases y residuales de las industrias y las zonas residenciales, así como la acumulación de calor en sus diversas zonas funcionales. Esta situación provocó un aumento de la contaminación, y agravó el déficit de áreas verdes y parques en zonas céntricas e interiores de las ciudades, al priorizarse la creación de grandes parques en áreas de la

periferia. Tanto la higiene comunal, como la calidad de la imagen urbana, mantenían un nivel aceptable en la mayoría de las ciudades, en dependencia de la disponibilidad de recursos en el país.

Entre 1990 y 1996 se produjo un brusco deterioro de la situación económica cubana, que prácticamente paralizó el proceso inversionista en ellas, y la búsqueda de soluciones urbanas alternativas estuvo condicionada a los muy escasos recursos disponibles. Dos aspectos que desempeñaron un papel definitorio en el cambio producido en ese período fueron: la crisis energética, que conllevó la destrucción de algunas áreas verdes, sobre todo en la periferia, creando una situación altamente contaminante para la atmósfera urbana; acompañada del uso de petróleo cubano, con muy alto contenido de azufre, en un grupo considerable de actividades productivas y de servicios; y el segundo fue la crisis alimentaria, que condicionó una transformación de la propia imagen de las ciudades, al surgir nuevas figuras como: el huerto, el organopónico, la siembra de vegetales y viandas en los parterres y jardines, y otras acciones similares que deterioraron el paisaje en las ciudades, transformándolo básicamente en paisajes rurales.

A partir de 1997, con el inicio de la recuperación económica del país, ha tenido lugar un desarrollo y reactivación paulatina de algunas actividades básicas, como: la industria, modificaciones en los sistemas de generación y transmisión de la energía eléctrica, modificaciones en el consumo eléctrico domiciliario, cambios tecnológicos en el ámbito de la remotorización, que redujeron el consumo de combustibles, esto ha significado ligeras mejoras en el fondo de contaminación de las ciudades y la reducción del nivel de emisiones de GEI, el desarrollo turístico, el petróleo y otras esferas. Dicho desarrollo ha condicionado modificaciones al medio ambiente, con un amplio interés de lograr soluciones más eficaces, para aminorar los impactos negativos que se generan y establecer procesos de gestión para mejorar el medio ambiente y la calidad de vida de la población.

9.6.4. PROBLEMAS DE LAS CAPITALES PROVINCIALES

Entre los principales problemas de las capitales provinciales, están los relacionados con el estado del medio ambiente, que afectan a la población y al despliegue de las potencialidades de las urbes como centros de importancia nacional o regional, se han identificado (Bermúdez, E., 1999):

- Puntos de vertimientos planificados o previstos (micro-vertederos), cuya ubicación no es adecuada; o están sin control y operan de forma inadecuada. Incluye déficit en los servicios de recogida de basura domiciliaria y limpieza de las calles. Esta situación que se viene resolviendo en la primera década del siglo XXI, cuando se reactiva la economía y surgen fuentes de abasto y producción de combustibles, se organiza la actividad y se dota de equipos para tales fines a las administraciones de las ciudades.
- Alto nivel de deterioro en las redes hidrosanitarias en todo el país, que aumentan el déficit de servicios para la ciudad; incrementada por la práctica frecuente a entregar nuevas zonas de vivienda sin las redes necesarias; y por práctica habitual de vertimientos de residuales líquidos de entidades productoras y viviendas a cuerpos receptores, sin el tratamiento requerido para su conservación.

- Residuales tóxicos acumulados en industrias y hospitales, sin que esté prevista una solución integral, que pueden llegar a constituir amenazas para población urbana y el medio ambiente a largo plazo de no encontrarse solución a estas.
- Deterioro de parques y áreas verdes en las zonas céntricas y en la periferia.

Cárdenas *et al.*, 1994, reportaron que no se ha comprobado que el crecimiento urbano haya tenido un impacto apreciable en el clima de la localidad donde se asienta la ciudad; las diferencias encontradas entre estaciones alejadas y cercanas a las ciudades fue muy pequeña.

9.6.4.1. LA CIUDAD DE CIENFUEGOS

Esta ciudad es un asentamiento humano costero que fue reconocida como ciudad en 1829, la caracterizan, su enclave junto a una bella y amplia bahía de bolsa; un jardín botánico emblemático para el país; su cementerio-jardín; un prado y un malecón de incalculable valor estético-funcional y cuyo centro ha sido declarado Patrimonio de la Humanidad; mientras, en ella se produce un fuerte crecimiento portuario industrial, reactivado con el actual desarrollo petroquímico iniciado años atrás, para dotarle de enormes perspectivas de desarrollo.

La ciudad de Cienfuegos registra una temperatura media anual del aire de 24,7 °C, con los valores más altos en los meses de julio y agosto (27,0 y 26,9 °C, respectivamente) y los más bajos en enero y febrero (<22,2 °C); con máximas entre 32,4 y 33,0 °C en los meses de junio, julio y agosto; mínimas por debajo de los 18 °C los meses de enero, febrero y diciembre. La humedad relativa del aire alcanza una media anual de 77%; la tensión de vapor media anual es de 18,4 mm, reportando las magnitudes más altas en los meses de junio, julio y agosto (20,9, 21,0 y 21,3 mm respectivamente); y las más bajas, en enero y febrero (<15,3mm).

El régimen de lluvias alterna temporadas lluviosa y poco lluviosa; con una precipitación total anual de 1 398,4 mm, el 78% de la cual ocurre en el período lluvioso; presenta una frecuencia anual media de 130 días con precipitación, de ellas 94 en el lluvioso. Al comparar lo acontecido entre 1981, 1999 y 2005, para los elementos estructurales (figuras 9.6 y 9.7), se concluye que:

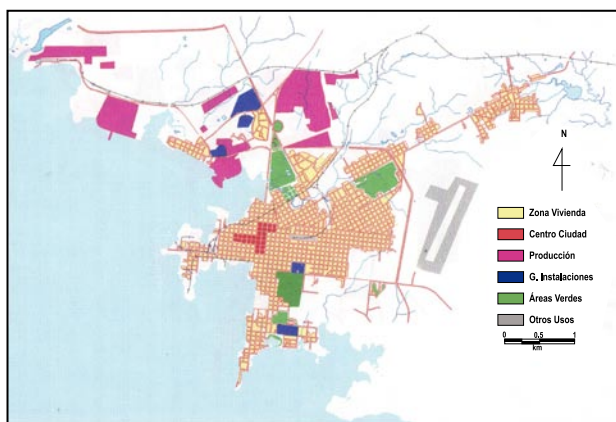


Figura 9.6. Mapa uso funcional del suelo Cienfuegos 1981

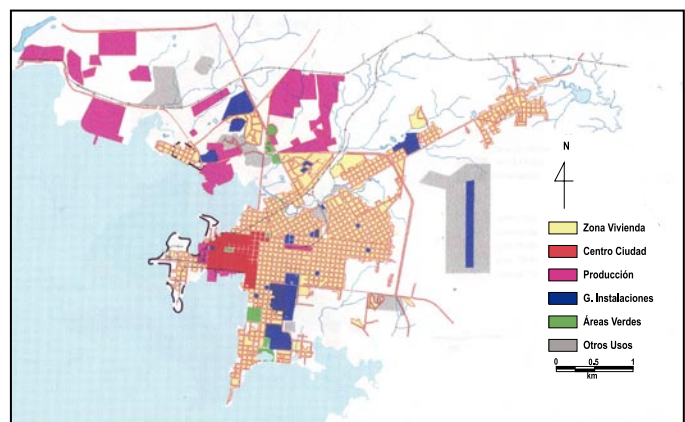


Figura 9.7. Mapa uso funcional del suelo Cienfuegos 2010

Las áreas ocupadas por las viviendas (tabla 9.15) tuvieron un incremento de casi 200 ha durante los últimos veinte años, un nuevo desarrollo con edificios altos, y poca ocupación de espacios libres insertados en la trama urbana antigua. La población aumentó en más de 35 000 habitantes, y la densidad neta residencial tuvo un aumento de casi 15 hab/ha, debido a la alta concentración de la población urbana, y de las actividades vinculadas a consumos de energía de todo tipo, que liberan calor al entorno.

Tabla 9.15. Dinámica de uso del suelo

USO DE SUELO	1981	1999	2005	2010	ÍNDICE CRECIMIENTO 1981 - 2010	% DEL TOTAL 2010
Vivienda	785	960,3	1 751,7	1751,7	2,23	36,5
Centro	23	65,5	90	90	3,91	1,87
Producción	460	791	828,8	791,06	1,72	16,48
Grandes Instalaciones	116	135,8	135,8	135,8	1,17	2,83
Transporte	248	407,3	513,7	37,2*	-	0,78
Áreas verdes	87	58,2	80,3	80,3	0,92	1,67
Otros usos	67	90,4	-	422,84	6,31	8,81
Áreas libres	210	1 491,1	-	88905	4,23	18,52
Accidentes geográficos	67	314,5	no dato	602,12**	8,99	12,54
Área total	2 063	4 214,1	4 800,0	4 800,0	2,33	100,00
Población total (hab)	103 000	139 260	145 300	143 894	-	-
Densidad neta (hab/ha)	131,2	145	82,94	82,15	-	-

* Solo incluye el puerto, la DPPF no aclaró esta cifra.

**Áreas no construibles

Fuente: DPPF Cienfuegos, 2003, 2006 y 2010

La provincia experimentó el mayor crecimiento en instalaciones de producción a nivel nacional (más de 400 ha), con industrias altamente contaminantes como son, la termoeléctrica, la refinería y la fábrica de cemento, está última ubicada al este y a más de 5 km del límite urbano. Cabe señalar que la modernización y avance de la tecnología contratada mejoran la magnitud y calidad de las inversiones. El proceso industrial se gesta en grandes áreas destinadas a estos fines en el esquema de la ciudad, en las afueras de la zona residencial de alta densidad de población y de actividades comunes a poblaciones concentradas.

Las áreas verdes disminuyeron en casi 30 ha durante el período 1981-2000, recuperando la casi totalidad de las mismas en el 2005. Los principales déficit se siguen ubicando en las zonas de viviendas de nuevo desarrollo y en el casco urbano, aunque también resultan insuficientes las 25 ha de las zonas de protección sanitaria de las industrias.

Las zonas de transporte se incrementaron en más de 340 ha durante todo el período, con el peso mayor en las instalaciones vinculadas a la actividad portuaria y al desarrollo petroquímico que tras más de 15 años paralizados, hoy están bajo un régimen constructivo fuerte de ampliación y reanimación.

9.6.5. CONCLUSIONES

Las ciudades cubanas sufrieron transformaciones notables en su estructura y funcionamiento durante los veinte años transcurridos hasta el 1990, cuando se detuvieron bruscamente las actividades de crecimiento, y que solo se han reactivado en ciudades priorizadas en la primera década de los 2000. Las esferas que experimentaron un cambio más evidente fueron las de vivienda, industria, servicios, grandes instalaciones y las áreas verdes; que propiciaron una mayor concentración de la población y el incremento en el consumo y liberación de energía, con todos los efectos climáticos que esto trae aparejado, fundamentalmente en temperatura y número de días con lluvias.

En este sentido, se confirmó que los “*momentos de cambio*” observados de esas variables, ocurrieron en el decenio (81-90), coincidiendo con el mayor auge constructivo en el país y un desarrollo acelerado en todas las ciudades. También se corroboraron diferencias ambientales entre las ciudades y su entorno rural, principalmente en temperatura y número de días con tormenta, lo que se nota mejor en aquellas ciudades como Cienfuegos, con un fuerte desarrollo industrial.

9.7. POTENCIALIDADES DE LOS MUNICIPIOS PARA EL DESARROLLO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Existen tres grandes espacios para el desarrollo, identificados según sus potencialidades de uso en: agrario, montaña y el urbano (Pérez, A. L., A. Boquet y C. M. Rodríguez, 2002; figura 9.8). Para esta clasificación se utilizan un conjunto de indicadores considerados marcadores de situaciones de potencialidad o de restricciones al desarrollo (Boquet, A. y Marta R., 2001). Una actualización hasta 2008 de toda la información utilizada en el trabajo original, evidenció muy pocos cambios en las circunstancias medio ambientales; sin embargo, se encontraron modificaciones en los indicadores socio-demográficos de los espacios, como son: la concentración de la población, el mayor envejecimiento de la población y el decrecimiento de la población rural, entre otros. Además se incorpora un análisis de sensibilidad para cada espacio, basado en los impactos presentes y previsibles por el cambio climático, resultantes

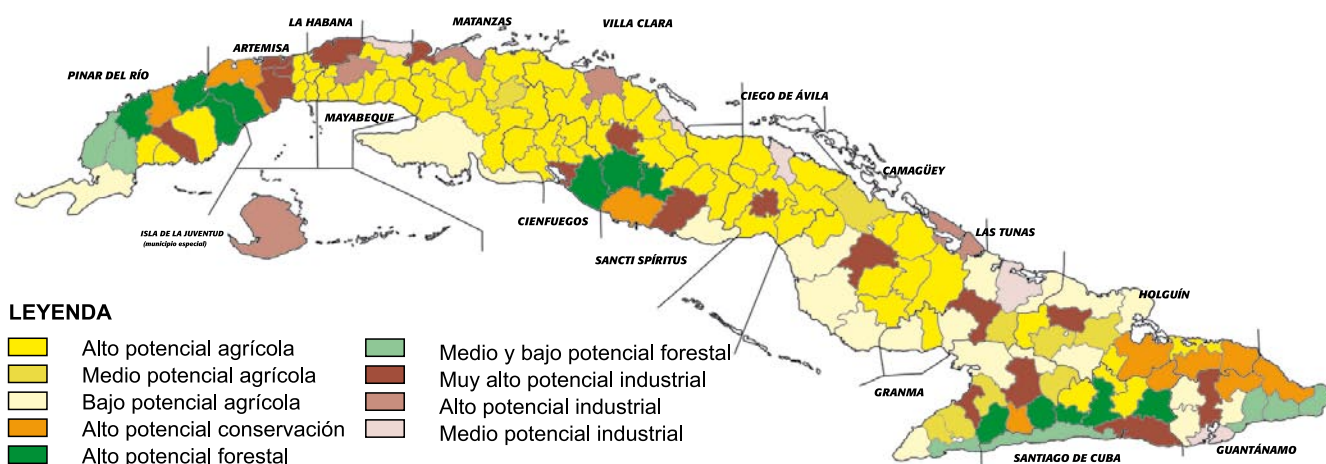


Figura 9.8. Mapa de los municipios por espacios medioambientales

de trabajos recientes (2007-2011) sobre cambio climático y la vulnerabilidad ante eventos meteorológicos severos, los escenarios y los grandes problemas ambientales identificados por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), y recogidos en la Estrategias Ambientales, para los períodos 2006-2010 y 2011-2015.

9.7.1. ESPACIOS MEDIO AMBIENTALES

Los estudios realizados han permitido clasificar a la totalidad de los municipios del país según sus potencialidades y restricciones para el desarrollo, arribando a cuatro tipos de espacios que muestra las actividades que son admisibles en ellos y que previsiblemente requerirán de simultanear estos usos con el cuerpo de una estrategia, políticas, medidas y acciones inducidas para garantizar la adaptación al escenario de cambio climático para el país, las regiones y las localidades en especial.

9.7.1.1 ESPACIO AGRARIO

Es un espacio con 95 municipios de relieve llano, con su base económica dependiente de la actividad agrícola, que tiene diferentes potencialidades agroproductivas, pero donde la vocación preponderante es agrícola. De estos municipios, solo unos cuentan adicionalmente con aptitudes para otras actividades económicas; considerando que en la mayoría de ellos las áreas agrícolas presentan manifestaciones importantes de procesos dañinos relacionados con la aridez, limitaciones en la calidad del suelo, además de sus compromisos con la agroindustria y el balance nacional de tierras*.

En este espacio existe una mayor diversidad en la distribución de la población, siendo posible distinguir tres patrones de poblamiento fundamentales: Concentrado, Compensado y Difuso. Aquí predominan las dinámicas migratorias estables y de equilibrio, excepto en los municipios donde se manifiestan procesos desfavorables, lo que puede agudizarse con los impactos del cambio climático. La población que permanece en estos municipios está muy envejecida y los recursos laborales de relevo son escasos; lo que conspira contra el desarrollo de las potencialidades agropecuarias de estos municipios.

Este espacio, por su importancia para el país, debe ser objeto de atención especial para evitar mayores daños al suelo, su principal recurso. Para reducir su vulnerabilidad debe lograrse un balance adecuado entre las superficies dedicadas a cultivos de exportación y al autoabastecimiento alimentario, lo que coadyuvará a la obtención de beneficios en zonas que hoy tienen resultados productivos limitados. Dentro del espacio se identificaron cinco categorías de potencial agropecuario:

- Muy alto sin limitaciones: 31 municipios.
- Alto con limitaciones por áreas ocupadas en cultivos de exportación: 24 municipios.
- Alto con limitaciones de abasto de agua: 12 municipios.
- Medio con limitaciones físico químicas de los suelos: 9 municipios.
- Bajo con limitantes en ambiente seco: 17 municipios.
- Bajo potencial agropecuario con potencial de conservación: 2 municipios.

* En este trabajo no se considera el efecto del Decreto Ley 259, sobre el usufructo de la tierra que se promulgó en julio de 2008, año del cierre informativo para este trabajo.

Los municipios agrarios tienen potencialidades para el desarrollo agropecuario, la población se distribuye en forma concentrada, favoreciendo así las condiciones de vida, y es coherente con el modelo que se había establecido para el funcionamiento del Sistema de Asentamientos Humanos. Generalmente los trabajadores agropecuarios, empleados en las grandes empresas estatales, se radican en las cabeceras municipales; sin embargo, esta tendencia puede modificarse con la presencia en el escenario económico del productor usufructuario, cuyo comportamiento cabe esperarse sea más cercano al de los propietarios privados, que permanecen dispersos en sus fincas o reunidos en asentamientos pequeños. Si bien el envejecimiento de la fuerza de trabajo es un problema para la economía de todos los territorios, en este espacio se hace más crítica, dado el bajo nivel de tecnología con que se está trabajando en el sector agropecuario y la presencia, en el futuro cercano, de procesos y fenómenos dañinos provocados por el cambio climático, que harán más difícil la intervención del ordenamiento en las mismas.

9.7.1.2. ESPACIO DE MONTAÑAS

Los municipios que clasifican en este espacio presentan importantes áreas montañosas, donde la topografía dificulta las actividades agrícolas y el hábitat. Las principales potencialidades de este espacio radican en la riqueza de la biodiversidad, el recurso forestal, las posibilidades para el desarrollo turístico y la minería. Desde el punto de vista agrícola los cultivos económicos idóneos son el café y el cacao, que por diversas causas, durante los últimos diez años, han tenido producciones muy deprimidas; los municipios con áreas llanas más fértiles, como los del sur de la provincia de Pinar del Río, tienen además, importantes áreas dedicadas al cultivo de tabaco, arroz y caña de azúcar. Estos municipios tienen una dinámica migratoria emisora que clasifica de mediano y alto, excepto Moa, donde la minería del níquel atrae recursos laborales. De acuerdo a sus potencialidades se identifican en este espacio tres grupos de municipios:

- Alta potencialidad para la conservación: 11 municipios.
- Alto potencial para forestal y cultivos de montaña: 10 municipios.
- Medio y bajo potencial por ambiente seco: 7 municipios.

Dentro de este espacio se encuentran 30 municipios, con recursos aceptables de agua; niveles bajos de autoabastecimiento alimentario, por la falta de suelo agrícola y el reto de mantener cultivos alimentarios con tecnologías blandas, requeridas por el relieve que les caracterizan. En estos municipios existen zonas importantes, que las particularidades de su paisaje y producción las hacen merecedoras de un régimen de cuidado especial, que incluye un manejo ambiental adecuado de sus recursos suelo, agua, flora y fauna y de una política que garantice la permanencia de la población en condiciones de vida satisfactorias para el desarrollo socioeconómico de estos territorios, que en la actualidad tienen una capacidad baja de retención de personas jóvenes, aunque ha reducido la velocidad a que estaba decreciendo la población general.

9.7.1.3. ESPACIO URBANO

Conformado por 29 municipios y La Habana, es considerado como una unidad territorial con potenciales altos para desarrollos no agrícolas, y pocas posibilidades de

garantizar el abastecimiento alimentario de sus habitantes por vías tradicionales. Esto último ha impulsado la permacultura (agricultura urbana y suburbana), actividades que aproximan la producción de vegetales a la población, y se reducen los costos de transportación, se mejora la calidad de los productos y además, al estar más espaciados los cultivos, dejan margen a un abasto en las proximidades de aquellos asentamientos humanos no afectados por el paso de eventos meteorológicos severos. La permacultura puede considerarse como una importante medida de adaptación al cambio climático.

Los territorios en este espacio se clasifican en tres grupos, según sus potencialidades para el desarrollo en las esferas industrial y de los servicios, considerando el tamaño poblacional y las funciones territoriales de sus ciudades:

- Muy alto: 14 municipios, donde radican las ciudades más importantes del país, y la ciudad de La Habana.
- Alto: 8 municipios, con población que supera los 50 mil habitantes (excepto Varadero) y un desarrollo industrial consolidado.
- Media: 8 municipios, con población menor de 50 mil habitantes, con un desarrollo industrial variado.

Estos municipios tendrán que asimilar la concentración de población e industrias; asumir su rol como centros de servicios; a pesar de que las limitantes para su auto-abastecimiento alimentario son bajas, deben aprovechar las posibilidades para el desarrollo de agricultura no convencional lo que requiere asimilar tecnologías de cultivo más avanzadas, pues no podrán depender exclusivamente de una agricultura sustentable. Lo anterior obliga a asumir un trabajo de organización espacial más intenso, que garantice la calidad de vida de la población y brinde soluciones de prevención a los peligros naturales actuales y a los que se deriven del cambio climático.

9.7.1.4. SENSIBILIDAD A LOS PROBLEMAS AMBIENTALES

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) ha identificado cinco grandes problemas ambientales del país, que tienen tendencia con el cambio climático, estos son: degradación de los suelos; contaminación; afectaciones a la cobertura forestal y pérdida de la biodiversidad biológica y carencia de agua para lo cual existen estrategias, programas e inversiones para su paulatina solución. Cada uno de los problemas identificados puede generar una gran cantidad de posibles afectaciones asociadas entre sí, de las cuales se ha realizado una selección en la tabla 9.16, con la que se pretende caracterizar una apertura mayor para el análisis de la situación ambiental del país.

Para evaluar la sensibilidad de los tres espacios estudiados en los cinco problemas medioambientales actuales y de su interacción con las condiciones del cambio climático previstas para Cuba, un grupo de expertos evaluó el efecto de cada impacto en estos espacios; y analizó las posibles relaciones entre los espacios o ambientes, resultado de integrar un conjunto de indicadores, marcadores de situaciones de potencialidad o de restricciones en los territorios y de las principales amenazas o impactos, tanto naturales como antrópicas, que pueden superponerse en esos territorios. El análisis de sensibilidad permitió obtener un cuadro articulado de causas y efectos, entre problemas ambientales y los diferentes espacios en que

Tabla 9.16. Caracterización de los principales problemas ambientales en el país

PROBLEMA	IMPACTOS
Degradación de los suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de rendimientos agrícolas. • Elevada salinidad y modicidad. • Limitada conservación y recuperación de los suelos. • Insuficientes avances en Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos. • Deterioro por presencia de procesos naturales (sequías, huracanes). • Acumulación de procesos antrópicos en el recurso suelo.
Afectación a la cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> • Incendios forestales. • Insuficiente diversidad de especies forestales. • Insuficiente reforestación en áreas rosectoras, en particular manglares. • Insuficientes y/o deficientes ordenación forestal y planes de manejo silvicultural. • Bajo aprovechamiento de la biomasa.
Contaminación	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de instalaciones industriales en áreas urbanas sin los sistemas de tratamiento o reducción de emisión. • Empleo de tecnologías obsoletas e indisciplinas tecnológicas. • Deficiente estado, cobertura y tratamiento de redes de alcantarillado. • Carencia de normas técnicas e insuficiente control sobre los niveles de ruido. • Insuficiente control sobre los niveles de ruido. • Acumulación de desechos peligrosos sin solución técnica para su disposición final. • Incremento en la exploración y explotación de hidrocarburos. • Falta monitoreo adecuado para calidad de aguas, suelos y emisiones a la atmósfera. • Acumulación de procesos antrópicos en el recurso forestal.
Pérdida de la biodiversidad	<ul style="list-style-type: none"> • Transformación, fragmentación o destrucción de hábitat. • Sobre-explotación de recursos (pesca y forestales). • Degradación y contaminación suelo-agua-atmósfera. • Insuficientes mecanismos de regulación y control. • Agudización de impactos por cambio climático. • Manifestaciones antrópicas negativas en ecosistemas donde abunda biodiversidad.
Carencia de agua	<ul style="list-style-type: none"> • Recrudescimiento de los procesos de sequía. • Presencia de procesos antrópicos (sobrexplotación y contaminación). • Deterioro de la calidad, carestía y falta de disponibilidad de agua. • Escaso re-uso y reciclaje del agua. • Mal estado de las redes hidráulicas. • Insuficiente cultura del ahorro y de uso racional del agua.

se puede clasificar el territorio nacional, que permite identificar incertidumbres sobre los impactos potenciales en el medio ambiente y focalizarlos en los territorios del país (tabla 9.17). De esta manera, se identificó qué problemas del medio ambiente impactan por tipo de territorio y las fuerzas del impacto esperable.

Los resultados permiten apreciar que:

El mayor impacto debe esperarse en el espacio agrario; que comprende 95 municipios, de los cuales 25 en la actualidad ya presentan procesos dañinos:

- En sus áreas agrícolas y en otros 17 hay manifestaciones de aridez. Los impactos más desfavorables deben ser la elevada salinidad y modicidad, una cultura insuficiente del ahorro y uso racional del agua, el deterioro ambiental por presencia de procesos naturales extremos como sequías, huracanes intensas precipitaciones y penetraciones del mar.
- El segundo espacio más impactado debe ser el de montaña (30 municipios con importantes áreas de macizos montañosos, con suelos de menor calidad y una topografía que dificulta las actividades agrícolas y el hábitat), donde los insuficientes avances del Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos, los incendios forestales, la insuficiente gama de especies forestales, y la insuficiente reforestación en áreas protectoras, entre otras once afectaciones, crean condiciones precisas acerca de la agudización de los problemas ante el cambio climático.
- En tercer lugar están los municipios del espacio urbano (formado por 29 municipios y La Habana, considerada como una unidad territorial), donde se aprecia un menor grado de sensibilidad, con las afectaciones más importantes en la concentración de instalaciones industriales, la carencia de normas técnicas sobre emisiones, el insuficiente control sobre los niveles de ruido, el mal estado de las redes hidráulicas, el deficiente estado, cobertura y tratamiento de redes de alcantarillado y la falta de un monitoreo adecuado sobre la calidad de aguas, suelos y emisiones a la atmósfera.

9.8.CONCLUSIONES

El cambio climático actuará de manera diferenciada en los tres espacios ambientales identificados, reforzando o atenuando, según el caso, el estado de los parámetros clave identificados y empleados en el estudio, a la vez que lo hará de forma diferenciada por regiones y localidades, para lo cual se requiere estudios precisos que permitan llevar a cabo el conjunto de acciones que logren el mínimo de afectaciones en cada localidad.

Aunque este análisis de sensibilidad no determina prioridades respecto a las afectaciones o impactos ambientales u orden de intervenciones, si permite asignarles, de forma indirecta, una determinada importancia a partir de la sensibilidad que los espacios ambientales manifiestan. Se advierte que la sensibilidad del espacio Agrario a la problemática estudiada prevalece sobre el resto. Por un lado, porque algo más de la mitad de los municipios de este espacio ya están sometidos a niveles alto y muy alto de riesgo ante eventos naturales, independientemente de sus potencialidades, que esos impactos limitan sensiblemente la posibilidad de garantizar el autoabastecimiento alimentario y la producción de excedentes para los espacios restantes, que nunca estarán en condiciones de hacerlo, por lo que este caso, en particular, requiere de un seguimiento.

Tabla 9.18. Categoría de los impactos y la sensibilidad

CATEGORÍAS	ESPACIOS AMBIENTALES	ESPACIOS AMBIENTALES
Alto	Agrario	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada salinidad y modicidad. • Insuficiente cultura del ahorro y uso racional del agua. • Deterioro por presencia de procesos naturales (sequías, huracanes). • Degradación y contaminación suelo-agua-atmósfera. • Agudización de impactos por cambio climático. • Recrudescimiento de los procesos de sequía. • Bajo aprovechamiento de la biomasa. • Empleo de tecnologías obsoletas e indisciplinas tecnológicas. • Acumulación de desechos peligrosos sin solución técnica para disposición final. • Incremento en la exploración y explotación de hidrocarburos. • Presencia de procesos antrópicos (sobrexplotación y contaminación del recurso agua). • Manifestaciones antrópicas negativas en ecosistemas donde abunda biodiversidad. • Pérdida de rendimientos agrícolas. • Limitada conservación y recuperación de los suelos. • Acumulación de procesos antrópicos en el recurso suelo. • Deterioro de la calidad, carestía y falta de disponibilidad de agua.
Medio	Montaña	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficientes avances en Programa Nacional de Mejoramiento y Conservación de Suelos. • Incendios forestales. • Insuficiente diversidad de especies forestales. • Insuficiente reforestación en áreas protectoras, en particular manglares. • Insuficientes y/o deficientes ordenación forestal, tratamiento silvicultural y planes de manejo. • Acumulación de procesos antrópicos en el recurso forestal. • Transformación, fragmentación o destrucción de hábitat. • Sobre-explotación de recursos (pesca y forestales). • Insuficientes mecanismos de regulación y control . • Presencia de procesos antrópicos (sobrexplotación y contaminación del recurso agua). • Escaso reuso y reciclaje del agua.
Bajo	Urbano	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de instalaciones industriales en áreas urbanas sin los sistemas de tratamiento o reducción de emisión. • Carencia de normas técnicas e insuficiente control sobre los niveles de ruido. • Carencia de normas técnicas sobre emisiones de ruido. • Insuficiente control sobre los niveles de ruido. • Mal estado de las redes hidráulicas. • Deficiente estado, cobertura y tratamiento de redes de alcantarillado. • Falta monitoreo adecuado sobre calidad de aguas, suelos y emisiones a la atmósfera.

BIBLIOGRAFÍA

1. Boquet, A. y M. Roig, 2001: Capítulo III-3 Vulnerabilidad de la población ante el cambio global En: Proyecto 013040 89 Los asentamientos humanos, el uso de la tierra y los cambio globales en Cuba, pp 185-196.
2. CITMA, s/p: Estrategia Ambiental Nacional para el período 2007-2010 En: Capítulo Circunstancias Nacionales de la Segunda Comunicación Nacional.
3. Pérez, A. L., A. Boquet y C. M. Rodríguez, 2002: Versión digital. 76 p.
4. Rodríguez, C., Lucía F., Marilú A. y Ada Luisa P., 2008: Estudio sobre peligros, vulnerabilidad y riesgo para el ordenamiento territorial y urbano en Cuba. Instituto de Planificación Física. La Habana. 99 p.



10.1. CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD

Para entender los impactos del cambio climático sobre la salud humana, es preciso conocer de antemano cuáles son las relaciones que se establecen entre el clima, el medio ambiente y la salud; con particular atención a las transformaciones o pérdidas de servicios en los ecosistemas y a los impactos en la sociedad, que traen consigo cambios en los patrones de las enfermedades, la reemergencia y brotes de enfermedades. El cambio climático, de la manera que se estima ocurra en Cuba, también podría tener efectos beneficiosos sobre la salud humana, debido a la ocurrencia de inviernos menos severos, lo que puede hacer disminuir el nivel de algunas enfermedades, como el Asma bronquial, del mismo modo que un aumento de las temperaturas podría reducir la variabilidad de las poblaciones de mosquitos. Sin embargo, la comunidad científica considera hoy día que las repercusiones del cambio climático a la salud serían en su mayoría adversas. (IPCC, 2007); en este sentido, un reporte de la Organización Mundial de la Salud del año 2002, se estimó que aproximadamente el 2,4% de las EDA son consecuencia de las variaciones y cambios del clima; de igual manera que un 6% de los casos de Malaria se atribuye a las anomalías del clima.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2008), señala que entre los cambios que se esperan para la salud están las modificaciones de los límites geográficos de extensión y los cambios de los patrones estacionales de algunas enfermedades infecciosas, en particular de las transmitidas por vectores, como la malaria y el dengue, y de las producidas por alimentos, como la salmonelosis. Otro aspecto del cambio climático de importancia para la salud, es el aumento de las temperaturas medias, que combinadas con una mayor variabilidad climática, altera el patrón de exposición a temperaturas extremas, lo que implicaría impactos, tanto en el período invernal como en verano (OMS, 2008).

Sin embargo, aun no está claro cuál es la contribución de las variaciones y el cambio climático en los patrones de las enfermedades, pues alteraciones en otros factores, también determinantes, dificultan encontrar los pequeños cambios en los modelos epidemiológicos atribuibles a la variabilidad climática; lo que induce a realizar investigaciones en las que se realicen observaciones simultáneas en diferentes regiones físico geográficas, para esclarecer el efecto del clima como determinante poblacional o factor de riesgo global, en los que no se puede hablar de individuos expuestos y no expuestos. (Carlos Corbalán, OMS- 2004).

Para el desarrollo de las investigaciones y los estudios que relacionen las condiciones climáticas y la transmisión de enfermedades infecciosas o el comportamiento de las no infecciosas, existen tres categorías (Ebis L K, Lewis D N and Corvalan C , 2005): (a) las dirigidas al análisis de pruebas científicas de las asociaciones de la variabilidad climática y la frecuencia de las enfermedades infecciosas en el pasado reciente; (b) el estudio de los indicadores tempranos de repercusión del cambio climático en la salud humana, que comienzan a manifestarse en las enfermedades infecciosas y no infecciosas y (c) las dirigidas a la utilización de las evidencias y relaciones encontradas,

para la creación de modelos predictivos que permitan estimar la carga futura de enfermedades y alertar sobre los brotes epidémicos, a partir de las condiciones climáticas que se prevén (OMS, 2009).

A pesar de los múltiples estudios realizados en cada una de las tres categorías, aun la comunidad científica no tiene claras las consecuencias de la variabilidad climática sobre la salud humana, ya que no han sido totalmente estudiadas. Por ello, no están debidamente reflejadas en las políticas y la toma de decisiones, debido a que las respuestas de una misma enfermedad varían de una región a otra, aumentando el nivel de incertidumbre de los estudios hasta ahora realizados. Esto conlleva al desarrollo de nuevos estudios de carácter regional y local, que permitan esclarecer la sensibilidad a los cambios y las formas de manifestarse en cada región climática, partiendo de modelos que intenten describir las interacciones no lineales fuertes, que aunque tienen presente las variaciones, no están reflejadas de manera explícita (Ortiz, 2010).

Este acápite muestra los resultados alcanzados en los estudios de variabilidad, cambio climático y salud humana en Cuba, que han posibilitado identificar las enfermedades sensibles al clima, y como este influye sobre la carga actual de algunas enfermedades, así como en su patrón de comportamiento y tendencias que provocan cambios del riesgo en la población cubana. Además estima los costos potenciales atribuibles al impacto del cambio climático.

10.2. ENFERMEDADES INFECCIOSAS

10.2.1. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

Los vectores de importancia médica, como los mosquitos, responsables de la transmisión del dengue, malaria, encefalitis equinas y encefalitis del Nilo Occidental, entre otras, acortan su ciclo de vida, desarrollándose fácilmente en épocas húmedas y de intenso calor. Algunos vectores, como el *Aedes aegypti*, son favorecidos cuando se almacena agua en condiciones inadecuadas o se mantienen criaderos potenciales o reales por malas condiciones de higiene ambiental; a la vez que otros, como el *Anopheles albimanus* o *Culex quinquefasciatus*, potenciales transmisores de malaria y encefalitis, respectivamente, pueden ser beneficiados por idénticas actitudes negligentes. Las condiciones del tiempo y el clima en Cuba son propicias para que en todo el año estos vectores mantengan un desarrollo sostenido.

Dentro de las enfermedades infecciosas, las de transmisión por vectores constituyen un creciente problema de salud, ya que las mismas amplían su extensión geográfica, incrementan de forma alarmante su incidencia y se han hecho endémicas en muchos países, tal es el caso del dengue a expensas de su vector, el mosquito *Aedes aegypti*. Por presentarse en forma de epidemias, esta dolencia tiene un gran impacto económico y social, y se encuentra entre las enfermedades reemergentes de mayor magnitud en el país, a pesar de las acciones desarrolladas en los últimos 40 años. A nivel continental, este vector cobra cada vez mayor importancia, debido a la circulación simultánea de los 4 serotipos, la introducción de nuevas variantes genéticas del virus del dengue de mayor patogenicidad, y el aumento de la extensión geográfica y abundancia local del *Aedes aegypti*. En el período 2000-2002, los países de las Américas fueron el escenario de mayor actividad de dengue a nivel mundial, mucho más que los países del Sudeste Asiático y el Pacífico Occidental, que tradicionalmente ocupaban el primer lugar.

El factor de mayor importancia para la expansión e incremento del dengue, es la ampliación en extensión y abundancia del *Aedes aegypti*, lo que le confiere gran significado desde el punto de vista médico y epidemiológico, porque el combate al dengue está centrado exclusivamente en el ofensiva contra su vector transmisor y las condiciones que favorecen su presencia en las comunidades.

La amenaza del dengue en Cuba, por la presencia permanente del mosquito *Aedes aegypti* en la mayoría de las cabeceras provinciales, con índices de infestación altos en varias de ellas, unido al incremento del intercambio con países donde el dengue es una enfermedad endémica, potencian la ocurrencia de brotes epidémicos de esta arbovirosis en el país. En 1981 ocurre en Cuba la primera epidemia de dengue hemorrágico del Hemisferio occidental; cuando en mayo de ese año se comenzaron a notificar algunos enfermos con síndrome febril en el municipio Boyeros, en la Ciudad de La Habana, compatible con el diagnóstico de dengue. La enfermedad fue confirmada simultáneamente en La Habana, Cienfuegos y Camagüey, posteriormente se vieron afectadas las restantes provincias. En esta gran epidemia se notificaron un total de 344 203 casos, fueron hospitalizados 116 143 enfermos (33,7% del total) y 158 fallecidos, mientras que el costo total del evento se calculó en 103 millones de dólares. El 9 de junio de 1981 se puso en vigor el programa para la eliminación de la epidemia de dengue y de la erradicación del mosquito *Aedes aegypti*.

De 1984 a 1996, la incidencia anual de focos del vector en el país osciló en niveles bajos. En esta etapa, con excepción de Ciudad de La Habana, las restantes provincias, reportaron niveles mínimos de infestación, como resultado de traslados procedentes de la capital (única provincia positiva) y del exterior del país, principalmente a través de la importación de neumáticos, que en reiteradas ocasiones llegaban infestados a Cuba.

La crítica situación económica que enfrentaba el país en la década del '90, afectó severamente las condiciones higiénico-sanitaria y el programa de vigilancia epidemiológica, produciéndose una reinfestación por *Aedes aegypti* en una importante cantidad de municipios, fundamentalmente en las provincias Ciudad de La Habana, Santiago de Cuba y Guantánamo; donde las poblaciones del vector presentaron incrementos importantes, constituyendo áreas de riesgo para la ocurrencia de brotes de dengue. La consecuencia más adversa resultó ser la epidemia de dengue en la ciudad de Santiago de Cuba, a finales de 1996, donde tras dieciséis años sin dengue en Cuba, ocurrió la reintroducción del DEN-2. En este evento epidémico se confirmaron 3 012 casos, de los cuales 205 fueron de dengue hemorrágico, y se reportaron 12 defunciones. Las medidas renovadas de control del vector hicieron posible que el mismo quedara circunscrito al municipio de Santiago de Cuba, que reportó su último caso en noviembre de ese año. (Kouri *et al.*, 1987, 1997, Guzmán *et al.*, 2000, 2001, 2006, Peláez *et al.*, 2004). A partir de este momento la positividad por el vector iniciaría una tendencia al incremento, por la existencia de condiciones favorables para la reproducción ampliada del vector y deficiencias operacionales del programa de enfrentamiento.

En septiembre del año 2000, se detecta en el municipio Boyeros en Ciudad de La Habana un brote, que por la oportuna y efectiva intervención se logró interrumpir en solo 6 semanas, quedando limitado a los municipios de Boyeros, Playa y Lisa. En total se confirmaron 138 casos, sin fallecidos y hubo circulación simultánea de los serotipos DEN-3 y 4. (Peláez *et al.*, 2004). Nuevamente Ciudad de La Habana y Santiago de Cuba, determinaron el comportamiento de la infestación a nivel nacional, seguida por Guantánamo. No obstante, en las demás provincias se produjeron incrementos del

vector, a partir de las constantes introducciones procedentes de dichos territorios, las que en algunos casos no fueron controladas oportunamente, causando la reinfestación, dispersión y el establecimiento de esta especie de mosquito, principalmente en municipios cabecera de provincia.

Coincidiendo con el crítico panorama regional de la enfermedad, el 29 de junio de 2001 se detectó, en el municipio Playa, un caso con sintomatología de dengue, para convertirse así en el caso índice de un brote epidémico de mayor importancia. A pesar de la temprana detección de la transmisión, esta amplió su área de influencia, condicionado por los índices de infestación existentes en varias zonas y el alto desplazamiento de personas dentro del territorio. El 11 de enero de 2001, la máxima dirección del país convocó a todos los organismos y la población en general, a una estrategia intensiva destinada a interrumpir la transmisión y controlar el mosquito *Aedes aegypti* mediante: (1) recogida de basura, (2) eliminación de criaderos, (3) tratamiento adulticida, (4) recuperación de las acciones en las viviendas cerradas y (5) control de la calidad. Paralelamente fueron ejecutadas otras importantes acciones de mejoramiento ambiental, tales como: reposición de tanques de agua y tapas en mal estado, eliminación de salideros de agua y desbordamientos por aguas albañales. En marzo del mismo año se daba por concluido el brote, el que cerró con 12 889 casos de DEN-3. (Peláez et al., 2004).

Las enérgicas medidas emprendidas a nivel nacional, hicieron posible que desde marzo del 2002 se lograra una significativa reducción de los focos. Quedaba demostrado, una vez más, la importancia que tienen en el control de un brote epidémico de dengue la voluntad política, la participación multisectorial y comunitaria, el control vectorial eficaz, la atención primaria de salud y el saneamiento sistemático.

En años posteriores, nuevamente se comenzaron a advertir aumentos en los niveles mensuales de infestación con el incremento de la focalidad en las principales ciudades. Debido a la tendencia ascendente observada en la infestación por el vector, se crea en el 2006, el *Programa de Sostenibilidad para la Prevención del Dengue y el Control de Aedes aegypti*, gracias al cual actualmente existen varias provincias con muy baja positividad y, en su mayoría, las introducciones son detectadas por el sistema de vigilancia entomológica. Hoy se registran provincias con índices relativamente bajos, aunque existe riesgo a nivel de algunas manzanas, mientras que otras exhiben los mayores índices, básicamente en sus municipios cabecera.

Por meses, históricamente, la infestación ha mantenido un comportamiento claramente estacional, con alzas que se inician en mayo, alcanzando en octubre el pico máximo, en correspondencia con el comportamiento de las precipitaciones, el intenso calor y también por factores sociales.

El contexto de la infestación por *Aedes aegypti* está caracterizado por:

- Factores climatológicos (el calentamiento del clima alterará enormemente los sistemas naturales y elevará los riesgos para la higiene ambiental, las repercusiones a largo plazo sobre la salud podrían ser drásticas e irreversibles).
- Incremento de la densidad poblacional en las urbes.
- Problemas de saneamiento básico y ordenamiento ambiental.
 - Insuficiente e inestable abasto de agua y baja calidad de esta.
 - Incremento del número de depósitos para almacenar agua y mal estado de estos.
 - Incremento de otros sitios potenciales para la reproducción del vector (recipientes no biodegradables).

- Deficiente disposición final de los residuos sólidos.
- Inadecuada disposición de desechos líquidos.
- Viviendas inapropiadas.
- Factores socio-culturales y económicos.
- Factores de tipo entomológicos.
 - Elevada tasa de reproducción.
 - Corto tiempo generacional.
 - Alta fecundidad.
 - Gran adaptabilidad y capacidad de desplazamiento de otras especies que pudieran hacerle competencia.
 - Extraordinaria habilidad para resistir plaguicidas utilizados en su control.
- Factores asociados a la organización y eficacia de las acciones para enfrentar esta problemática por parte del sector de la salud y otros.

10.2.2. ENFERMEDADES INFECCIOSAS NO TRASMITIDAS POR VECTORES

La morbilidad de las principales enfermedades infecciosas no transmitidas por vectores presentan elevada sensibilidad a las variaciones y cambios del clima (Ortiz, et, al 2008, WHO, 2003 WHO, 2010), estas se incluyen en los indicadores de salud en Cuba, constituyendo una de las principales causas de atenciones médicas tratadas en los cuerpos de guardia de las unidades de asistencia primaria. Según un informe del MINSAP, 2009, las tasas de comportamiento de algunas de estas enfermedades se comportaban de la siguiente manera:

- Meningocócica, 0,1/100 000 habitantes.
- Meningoencefalitis por streptococcus. Pneumoniae, 0.6/100 000.
- Leptospirosis, 1,6/100 000.
- Tuberculosis, 5,9/100 000.

No obstante el relativamente bajo nivel mostrado, este es un problema que debe ser considerado, por constituir entidades de alarma epidemiológica, por la discapacidad (AVAD) que producen por sus secuelas y la alta letalidad de muchas de ellas. La carga total estimada de meningitis (mortalidad y morbilidad) para Cuba en el año 2000, fue aproximadamente 104 AVPP por 100 000 habitantes (Seuc et al., 2008). La hepatitis viral aguda tipo A, sin embargo, registró tasas de 21/100 000 habitantes, y su comportamiento está muy asociado a las condiciones del medio ambiente, en especial a la calidad del agua (MINSAP, 2009).

Por otra parte, en el 2008 se registraron 6 145 621 atenciones por infecciones respiratorias agudas (IRA) y 805 921 atenciones por diarreicas agudas (EDA), para tasas de atenciones de 546,8 y 71,7/100 000 habitantes respectivamente. (MINSAP, 2009). Ambas constituyen las primeras causas de morbilidad, por la cuantía de atenciones médicas que ha ido incrementándose sistemáticamente con el transcurrir de los años.

Las EDA y las hepatitis "A" de transmisión fecal oral, son favorecidas en condiciones de intenso calor y frecuentes precipitaciones, condiciones que facilitan el desarrollo de vectores mecánicos como moscas y cucarachas, así como la contaminación de fuentes de agua, no solo por grandes precipitaciones, también por intensas sequías que conllevan al almacenamiento y manipulación inadecuada del preciado líquido. Así

mismo, los alimentos mal manipulados y mal conservados son propicios a contaminarse; pudiendo contribuir a la propagación de agentes como salmonellas, shigellas, cólera, entre otras bacterias. Los enterovirus suelen ser frecuentes en temporadas de calor, en contraposición al rotavirus, que suele circular frecuentemente en la etapa más fría.

La estacionalidad para entidades de transmisión digestiva se ha desplazado tempranamente, comenzando a partir de marzo hasta agosto, manteniéndose así mayor período de tiempo (Ortiz *et al.*, 2008).

Es de destacar también que hubo una alerta epidemiológica en la región ante la circulación de nuevas cepas pandémicas de virus de Influenza A (H1 N1) que obligó a adoptar urgentes medidas de inmunización de más de un millón de personas, considerada como grupos de riesgo. Complementariamente se adoptaron medidas de contención para reducir la introducción de esta cepa en el país, acompañadas también de una intensa actividad educativa (WHO, 2010).

Estas enfermedades transmisibles, de importancia epidemiológica, son sensibles a condiciones climáticas, dado que las IRA y la varicela, al igual que las meningitis bacterianas, son de transmisión respiratoria, con estacionalidad definida, que se manifiesta con un incremento en determinados meses del año, siendo favorecidas por condiciones frías, secas e incluso en período de intenso calor, instante en que las mucosas o puertas de entrada nasofaríngeas son vulnerables a la penetración de virus y bacterias. Las condiciones de frío también conllevan a resguardarse del aire exterior con el cierre de ventanas y, como consecuencia de una mala ventilación de locales, se propicia la propagación de este grupo de entidades.

En los últimos años en el país las IRA tienen un alza trimodal, con picos en octubre, enero y junio. Las meningitis bacterianas en general se observan con alza en los primeros meses del año y la varicela ha tenido una elevada cifra de ocurrencia, por lo que ha sido considerada con un comportamiento hiperendémico, con la mayor frecuencia en los meses de marzo-abril (Ortiz *et al.*, 2009).

10.3. VARIABILIDAD, CAMBIO CLIMÁTICO Y SALUD HUMANA

Las investigaciones desarrolladas en Cuba en el tema de cambio climático y la salud, han estado dirigidas a evaluar la carga de morbilidad atribuible a la variabilidad y al cambio climático, tomando en cuenta proyecciones para los próximos años. Para esto se han utilizado diferentes enfoques, que han permitido revisar y establecer metodologías sobre la manera de evaluar la vulnerabilidad a nivel local y nacional. Lo anterior ha conllevado a la formulación y desarrollo de indicadores climáticos para los estudios en salud, así como de modelos para la predicción de los peligros climáticos de la salud y los estudios de vulnerabilidad ante cambio climático, un ejemplo de ellos es el *Modelo para la Variabilidad de la Anomalía y Cambio del Clima en la Salud Humana* (la valoración del riesgo epidémico y la estimación de los costes): Modelo MACVAH/AREEC, (siglas en inglés) (Ortiz *et al.*, 2009). Este modelo fue desarrollado con el fin de identificar las vulnerabilidades del sector de la salud y sentar las bases para la preparación y presentación de modelos de predicción de las enfermedades que resultan vulnerables a las anomalías climáticas, bajo el marco de los sistemas de vigilancia ya establecidos en Cuba.

Estos aspectos se enmarcan en muchas de las tareas y objetivos que han sido propuestos y recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en su informe (A62/11) sobre el cambio climático y la salud, desarrollado bajo la 62

Asamblea Mundial de la Salud, realizada en marzo del 2009 (Ortiz *et al.*, 2009). Cuba muestra resultados en esta dirección, al mejorar el entendimiento de las respuestas de los patrones epidemiológicos y hacer recomendaciones al sector, sobre la base de las vulnerabilidades identificadas y la estimación de los potenciales impactos; lo que ha permitido proponer un conjunto de medidas de adaptación que están dirigidas a contribuir a mejorar los conocimientos sobre los riesgos sanitarios atribuibles a la variabilidad y al cambio climático y las intervenciones más eficaces para gestionar esos riesgos.

Como resultado de las investigaciones y los estudios realizados en Cuba, se identificaron las principales enfermedades sensibles al clima; entre las que se encuentran las enfermedades diarreicas agudas (EDA), las infecciones respiratorias agudas (IRA), las meningitis virales (MV), la meningitis neumococcica (MN) y bacterianas (MB), la Varicela (V), las hepatitis virales (HV), el dengue (analizado desde el indicador número de focos mensuales de *Aedes aegypti* (Ae) y la malaria (Ma) (esta última analizada desde el indicador del índice anófeles).

10.3.1. ESCENARIOS DE ENFERMEDADES

Para este estudio fueron utilizados los escenarios regionales de cambio climático, obtenidos con PRECIS para el escenario de emisión A2, que permitió generar los incrementos a las variables primarias que integran los índices con que trabaja el Modelo MACVAH/AREEC (Ortiz *et al.*, 2009).

Este modelo describe la variabilidad de las anomalías climáticas y el cambio climático para las evaluaciones de su impacto en la salud humana; utilizando como entrada en los modelos de clima-enfermedad las salidas de los modelos regionales, en este caso del PRECIS, como resultado se obtienen mapas de riesgo epidémico, que se expresa mediante el uso de un SIG. Finalmente, se estima el impacto de costos atribuibles al impacto de la variabilidad y del cambio del clima. La correlación espacial que se logra con este modelo, explica para cada enfermedad, la capacidad a la diseminación de la epidemia y el rango de la correlación describe su tendencia (Ortiz *et al.*, 2009).

Los modelos que establecen la relación clima-enfermedad, están basados en una combinación de, modelos espaciales con, modelos autoregresivos generalizados, que tienen heteroscedasticidad condicional (GARCH) y el uso de variables exógenas. Con esas estimaciones para cada modelo particular se calculan los impactos según la expresión siguiente:

$$I_1 = \frac{C_0}{1 - \sum_{i=1}^K \alpha_i} \quad (1)$$

$$I_2 = \frac{C_1}{1 - \sum_{i=1}^K \alpha_i} \quad (2)$$

$$I_m = \frac{C_0 + C_1}{1 - \sum_{i=1}^K \alpha_i} \quad (3)$$

Dónde:

- $I_1 : I_2$ e I_m son los efectos a largo plazo del cambio climático en cada una de las enfermedades.
- C_0 : es el valor del coeficiente que describe la magnitud de la señal del cambio climático en la enfermedad.
- C_1 : es el valor del coeficiente que describe el efecto de condición económico con cambio en la enfermedad.
- I_m : es la expresión del impacto de la combinación del clima y el cambio económico, escrito a través de valores los C_0 y C_1 .

10.3.2. RELACIONES CLIMA Y SALUD

Entre las condiciones climáticas y las enfermedades infecciosas y no infecciosas existen tres categorías (Ebis, K L and Patz, JA 2002). La primera está dirigida al análisis de las pruebas científicas de las asociaciones entre la variabilidad climática y la frecuencia de las enfermedades infecciosas y no infecciosas en el pasado reciente; la segunda, al estudio de los indicadores tempranos de repercusión del cambio climático, que comienzan a manifestarse en las enfermedades infecciosas; y la tercera, a la utilización de las evidencias y relaciones encontradas para la creación de modelos predictivos que permitan estimar la carga futura de las enfermedades y alertar sobre los brotes epidémicos. (Ebis K. L, Lewis D. N. y Corvalán C. F., 2005). Esto posibilita que se desarrollen nuevos estudios regionales y locales, para esclarecer la sensibilidad a los cambios y las formas de manifestarse en cada región climática, partiendo de modelos que intenten describir las interacciones que se establecen (OMS, 2009).

La conexión entre el clima y la salud es compleja. El clima, como elemento del medio ambiente cambia a través del tiempo, originando presiones que influyen en los ecosistemas por medio de eventos directos e indirectos, los cuales, a su vez, crean condiciones favorables para el desarrollo de enfermedades. Esta situación conduce a la idea de que la transición epidemiológica se debe ver desde el punto de vista de cambios ecológicos, climáticos, socioeconómicos y cómo estos cambios conllevan a un cambio epidemiológico como consecuencia de las interacciones que se producen (figura 10.1).

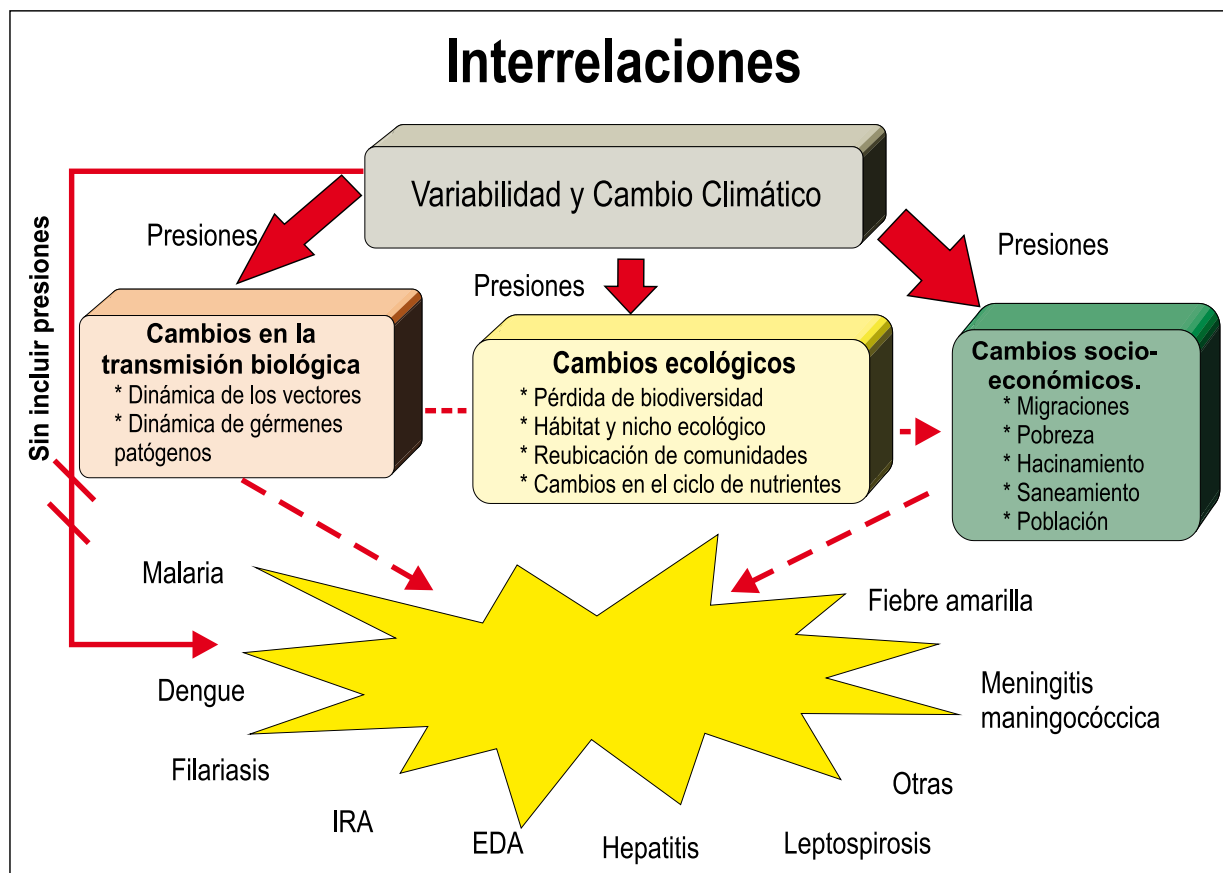


Figura 10.1. Interacciones y presiones que generan escenarios de cambio epidemiológico.
Fuente: Ortiz *et al.* 2009

Para identificar, cuantificar y predecir los impactos del cambio climático en la salud humana, se debe enfrentar retos relacionados con la escala de análisis adecuada, la especificación de la “exposición” (que comprende el tiempo, la variabilidad y las tendencias del clima) y la elaboración de cadenas causales, que son frecuentemente complejas e indirectas. Por ejemplo, los efectos de las temperaturas extremas en la salud son directos; por el contrario, los cambios complejos en la composición y el funcionamiento de los ecosistemas median en el impacto del cambio climático y en la dinámica de las enfermedades transmitidas por vectores. Un último reto es la necesidad de estimar los riesgos para la salud en relación con escenarios climáticos ambientales futuros. A diferencia de la mayoría de los peligros ambientales conocidos para la salud, gran parte de los riesgos previstos como consecuencia del cambio climático global se proyectan a largo plazo.

La estimación de los posibles impactos del cambio del clima debe sustentarse en una comprensión de la carga actual y recientes tendencias en la incidencia y predominio de enfermedades que son sensibles a las variaciones del clima, y las asociaciones entre él y los problemas de salud. Las asociaciones pueden basarse en estadísticas rutinarias coleccionadas por agencias nacionales o en literatura publicada, también podría considerarse en la identificación de los resultados adversos a la salud, aquellos que están asociados con la variabilidad del clima en la escala interanual, estacional o intraestacional. (Ortiz, P L , 2010 y Ebis K L, Lewis D N and Corvalan C F, 2005).

10.3.3. IMPACTOS

Según IPCC, 2007, las evidencias de la sensibilidad actual de la salud del hombre al tiempo y el clima se basan en cinco tipos de investigaciones empíricas:

- Estudios sobre el impacto en la salud, originado por eventos extremos.
- Estudios espaciales, donde el clima es una variable explicativa de la distribución de la enfermedad o del vector que la produce.
- Investigaciones en el tiempo, donde se evalúan los efectos de la variabilidad climática en la salud a corto plazo (diario, semanal) y largo plazo (décadas); como parte de la detección de los efectos iniciales del cambio climático.
- Estudios experimentales, de laboratorio o de campo, de la biología y ecología del vector, patógeno o planta (alérgeno).
- Estudios de intervención, que investigan la efectividad de las medidas de salud pública para proteger a la población de los peligros de origen climático.

Evidencias recientes de los efectos de las anomalías climáticas sobre la salud humana muestran que se ha alterado la distribución de ciertos vectores de enfermedades infecciosas y la distribución estacional de algunas especies, así como se han incrementado las muertes asociadas a la ocurrencia de olas de calor. Algunas de estos hechos comienzan a observarse en Cuba.

El IPCC, 2009, asevera que: *es probable que la exposición al cambio climático impacte sobre el estado de salud de millones de personas en el mundo, particularmente de aquellas con baja capacidad de adaptación o con menos recursos económicos.*

10.3.3.1. DISTRIBUCIÓN Y CARGA DE ENFERMEDADES

La estimación de los posibles impactos del cambio del clima debe basarse en una comprensión de la carga actual y de las recientes tendencias y predominio de enfermedades que son sensibles a las variaciones del clima, y las asociaciones entre él y la salud; considerando para esto los resultados adversos a la salud, que están relacionados con la variabilidad del clima en la escala interanual, estacional o intra estacional (Ortiz, P. L. *et al.*, 2006 y OMS, 2009).

Las principales enfermedades que han recibido un impacto evidente de las variaciones climáticas actuales son expresadas mediante el Índice bioclimático ($IB_{t,l,C}$) en la tabla 10.1. Como resultado de un incremento en las temperaturas y acumulados de precipitaciones inferiores a los valores normales, se crean condiciones favorables para mantener un comportamiento trimodal o de tres alzas en las IRA. También se ha podido constatar que las HV y las EDA, presentan una marcada influencia en la variación estacional, observándose además alzas que guardan relación directa con las anomalías climáticas; estas enfermedades presentan una variación en su patrón estacional que asciende a un 0,1% (202 casos más por meses) en el caso de las HV y 0,11% (unos 1 049 casos más por meses) para las EDA.

Tabla 10.1. Principales impactos observados asociados a las anomalías de la variabilidad y cambios en el clima de Cuba (Período 2000-2010).

INDICADOR EPIDEMIOLÓGICO	CONSECUENCIA OBSERVADA
Infecciones Respiratorias Agudas (IRA)	Cambio en la distribución estacional pasa de bimodal a trimodal y tendencia al aumento en marzo, junio-agosto y octubre-noviembre.
Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA)	Cambio del patrón estacional, desplazamiento del pico epidémico estacional.
Hepatitis Viral (HV)	Epidemias más frecuentes y corrimiento del patrón estacional.
Varicela (V)	Desplazamiento del alza estacional y tendencia al aumento.
Número de focos <i>Aedes aegypti</i> (NFAe)	Tendencia al aumento de los focos y por tanto probable incremento de la densidad del mosquito adulto con el consiguiente riesgo de transmisión de Dengue fundamentalmente con ciclos de dos años que puede variar a consecuencia de las campañas de intervención.

Fuente: Ortiz *et al.*, 2008, 2009

Los resultados corroboran que en todas las enfermedades que han sido mencionadas, se presenta nacionalmente una tendencia significativa al aumento, así como variaciones en sus patrones de comportamiento estacional e intra-estacional que están en correspondencia con las tendencias y las variaciones observadas en el clima actual, que favorece el desarrollo de estas enfermedades. Aunque estos resultados no presuponen una relación causa-efecto entre las variaciones climáticas y las tendencias descritas mediante el índice complejo ($IB_{t,l,C}$) y los indicadores estudiados, si queda evidenciado que algunas enfermedades son estacionales y por tanto sensibles al clima. Lo anterior indica que para efectuar cualquier estudio de las enfermedades mencionadas, no puede obviarse esta particularidad, pues este movimiento es sumamente fuerte en las dos variables y cualquier variación de los patrones climáticos en la escala estacional e intra estacional, traería consigo variaciones en los patrones epidemiológicos. Similares resultados se obtienen para las enfermedades diarreicas agudas y las hepatitis virales.

10.3.3.2. INDICADORES EPIDEMIOLÓGICOS Y ENTOMOLÓGICOS

A continuación se muestra cómo se manifiestan las relaciones y el nivel de sensibilidad de los indicadores de salud estudiados, ante los diferentes niveles de variabilidad descritos por el índice climático complejo y $IB_{t,1,C}$. En estos estudios no puede obviarse la variación de los patrones climáticos en la escala estacional, que provocan variaciones en los patrones epidemiológicos figuras 10.2 a la 10.8. En la figura 10.8 se observa que el número de focos de Ae presenta un patrón estacional, condicionado por las variaciones del patrón climático y que sus tendencias muestran variaciones interesantes entre un período y otro. Similares resultados se obtienen para el resto de las enfermedades (figuras 10.2 a la 10.7).

Las sequías extensas ocasionan la extinción de muchos criaderos y por ende disminuye la disponibilidad del hábitat adecuado para que el vector pueda subsistir, pues no tiene donde colocar sus huevos. La lluvia también condiciona la producción y tamaño de los criaderos. Lluvias fuertes o en exceso provocan la limpieza de los criaderos por arrastre o desborde de los mismos, disminuyendo o impidiendo la producción del vector. Luego las condiciones normales en el régimen pluviométrico garantizan la producción del mosquito. Sin embargo, aunque parezca contradictorio, las sequías intensas pueden provocar la aparición de nuevos criaderos en márgenes de ríos y presas que evidencien una disminución de los caudales, mientras que las lluvias intensas provocan la formación de nuevos criaderos que son rápidamente colonizados.

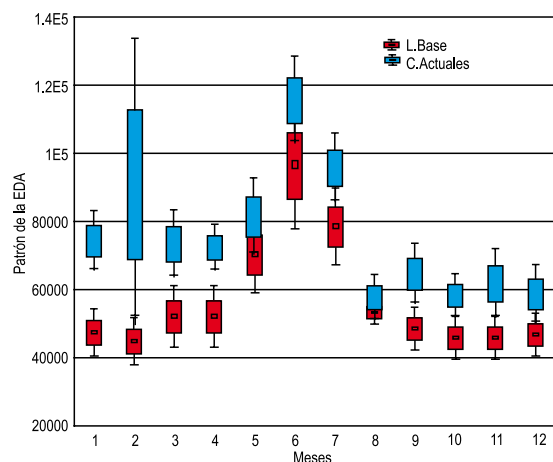


Figura 10.2. Variaciones observadas en la marcha del patrón estacional de las EDA en condiciones actuales (1991-2010) respecto a la línea base (1962-1990). Fuente: Ortiz, *et al.*, 2010. Fuente: Ortiz *et al.*, 2009

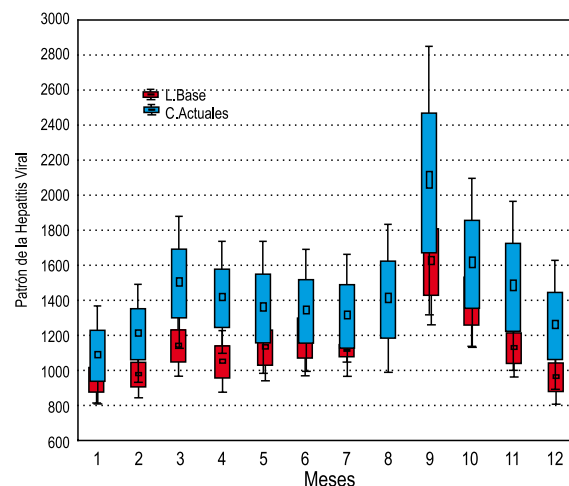


Figura 10.3. Variaciones observadas en la marcha del patrón estacional de las HV en condiciones actuales (1991-2010) respecto a la línea base (1963-1990). Fuente: Ortiz, *et al.*, 2010.

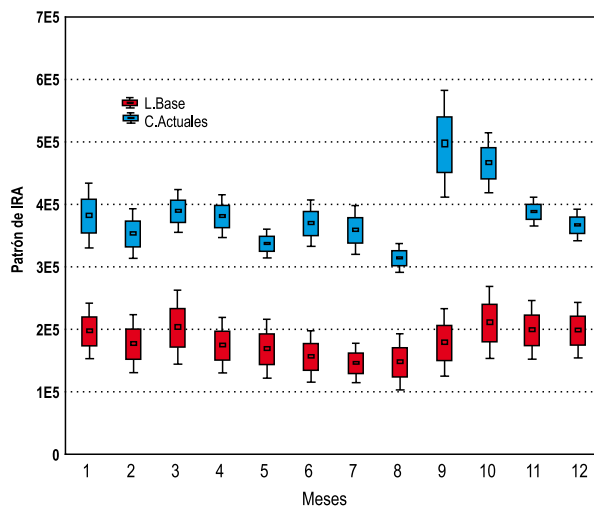


Figura 10.4. Variaciones observadas en la marcha del patrón estacional de las IRA en condiciones actuales (1991-2010) respecto a la línea base (1966-1990). Fuente: Ortiz, *et al.*, 2010.

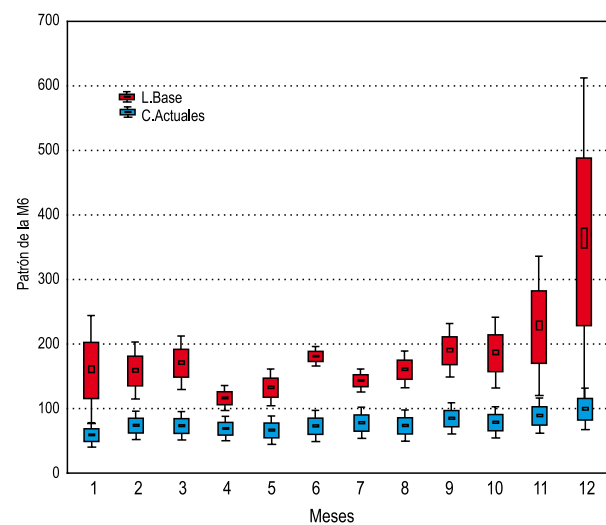


Figura 10.5. Variaciones observadas en la marcha del patrón estacional de las MB en condiciones actuales (1991-2010) respecto a la línea base (1982-1990). Fuente: Ortiz, *et al.*, 2010.

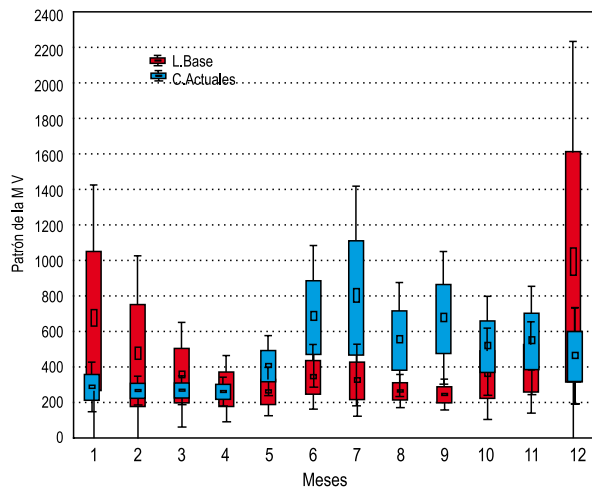


Figura 10.6. Variaciones observadas en la marcha del patrón estacional de las MV en condiciones actuales (1991-2010) respecto a la línea base (1965-1990). Fuente: Ortiz, *et al.*, 2010.

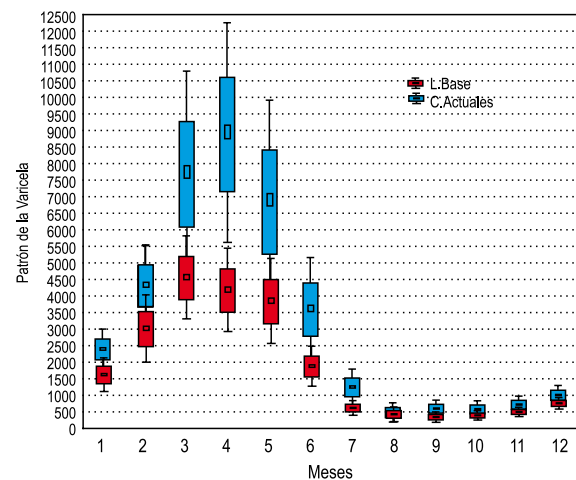


Figura 10.7. Variaciones observadas en la marcha del patrón estacional de las VRC en condiciones actuales (1991-2010) respecto a la línea base (1964-1990). Fuente: Ortiz, *et al.*, 2010.

En el caso particular del *Aedes aegypti* (figura 10.9), estos impactos ocurren producto de la escasez de agua potable en los períodos de sequía, debido a que las personas almacenan agua en lugares inapropiados y mal tapados, creando un ambiente favorable para su reproducción y proliferación, mientras que cuando llueve, coloniza rápidamente las vasijas que se encuentre en los solares yermos o abandonadas en otros sitios, haciendo que aumente rápidamente la población de vectores. Otro factor importante es la luz, pues debido a que el vector se reproduce rápidamente en penumbra, por eso resulta muy lógico que en las condiciones de estrés climático se produzca un aumento rápido del número de focos que en el caso particular de Cuba ocurre al combinarse valores positivos altos (1,25-2,83) del $IB_{t,1,c}$ y valores bajos (0,0-0,8) del $IB_{t,2,c}$ los cuales coinciden con el período lluvioso con su pico máximo en los meses de septiembre (Ortiz, *et al.*, 2008).

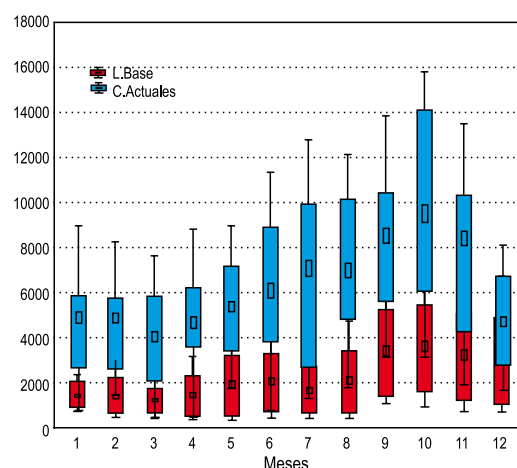


Figura 10.8. Variaciones observadas en la marcha del patrón estacional de número de focos de Ae en condiciones actuales (1996-2000) respecto a la línea base (2001-2010). Fuente: Ortiz, et al., 2010.

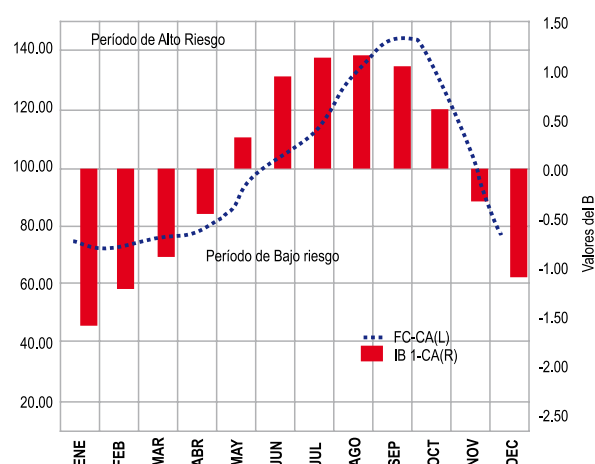


Figura 10.9. Respuestas del número de Focos de *Aedes aegypti* a las variaciones estacionales del clima según el índice IB 1,t,c. Fuente: Ortiz, et al., 2008.

10.3.3.3. TENDENCIAS Y VARIACIONES DE PATRONES

Los resultados de la tabla 10.2, corroboran que a escala nacional, todas las enfermedades abordadas en este estudio y las variaciones en sus patrones de comportamiento estacional e intraestacional, excepto la MB y la Leptospirosis, tienen una tendencia general y significativa al aumento, en correspondencia con las tendencias y variaciones observadas en el clima de Cuba (tabla 10.3 y figuras 10.10-10.17).

Tabla 10.2. Tendencia de la serie de casos vistos de las enfermedades sensibles al clima y del número de focos de *Aedes aegypti* ((NFAe) en La República de Cuba

ENTIDADES	PRUEBA ESTADÍSTICA	VALOR DEL ESTADÍGRAFO
Enfermedad Diarreica Aguda (EDA)	Spearman	11,68**
	Kendall-Manm	12,22**
HEP	Spearman	4,46**
	Kendall-Manm	4,97**
Infección Respiratoria Aguda (IRA)	Spearman	19,71**
	Kendall-Manm	23,85**
MB	Spearman	-15,35**
	Kendall-Manm	-17,39**
Meningitis Viral (MV)	Spearman	10,83**
	Kendall-Manm	11,54**
Varicela	Spearman	7,02**
	Kendall-Manm	7,05**
Leptospirosis	Spearman	-6,42**
	Kendall-Manm	-6,60**
Número de Focos de <i>Aedes aegypti</i>	Spearman	8,27**
	Kendall-Manm	9,14**

Fuente: Ortiz, et al., 2010

** $p < \alpha = 0.01$ * $p < \alpha = 0.05$ n.s: no significativo).

Tabla 10.3. Resumen de tendencias de las series de casos de Enfermedad Diarreica Aguda (EDA), Hepatitis Viral (HV), Infección Respiratoria Aguda (IRA), Meningitis Viral (MV), Varicela, y del número de focos de *Aedes aegypti* (Ae) durante el período 1981-2010. (Ortiz, et al., 2009).

ENFERMEDADES	TENDENCIA
EDA	AS
HV	A
IRA	AS
MV	A
Varicela	A
Número de Focos de <i>Aedes aegypti</i>	AS

Leyenda:

Aumento (A) Aumento Significativo (AS).

Fuente: Ortiz, et al., 2010

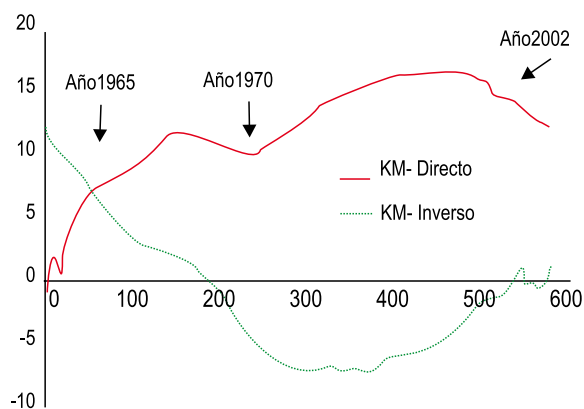


Figura 10.10. Tendencia de los casos de EDA para Cuba. Período 1963-2010. **Fuente:** Ortiz et al., 2010.

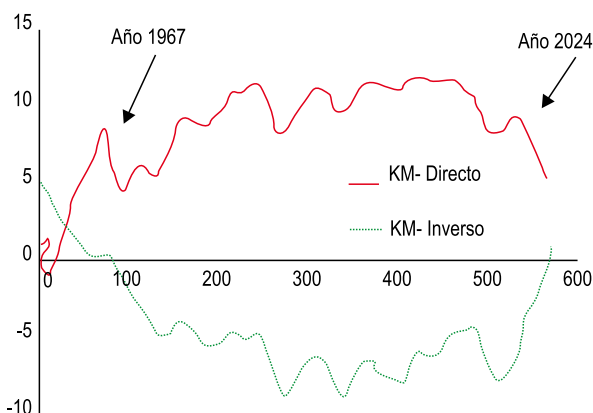


Figura 10.11. Tendencia de la serie de Casos vistos HV. Período 1963-2010. **Fuente:** Ortiz et al., 2010

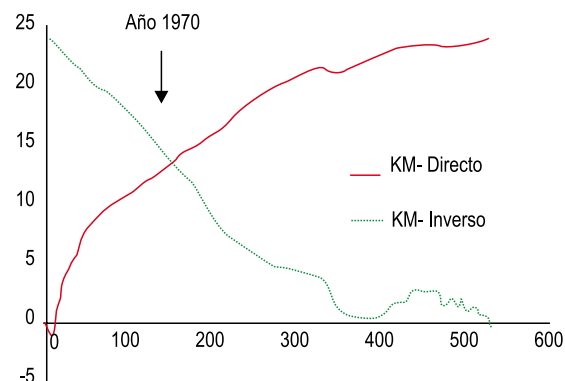


Figura 10.12. Tendencia de la serie de Casos vistos IRA. Período 1963-2010. **Fuente:** Ortiz et al., 2010

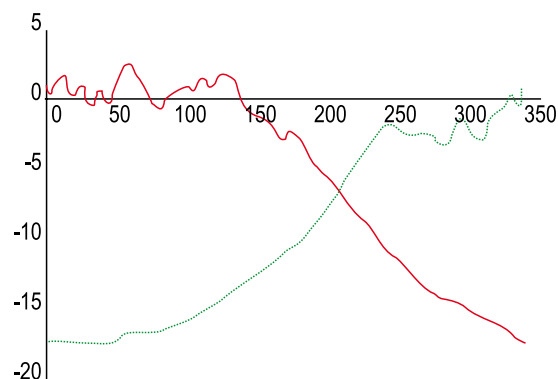


Figura 10.13. Tendencia de la serie de Casos vistos MB. Período 1982-2010. **Fuente:** Ortiz et al., 2010

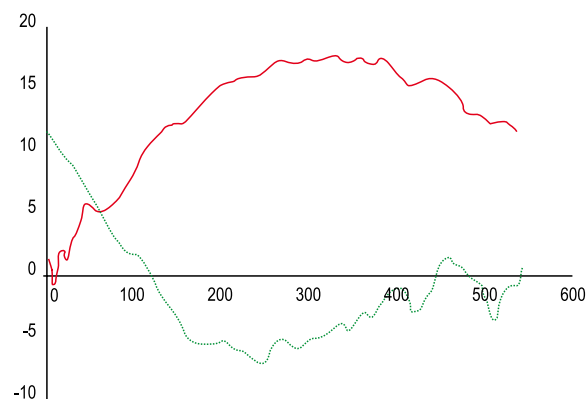


Figura 10.14. Tendencia de la serie de Casos vistos MV. Período 1965-2010. **Fuente:** Ortiz, et al., 2010.

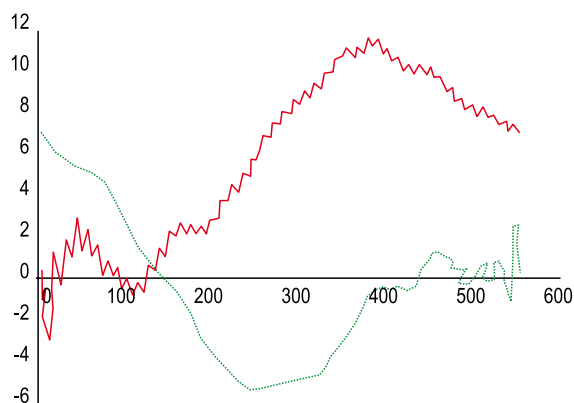


Figura 10.15. Tendencia de la serie de Casos vistos VRC. Período 1965-2010. **Fuente:** Ortiz, *et al.*, 2010

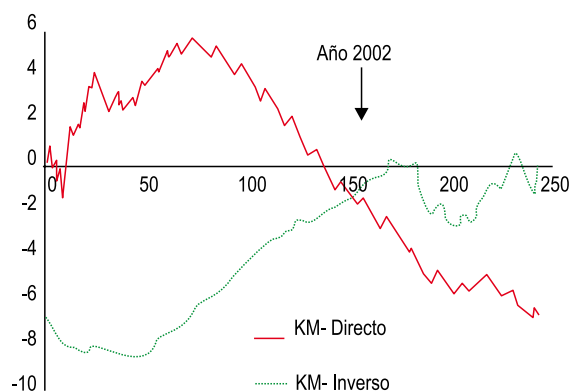


Figura 10.16. Tendencia de la serie de Casos vistos Leptospirosis. Período 1991-2010. **Fuente:** Ortiz, *et al.*, 2010.

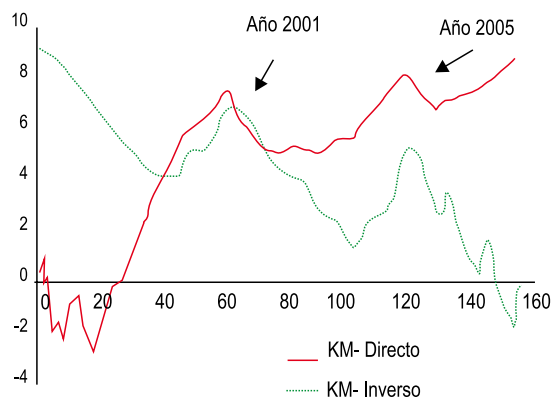


Figura 10.17. Tendencia del número de focos de *Aedes aegypti* (NFAe). Período 1997-2010. **Fuente:** Ortiz, *et al.*, 2010.

Como resultado de las proyecciones climáticas y de las salidas de los modelos de salud, se evidencia que el nivel de respuesta en cada una de las enfermedades es diferente, observándose que la magnitud de los impactos varía de una enfermedad a otra. Sin embargo, para todas las enfermedades es similar la tendencia al aumento y la modificación de los patrones de alza estacional. Por otro lado, el hecho de que los inviernos (período poco lluvioso) se hagan más cálidos y húmedos, propician condiciones ambientales favorables para la circulación de agentes bacterianos y virales, y como consecuencia el aumento de la susceptibilidad en la población, dado que el calor puede modificar las barreras naturales protectoras de las mucosas; así como alterar el metabolismo de respuesta inmunitaria, especialmente de ancianos y niños (Ebis K L, Lewis D N and Corvalan C F, 2005; Ortiz *et al.*, 2009; Ortiz *et al.*, 2008), conllevando al aumento de otras enfermedades infecciosas (tabla 10.4).

De los resultados discutidos en epígrafes anteriores, se concluye que tanto la HV de transmisión oral como las EDA, presentan una marcada influencia en la variación estacional, atendiendo a sus individualidades, y que se registran alzas que guardan relación directa con las anomalías del clima, presentando una variación o modificación en su patrón estacional, que asciende a un 0,1% (202 casos más por meses) en las HV y 0,11% (unos 1 049 casos más por meses) para las EDA. (Ortiz, P. L. *et al.*, 2006)

Tabla 10.4. Resumen de las principales consecuencias asociadas a las anomalías de la variabilidad y cambios en el clima de Cuba, en el período 2000-2010

INDICADORES DE SALUD	IMPACTOS OBSERVADOS
Infecciones Respiratorias Agudas	Tendencia general al aumento. Cambio en la distribución estacional: pasa de bimodal (máximos en marzo y octubre) a trimodal (otro máximo en los meses mayo-junio).
Varicela	Desplazamiento del alza estacional de marzo a abril-mayo y mantenido aumento en la cifra de casos.
Enfermedades Diarreicas Agudas	Cambio del patrón estacional, desplazamiento del pico epidémico estacional de mayo a junio-julio
Hepatitis Viral Tipo A	Epidemias más frecuentes y corrimiento del patrón estacional. Pico de agosto-septiembre pasa a octubre-noviembre. Nueva alza estacional en marzo-abril.
Indicador entomológico	
Número de focos de <i>Aedes aegypti</i> (NFAe)	Probable incremento de la densidad del vector, con el consiguiente peligro de introducción y transmisión del dengue en correspondencia con reservorios procedentes de países endemo-epidémicos. Mayor alcance espacial del vector (altitud y latitud) y aceleración de su ciclo reproductivo debido a condiciones climáticas más favorables.

Fuente: Elaboración propia a partir de las salidas del Modelo MACVAH/AREEC. Ortiz, et al. 2009-2010

10.3.3.4. IMPACTOS A MEDIANO PLAZO

Algunas de las proyecciones esperadas a mediano plazo (Primera Comunicación Nacional, 2000) ya han comenzado a manifestarse, tal es el caso de las EDA, IRA, Varicela y el número de focos de *Aedes aegypti*, implicando el aumento del riesgo de epidemias y la variación del patrón intraestacional (tabla 10.5).

Tabla 10.5. Resumen de los impactos proyectados según los escenarios de cambio climático para la salud humana mediano plazo (2015-2020)

INDICADORES	IMPACTOS PROYECTADOS
Infecciones Respiratorias Agudas	Incremento de los casos y variación de la tendencia, con aumento en los meses del período lluvioso (con un alza significativa en los bimestre junio-julio y septiembre-octubre).
Meningitis neumocócica	Ligero incremento de los casos y probables cambios en la distribución geográfica.
Meningitis Bacterianas	Ligero incremento de los casos.
Varicela	Adelanto en la temporada de aparición del alza estacional y prolongación de una alta incidencia dentro del año.
Hepatitis Viral tipo A	Incremento en los meses del período poco lluvioso.
Enfermedades Diarreicas Agudas	Incremento en los meses del período poco lluvioso y desplazamiento del alza de mayo para julio-agosto.
Dengue	Mayor frecuencia de aparición de brotes epidémicos y cambios en el patrón espacial y temporal (nuevas regiones afectadas y aumento del período de afectación de los brotes epidémicos).
Malaria	Reemergencia de la enfermedad y aumento del riesgo.

Fuente: Ortiz, et al., 2009

Las condiciones climáticas pronosticadas se caracterizan por elevadas temperaturas, altos niveles de humedad y bajos totales de precipitación, situación favorable para el aumento de la productividad de los vectores, que al combinarse con bajas condiciones higiénicas y con el almacenamiento de agua por períodos extensos en condiciones inadecuadas, provocan un aumento del riesgo en todo el país por enfermedades transmitidas por vectores, en particular el dengue, debido al incremento y la expansión geográfica de la población de *Aedes aegypti*.

10.3.4.5. IMPACTOS A LARGO PLAZO

Las figuras 10.18 a la 10.23, muestran las proyecciones del comportamiento futuro de las enfermedades, teniendo en cuenta las estimaciones climáticas y los escenarios de salud.

La evaluación y seguimiento de los estudios climáticos y su impacto en la salud humana, demuestran que algunas de las proyecciones esperadas para el período 2020-2050 ya han comenzado a manifestarse, fundamentalmente en las EDA, IRA y Varicela, lo que ha significado un aumento de la frecuencia de los casos y la atención médica, acompañado de un incremento del número de focos de Ae, con el consiguiente aumento del riesgo de brotes y epidemias (tabla 10.6).

En el caso de los vectores, los modelos avizoran un aumento de las poblaciones, así como un aumento de su densidad larvaria en el período poco lluvioso, combinado con un cambio en su distribución espacial, lo que ocasiona un aumento de la población en riesgo, debido a las condiciones climáticas favorables que se espera.

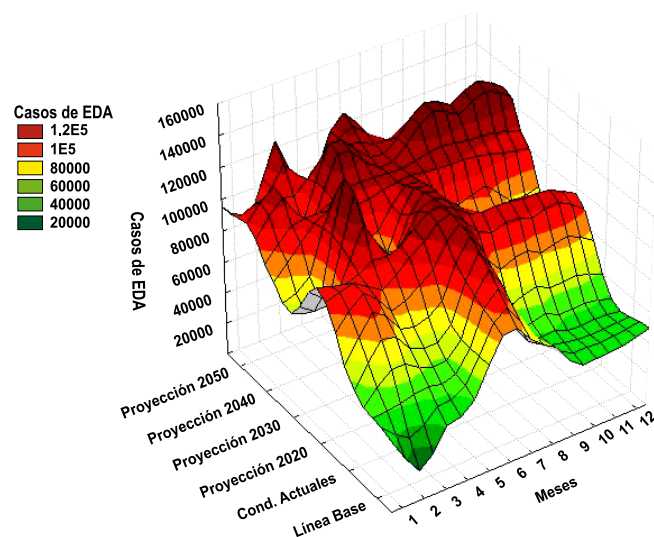


Figura 10.18. Proyección de casos de EDA. Escenario climático IBt.1, Cuba, 2020, 2030, 2040 y 2050 respecto a línea base (1981-2000) y Condiciones Actuales (2001-2010). **Fuente:** Ortiz *et al.*, 2010.

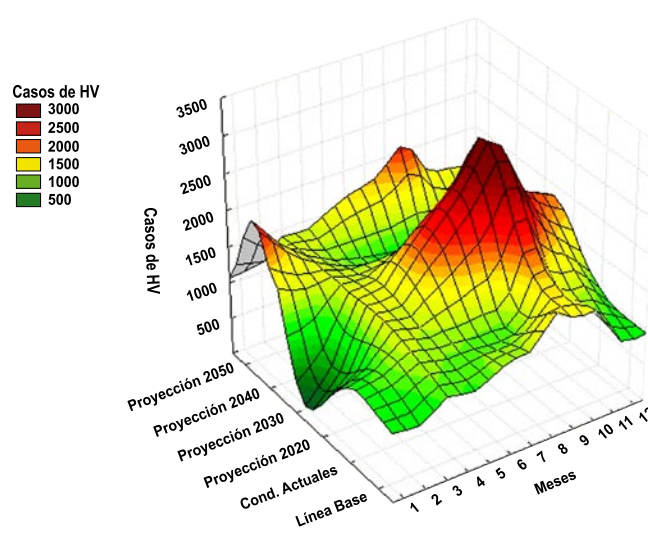


Figura 10.19. Proyección de casos de HV. Escenario climático IBt.1, Cuba, 2020, 2030, 2040 y 2050 respecto a línea base (1981-2000) y Condiciones Actuales (2001-2010). **Fuente:** Ortiz *et al.*, 2010

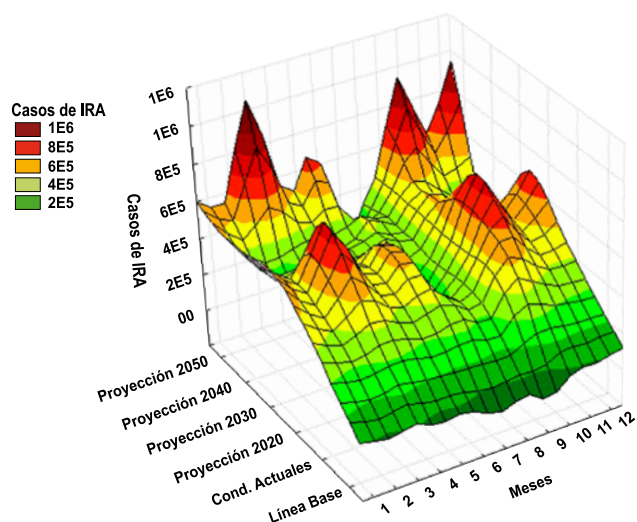


Figura 10.20. Proyección de casos de IRA: Escenario climático $IB_{t,1,Cuba}$, 2020, 2030, 2040 y 2050 respecto a línea base (1981-2000) y Condiciones Actuales (2001-2010). **Fuente:** Ortiz, et al., 2010.

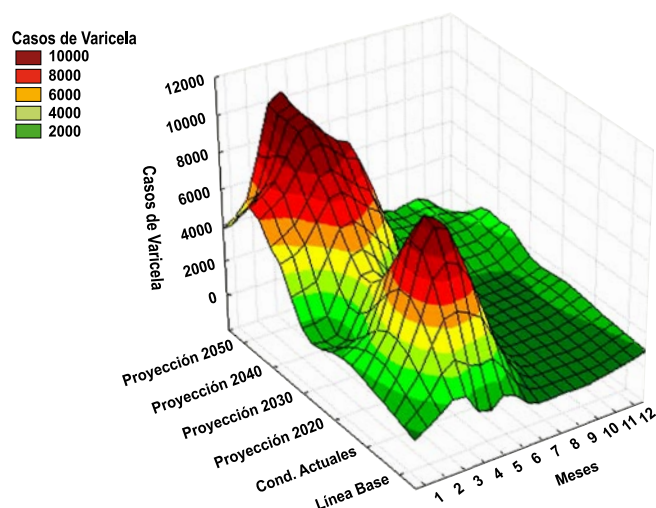


Figura 10.21. Proyección de casos de Varicela. Escenario climático $IB_{t,1,Cuba}$, 2020, 2030, 2040 y 2050 respecto a línea base (1981-2000) y Condiciones Actuales (2001-2010). **Fuente:** Ortiz, et al., 2010.

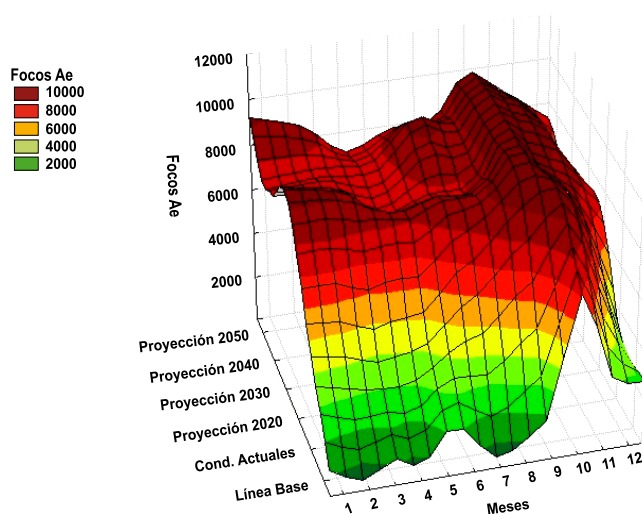


Figura 10.22. Proyección de Numero de Focos de *Aedes aegypti* (Ae). Escenario climático $IB_{t,1,Cuba}$ 2020, 2030, 2040 y 2050 respecto a (1981-2000) y Condiciones Actuales (2001-2010). **Fuente:** Ortiz et al., 2010.

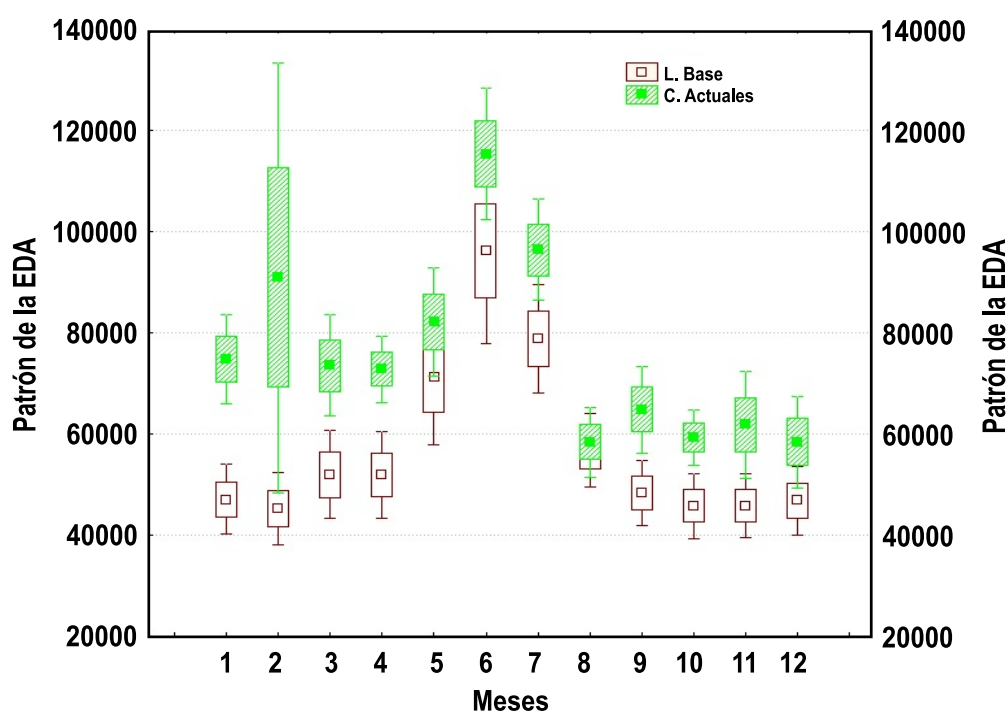


Figura 10.23. Gradiente de casos esperados por meses para variaciones climáticas esperadas del IB_{t,1Cuba} período 2020-2050 respecto a condiciones actuales (2001-2010). Fuente: Ortiz *et al.*, 2010.

Tabla 10.6. Potenciales Impactos a largo plazo 2020-50, de la Variabilidad y el cambio climático en Cuba

VÍA DE TRANSMISIÓN	INDICADOR	IMPACTOS ESPERADOS	PERÍODO DE IMPACTO
Aire	IRA	Incremento de las atenciones. Nueva alza estacional en el verano, con aumento del riesgo en edades extremas (ancianos y niños).	MP, IA
	Varicela	Modificaciones del patrón estacional y posible comportamiento hiperendémico.	MP
Agua y alimentos	Hepatitis Viral	Incremento en los meses del período poco lluvioso.	MP
	EDA	Incremento en los meses del período poco lluvioso y desplazamiento del pico de mayo para los meses de julio-agosto y cambios en la densidad de gérmenes circulantes.	MP, IA
	Meningitis Viral	Incremento de los casos y variación estacional con aumento en los meses del período poco lluvioso (septiembre-octubre), fundamentalmente por entero virus.	MP
Vectores	Dengue	Condiciones climáticas muy favorables para la extensión geográfica del vector y disminución del ciclo evolutivo. Incremento de focos de Ae. Peligro de introducción y brotes de dengue.	MP, IA
	Malaria	Las condiciones climáticas favorecen el ciclo evolutivo del vector (<i>Anopheles</i> sp). Probable introducción y brotes de malaria en el país por incremento de reservorio potencial.	LP

LP: largo plazo (2021-2050) MP: mediano plazo (2015-2020) IA: impacto actual (2001-2010)

Fuente: Ortiz, *et al.* 2009

10.3.4. INTEGRACIÓN MULTISECTORIAL DE IMPACTOS

La variabilidad climática y los cambios del clima, y sus efectos sobre la salud humana, no se pueden comprender sin tener en cuenta las interacciones entre un conjunto de variables del medio ambiente, que condicionan el comportamiento de los patrones epidemiológicos. Entre esas variables se encuentran: el estado del suelo, la disponibilidad de alimentos, la carga de elementos patógenos, los cambios ecológicos, la calidad de las aguas y el aumento del nivel medio del mar, conjuntamente con las condiciones socioculturales, económicas y demográficas. La tabla 10.7 demuestra que no solo las variaciones climáticas y el cambio del clima explican el estado o cambio de una situación de salud, y que existen escenarios epidemiológicos propicios para la emergencia y reemergencia de enfermedades infecciosas, muchas de las cuales se consideraban erradicada en el país.

Tabla 10.7. Relación entre la presiones, el estado de algunos componentes del medio ambiente, las condiciones socio económicas, los impactos y las consecuencias para indicadores de la salud humana según proyección para el 2050

COMPONENTE AMBIENTAL	ESTADO Y TENDENCIA DEL COMPONENTE AMBIENTAL	IMPACTO COMPONENTE AMBIENTAL	INDICADOR IMPACTO EN SALUD HUMANA	
			EPIDEMIOLOGICO EDA	ENTOMOLOGICO
			SITUACIÓN EPIDEMIOLOGICA	NFae
Aguas marinas y costeras	Deterioro de las aguas marinas y costeras.	Efectos sobre los principales ecosistemas costeros, cambio de la línea de costa, reubicación de comunidades, cambio en el ciclo de nutrientes, intrusión salina y salinización de los suelos.	Alta morbilidad	No evidencia
Aguas terrestres	Déficit y deterioro de la calidad.	Deterioro de la calidad y disponibilidad de aguas para el consumo. Aumento de los recipientes para almacenar agua.	Aumento de las EDA	Elevado índice
Suelos	Erosionados, salinizados, cambio en el uso.	Pérdida de la diversidad biológica, cambio de nutrientes, cambio de la relación depredador presa, desplazamiento de poblaciones de gérmenes.	Aumento de las EDA	Aumento de la población de Aedes en las aéreas
Diversidad Biológica	Cambios en la diversidad, pérdida de hábitats, ecosistemas, etc.	Pérdida de la diversidad biológica, hábitat y nichos ecológicos, cambio de la relación depredador presa. Incremento de la reproducción y circulación de los agentes microbianos.	Aumento de las EDA por Bacterias (<i>Aeromonas</i> , <i>salmonellas</i> , <i>Shigellas</i> , <i>Vibrios</i>), Parásitos y Virus	Aumento de la población de Aedes
Medio Ambiente Urbano	Pérdida de la diversidad biológica.	Cambio en la dinámica de los virus, gérmenes y vectores, tendencia al aumento de las poblaciones.	Aumento de las EDA	Aumento de la población de Aedes

Fuente: adaptado de Pérez et al., 2009

Tabla 10.7. (continuación)

COMPONENTE AMBIENTAL	ESTADO Y TENDENCIA DEL COMPONENTE AMBIENTAL	IMPACTO COMPONENTE AMBIENTAL	INDICADOR IMPACTO EN SALUD HUMANA	
			EPIDEMIOLÓGICO EDA	ENTOMOLÓGICO
			SITUACIÓN EPIDEMIOLÓGICA	NFae
Medio Ambiente Urbano	Deterioro del ecosistema humano.	Dificultades del funcionamiento de la infraestructura urbana.	Aumento de las EDA.	Aumento de la población de Aedes.
Socio-Económico - demográfico	Inseguridad alimentaria Incremento de las migraciones, Incremento de los costos Disminución de la disponibilidad de recurso. Cambio de la pirámide poblacional.	Incremento de la migración hacia las ciudades, aumento de la pobreza y deterioro del saneamiento ambiental. Aumento la población Mayor de 65 años. Cambio en los asentamientos humanos.	Aumento de las EDA con mayor riesgo en población adulta.	Aumento de la población de Aedes.

Fuente: Adaptado de Pérez *et al.*, 2009.

10.3.5. COSTOS DE LOS IMPACTOS

La estimación de costos atribuibles a la variabilidad y al cambio climático hasta la fecha ha tenido diversos niveles de aproximación en algunos países y regiones (Drummond, 1980 y CEPAL, 1997). Durante el 2008 se avanzó en el estudio del impacto económico en Brasil, en la Comunidad Andina y en México; y más recientemente se iniciaron estudios de este tipo en Centroamérica, el Caribe y América del Sur, con el apoyo de la cooperación del Reino Unido, Dinamarca y Alemania. Sin embargo, aun continúan siendo muy pobres estas valoraciones. En Cuba se ha trabajado en esta dirección también, con los primeros esfuerzos en la primera década del presente siglo. (Shardu y Samuel, 2008, Fernández y Pérez, 2009 y Ortiz *et al.*, 2008).

En el país no existen limitaciones económicas para acceder a los servicios de salud, pues la prestación de los mismos es gratuita. El Estado destina anualmente grandes sumas de dinero a la salud de la población cubana y al mejoramiento de su calidad de vida, que ascienden a valores que oscilan entre 1 400 a 1 500 millones de pesos (Ortiz, 2005; Ortiz *et al.*, 2006, 2009).

10.3.5.1. VARIABILIDAD CLIMÁTICA EXTREMA

Los resultados de la evaluación del impacto del clima, tanto las atribuibles a la variabilidad y a los escenarios del cambio climático, sugieren incrementos elevados de los gastos del sistema de salud debido al aumento del número de casos y de hospitalizaciones. Por ejemplo, en el caso de los impactos debidos a las anomalías de la variabilidad climática en el período 2001-2002, los gastos estimados en Ciudad de La Habana fueron del orden de los 10,7 millones de pesos (Ortiz, P L, 2010; *et al.*, 2009). La tabla 10.8 contiene los valores dejados de producir y la afectación a los ingresos que esto causa a la calidad de vida de las familias cubanas.

Tabla 10.8. Costos estimados atribuibles al impacto de la variabilidad climática durante el período 2001-2010 en los indicadores de morbilidad (pesos)

ENTIDAD	ATENCIÓN	EN HOSPITAL	CERTIFICADO MÉDICO	TRATAMIENTO	CUERPO GUARDIA	TOTAL
HV	8 874,06	8 657,10	91 750,0	5 505,0	1 236,79	116 022,95
EDA	373 073,6	175 067,95	547 059,2	76 064,6	36 463,4	1 207 728,75
Dengue	-	-	-	3 45 605,66	-	3 745 605,66
M.Neumo*	-	231 318,00	-	-	-	231 318,00
TOTAL					5 300 675,36	

* Todos los casos son hospitalizados

Fuente: Ortiz, et al., 2006, 2008, 2009

Tabla 10.9. Costo de oportunidad atribuible a la variabilidad climática

ENTIDAD	COSTO TOTAL
HV	107 164,00
EDA	481 057,20
Dengue*	785 070,40
Total	1 373 291,6

* Referido solo a la C.Habana

Fuente: Ortiz, et al., 2006, 2008, 2009

10.3.5.2. ESCENARIO CLIMÁTICO AÑOS 2020-2050

En el caso de las proyecciones para el período 2020-2050 a nivel de país, según los escenarios previstos para los indicadores epidemiológicos, se estimó que los costos podían estar alrededor de 2 445 millones novecientos noventa y siete mil pesos, de no efectuarse intervenciones oportunas para evitar epidemias y contingencias significativas (tabla 10.10).

Tabla 10.10. Costos estimados por concepto del incremento de los indicadores estudiados a consecuencias del impacto de la variabilidad y el cambio climático para el período 2020-2050 para Cuba

INDICADOR EPIDEMIOLÓGICO	COSTO DE ATENCIÓN MÉDICA	COSTO POR HOSPITALIZACIÓN	COSTO POR CONTROL DEL VECTOR	COSTO TOTAL
EDA	5 044 837,76	4 738 980,90	-	9 783 818,66
HV	323 442,00	68 758,2	-	392 200,20
IRA	14 2708 914,80	73 523 374,29	-	216 232 289,09
VAR	2 228 567,88	-	-	2 228 567,88
EM*	-	3 851 814,78	-	3 851 814,78
EM**	-	18 743 458,80	-	18 743 458,80
M.Neumo	-	9 252 723,20	-	9 252 723,20
Dengue**	4 612,50	164 347,68	2 185 344 000,00	2 185 512 960,18
COSTO TOTAL				2 445 997 832,79
Indicador entomológico				
Número de focos <i>Aedes aegypti</i>	Incremento esperados			
	25 896,00		114 951 000,00	114 976 896,00
COSTO TOTAL			2 560 974 728,79	

Leyenda: * Sin epidemia ** Con epidemia.

Fuente: Ortiz et al., 2009 y Ortiz, 2010.

Como se observa en la tabla 10.11, los costos por pérdida de oportunidad debido a los impactos de la variabilidad y el cambio climático resultan elevados, al ascender a más de 144 millones de pesos.

Tabla 10.11. Costo por pérdida de oportunidad atribuible al impacto de la variabilidad y el cambio climático para el período 2020-2050 para Cuba

INDICADOR	COSTO TOTAL
HV	3 127 320,00
EDA	65 055 031,52
IRA	129 617 836,00
VAR	4 913 484,00
Dengue	77 736,00
Total	144 241 408,02

Fuente: : Ortiz, 2010

10.3.6. INCERTIDUMBRES Y RETOS EN EL SECTOR DE LA SALUD HUMANA

El conocimiento es todavía limitado en áreas como la influencia de la variabilidad climática a corto plazo en las enfermedades, en el desarrollo de sistemas de alerta temprana, en la relación entre enfermedades y los fenómenos meteorológicos extremos, la identificación de los primeros efectos de las anomalías climáticas en la salud, y los mecanismos por el que la reiteración de fenómenos extremos, así como la disponibilidad de información y la calidad de la misma, pueden debilitar la capacidad de adaptación (Ortiz *et al.*, 2006). Luego, trabajar por la reducción de estas limitaciones y de otras fuentes de incertidumbre contribuye a disminuir los riesgos y severidad de los impactos en el sector de la salud (tabla 10.12).

Tabla 10.12. Limitaciones y fuentes de incertidumbre en las evaluaciones de clima y salud

FUENTES DE INCERTIDUMBRE	EJEMPLOS	PERÍODO DE SOLUCIÓN
Problemas con la información.	1. Errores en la información. 2. Ruidos asociados a datos incompletos y sesgos en la información de procedencia. 3. Sesgos en las muestras tomadas.	C y MP
Problemas con los modelos existentes para explicar las relaciones entre el clima y la salud.	1. No hay un claro conocimiento de las relaciones y estructuras en los modelos usados, a pesar de conocer los procesos de las enfermedades. 2. No se tiene en cuenta en los modelos que los parámetros e indicadores usados en el clima y la salud cambian en el tiempo. 3. Incertidumbre a la hora de simplificar las relaciones explicadas por los modelos.	C y MP
Otras fuentes de incertidumbre.	1. Problemas con el planteamiento de la hipótesis y objetivos para el desarrollo de las evaluaciones. 2. Ambigüedad en la definición de los términos y conceptos para identificar el grado de exposición al clima. 3. Utilización de variables e indicadores climáticos de amplio uso, pero que no han sido creados para las evaluaciones en salud e Inapropiado empleo de unidades espaciales y temporales.	MD y LP

Leyenda:

C: Corto plazo MD: Mediano Plazo LP: Largo Plazo

10.3.6.1. RETOS PARA REDUCIR LAS INCERTIDUMBRES

1. Mejorar el conocimiento sobre las enfermedades sensibles al clima tropical, incluyendo indicadores de otros sectores de la economía, que pueden modificar el impacto del clima en la salud.
2. Priorizar las investigaciones integrales sobre las enfermedades de mayor incidencia en el país, con énfasis en las transmitidas por vías digestivas y respiratorias, donde se incorporen elementos de contaminación y el estudio de agentes transmisores.
3. Promover una visión integral e intersectorial que propicie la identificación de las áreas vulnerables, así como la obtención de mapas de vulnerabilidad y riesgo por comunidades, especialmente en las enfermedades vulnerables a la variabilidad y el cambio climático.
4. Desarrollar y evaluar nuevos indicadores para los estudios de salud e identificar los impactos potenciales de la variabilidad y el cambio climático en diferentes escalas espacio-temporales, donde se incorporen las dimensiones social, económica y ecológica, que modifican las vulnerabilidades.
5. Mejorar el entendimiento de la relación compleja entre los peligros asociados a la variabilidad climática atribuible al cambio y su combinación con otros determinantes de la salud.
6. Fortalecer el trabajo con el rescate de datos y conservación de la información acerca de los diferentes determinantes de salud.
7. Incorporar el uso de la epidemiología panorámica o satelital en investigaciones y servicios aplicados a la salud.

10.4. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

El principal requisito de adaptación en la salud humana radica en mejorar los sistemas de salud pública, particularmente, crear o mejorar los sistemas de vigilancia existentes, para identificar la presencia o aparición de enfermedades, con la incorporación del componente ambiental y en particular el climático. La Organización Mundial de la Salud (2003) propone en esta dirección, lograr un mejor entendimiento de la compleja relación causal entre el cambio climático y los patrones de transmisión de enfermedades, principalmente en tres áreas: a) el seguimiento histórico de la variabilidad climática y la ocurrencia o propagación de enfermedades infecciosas; b) la observación de indicadores de nuevos efectos de las enfermedades infecciosas debido al cambio climático a largo plazo, y c) la creación de modelos que permitan estimar la carga futura de las enfermedades infecciosas. Aspectos en los que Cuba ha trabajado y continua trabajando con resultados alentadores.

El Ministerio de Salud Pública ha trazado una estrategia que persigue incrementar la eficiencia y la calidad en los servicios de salud, y así garantizar la sostenibilidad del sistema, encaminado a la eliminación de pequeñas desigualdades en la situación de salud y en la utilización de los servicios entre regiones y grupos de población. La estrategia privilegia las acciones de promoción de la salud y prevención de enfermedades, en el marco del perfeccionamiento de la atención primaria y la medicina familiar, la descentralización, la participación intersectorial y comunitaria, así como el perfeccionamiento de los servicios en el segundo y tercer nivel de atención.

De esta manera, Cuba cuenta con un marco definido en términos de política de salud y reorientación estratégica del sistema, que conforman el escenario del nuevo momento de reforma sectorial del país, lo que permite garantizar la implementación y preparación de las medidas de adaptación para enfrentar los problemas de salud atribuibles al cambio y la variabilidad climática.

10.4.1. MEDIDAS GENERALES

1. Establecer una estrategia que facilite la implementación de las medidas de adaptación.
2. Garantizar la estabilidad en el suministro de agua potable a la población, así como mantener los servicios de recogida y disposición de desechos sólidos y recolección de residuales líquidos según las normas establecidas.
3. Establecer una estrategia que facilite la implementación de las medidas de adaptación sustentables ante una situación de cambio climático.
4. Mantener e incrementar el programa de inmunización.
5. Capacitar y educar al personal de salud en estos temas.
6. Transferir tecnologías y asistencia financiera.
7. Educación ambiental y participativa de las comunidades en la aplicación de medidas generales y locales de adaptación a la variabilidad y el cambio climático.
8. Mejorar las estadísticas entre los sectores, la disponibilidad de información, la vigilancia y el conocimiento de las proyecciones futuras en materia de variabilidad y cambio climático en salud humana.
9. Mantener y conducir nuevos estudios para determinar la vulnerabilidad en el sector de la salud en unidades espaciales más pequeñas.

De igual manera que se han propuesto opciones de adaptación a escala general, se formularon para cada una de las entidades identificadas como vulnerables al clima. Ejemplo son las recientes acciones para el control del *Aedes aegypti*, *Anopheles ssp.* y otros mosquitos:

1. Cumplir con rigor las medidas del plan de sostenibilidad para el control del dengue y la erradicación del *Aedes aegypti*.
2. Elevar la calidad del trabajo en aspectos tales como capacitación y superación de toda la fuerza, fiscalización y control del trabajo.
3. Lograr mediante una educación sanitaria sistemática y eficaz, la participación activa y consciente de la comunidad en la prevención y eliminación de sitios de cría del vector a través de la realización del autofocal familiar y de centros de trabajo.
4. Continuar profundizando en las investigaciones dirigidas al estudio de los efectos del cambio climático en las enfermedades de transmisión vectorial.

10.4.2 MEDIDAS IMPLEMENTADAS

Sistema de Alerta Temprana a escala semanal, mensual, intraestacional y estacional, que incluye nueve enfermedades (tabla 10.13). Este sistema permite predecir el comportamiento de cada enfermedad, así como avizorar las situaciones de peligro para las diferentes enfermedades, lo cual contribuye a orientar a los tomadores de decisiones hacia donde hay que dirigir los esfuerzos.

Dentro del Sistema de Vigilancia, adquiere particular relevancia y novedad la asociada a la vigilancia de los peligros atribuibles a la variabilidad y el cambio climático sobre la salud humana a diferente escalas temporal y espacial por medio del Sistema de Alerta Temprana (tabla 10.13), constituyendo hoy una valiosa herramienta de apoyo para la toma de decisiones en cuanto a:

1. Aumentar los criterios para el análisis y el entendimiento de los eventos entomopidemiológicos.
2. Apoyar la caracterización ecológica de las especies de vectores.
3. Pronosticar el comportamiento a corto y mediano plazo de la infestación por *Aedes aegypti* y otros culícidos.
4. Emitir alertas tempranas ante la llegada del verano, ocurrencia de sequías, precipitaciones, ciclones y otros fenómenos de interés.
5. Planeación de estrategias de control oportunas.
6. Espacio para la investigación.

Tabla 10.13. Enfermedades incluidas en el Sistema de Pronóstico Bioclimático de Cuba (SPBC) y Alerta Temprana (AT). Fuente. Ortiz, 2005, Ortiz *et al.*, 2006, 2008

ENFERMEDADES INCLUIDAS EN EL SISTEMA (SPBC)	ENFERMEDADES NO INCLUIDAS EN EL SISTEMA (SPBC)
Diarreicas agudas Hepatitis viral Infecciones respiratorias agudas Varicela Meningocóccicas Meningitis bacteriana Meningitis por neumococo Meningitis viral Dengue	Fiebre amarilla Leishmaniasis

El país tiene implementado un sistema centinela que permite detectar de inmediato donde se presentan los primeros focos, así como un control estricto de vigilancia epidemiológica, que posibilita prever cambios en los canales endémicos de las entidades estudiadas, evitando que se produzcan contingencias por falta de control y tomas de medidas preventivas en los casos que lo requieran.

En correspondencia con el contexto de la infestación por *Aedes aegypti* antes descrito, y los potenciales impactos que se prevén, y que condiciona la tendencia observada y pronosticada al incremento, en 2006 se creó el Programa de Sostenibilidad para la Prevención del Dengue y el Control de *Aedes aegypti*, un programa de gobierno cuyas bases son:

- Desarrollar acciones integrales orientadas a fortalecer el saneamiento ambiental, la higiene del hogar y de los centros de trabajo y estudio, la vigilancia epidemiológica y la erradicación del *Aedes aegypti*.
- Organizar y realizar acciones del Sistema Nacional de Salud, orientadas y ejecutadas de conjunto con los Organismos de la Administración Central del Estado y el apoyo de las Organizaciones de Masas (comunidad) y Sociales, Juveniles y Estudiantiles.

Las acciones fundamentales del programa implementado han sido dirigidas al:

- Fortalecimiento de la logística del Sistema de Vigilancia y control vectorial y epidemiológico, tales como: transporte, reactivos e instrumental de laboratorio, equipos de fumigación intra y extradomiciliarios, plaguicidas y otros insumos necesarios para el trabajo.
- Garantizar la acción intersectorial para resolver o mejorar los problemas ambientales vinculados a la proliferación del *Aedes aegypti*.

Este programa de adaptación implementó:

1. Reorganiza el sistema de visitas a viviendas y locales por trabajadores de la campaña anti-aegypti (entre 2-4 semanas a cabeceras provinciales, zonas urbanas y territorios seleccionados, según su riesgo y cada 8 semanas en zonas rurales).
2. Ubicación de los operarios en puestos fijos de trabajo.
3. Creación del grupo de recontrol a nivel de áreas, municipios, provincias y nación.
4. Mejora de la atención al trabajador de control de vectores y fortalecida su preparación.
5. Mejora del ordenamiento ambiental:
 - a. Distribución de tanques bajo y de azoteas, con tapas para estos.
 - b. Reemplazo de tuberías y nuevas conexiones hidráulicas.
 - c. Construcción de nuevos acueductos en provincias con alta incidencia del vector.
 - d. Mejora en la recolección y disposición final de desechos sólidos y líquidos.
6. Manejo integrado para el control vectorial con la participación de la comunidad.
7. Fortalecimiento de la vigilancia integrada activa: entomológica, epidemiológica y ambiental, incluyendo:
 - a. Perfeccionamiento del Plan para el Enfrentamiento de las Graves Epidemias.
 - b. Fortalecimiento de la capacidad de procesamiento de datos, análisis de la información y predicción de eventos agudos.
 - c. Desarrollo de líneas de investigaciones imprescindibles (entomológicas, epidemiológicas, ambientales, sociales y evaluación económica).
8. Comunicación y educación sanitaria sistemáticas para lograr la participación activa de la comunidad y mejor integración con las acciones de control vectorial.
9. Perfeccionamiento de los instrumentos legales.

10.5. CONCLUSIONES

- Se evidencia que el clima constituye un determinante importante de numerosos ecosistemas, luego cualquier variación significativa que este experimente traerá cambios en la carga de microorganismos, vectores, reservorios y seres humanos susceptibles, generando transformaciones en los patrones epidemiológicos y los indicadores ecológicos, trayendo consigo el aumento del riesgo de numerosas enfermedades, en su mayoría infecciosas.
- Los resultados expuestos evidencian que los indicadores epidemiológicos de las enfermedades transmitidas por agua y alimentos, así como las transmitidas por vías respiratorias, son las más susceptibles a recibir los mayores impactos, de igual manera las transmitidas por vectores, en particular los cambios que se prevén en el índice entomológico y por ende en las poblaciones de vectores aumenta el riesgo de aparición de epidemia.
- El estudio demuestra que las variaciones y cambios en el clima son un factor determinante no solo para la producción de enfermedades sino que también conlleva a cambios ecológicos y socio-económicos propiciando variaciones y cambios epidemiológicos que afectan al sistema de Salud y por ende hay un cambio de la vulnerabilidad actual.
- Mediante los costos de los impactos atribuibles a la variabilidad y el cambio climático se evidencia que las interacciones del clima con los indicadores de salud no son nada despreciables y aportan un gasto al sistema de salud, que de no incorporar en sus planes acciones para los peligros climáticos generados por el cambio climático, se duplicarían los gastos que se acometerían al no elaborar e implementar medidas de adaptación. Evidenciándose en el estudio que la implementación oportuna de estas pueden influir en la planificación de los recursos materiales y humanos y en las políticas del sistema de salud y de esta forma se garantice el bienestar de la sociedad y la contribución a mejorar la calidad de vida de la población cubana.
- Mediante el informe se evidencia que el sector de la salud en Cuba se encuentra en una relativa ventaja en relación con los estudios de cambio climático y su capacidad de respuesta de otros países de la región. Muchas de las medidas de adaptación recomendadas en el informe ya se encuentran implementadas o se implementan en estos momentos con resultados satisfactorios, y solo requerirán de pequeños reajustes, sincronizaciones o profundización de sus proyecciones para lograr el objetivo propuesto. Sin embargo, esto no disminuye la necesidad de continuar estudiando los impactos del cambio y la variabilidad climática en este sector.
- El reporte muestra cuanto Cuba ha avanzado en las investigaciones para la búsqueda de evidencias de los impactos del cambio climáticos a la salud humana, así como en la prevención y manejo de los peligros climáticos a través de los sistemas de alerta temprana que incorporan la dimensión de la variabilidad y el cambio climático de forma explícita.

BIBLIOGRAFÍA

1. CEPAL (1997): La Economía Cubana. Reformas estructurales y desempeño en los noventa. (Anexo estadístico). Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 416pp.
2. Corvalán C. (2004): Cambios ambientales globales y salud en Brasil. Publicación OMS.
3. Drummond, M.F. (1980): "Principles of economic appraisal in health care", Oxford University Press.
4. Ebis K L Lewis D N and Corvalán C F (2005): Climate variability and Change and their health effects in small island states: Information for adaptation planning in the health sector. WHO.
5. Ebis, K L and Patz, JA. (2002): Epidemiological and impacts assessment methods. In: Global environmental change and human health. Martens, P. and McMichael, A.J. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
6. Guzmán MG, Kouri G, Valdés L, Bravo J, Álvarez M, Vázquez S, *et al.*, (2000): Epidemiologic studies on Dengue in Santiago de Cuba, 1997. *Am J Epidemiologic*; 152(9):793-9.
7. Guzmán MGD, Kourí GD, Pelegrino J LL (2001): Enfermedades Virales Emergentes. Artículo Especial.53(1):5-15
8. Guzmán MGD, Peláez OD, Kourí GD (2006): Caracterización final y lecciones de la epidemia de dengue 3 en Cuba, 2001-2002. *Revista Panamericana de Salud Pública*. 19(4).
9. IPCC (2007): Resumen para Responsables de Políticas. En, Cambio Climático, 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Eds. Cambridge. University Press, Cambridge. Reino Unido.
10. Kouri GP, Guzman MG, Bravo JR (1987): Why dengue haemorrhagic fever in Cuba. An integral analysis. *Trans R Soc Trop Med Hyg*; 81(5):821-3.
11. Kouri G, Guzman MG, Valdes L, Carbonel I, del Rosario D, Vazquez S *et al.*, (1998): Reemergence of dengue in Cuba: a (1997) epidemic in Santiago de Cuba. *Emerg Infect Dis*; 4(1):89-92.
12. MINSAP (2009): Anuario Estadístico de Salud. Ministerio de Salud Pública Publicación #31.
13. Navarra A. (2005). The climate Dilemma. In: *Extremes Weather Events and Public Health Responses*. [In English]. Kirch W, Menne B and Bertollini. Eds. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg.
14. OMS (2008): cambio climático y salud humana—riesgos y respuestas. Resumen Actualizado.
15. OMS (2009): cambio climático y salud Informe de la Secretaría. 62ª ASAMBLEA MUNDIAL DE LA SALUD documento. (A62/11).
16. Ortiz, B P, Pérez. R A, Rivero.V A León.V N. Díaz M and Pérez A. (2006): Mini- Monograph "Resulted to assessing the human health vulnerability to climate variability and change in Cuba. "Environmental Health Perspectives (EHP). E.U. Vol 114, No12: 1942-49.
17. Ortiz *et al.*, (2008): Assessment of human health vulnerability in Cuba due to climate or weather Variability and change, In *Global Warming and Climate Change. Ten Years after Kyoto and Still Counting. Volume 2*.
18. Ortiz *et al.*, (2009): Impacto del cambio climático. Sector Salud Humana. Capitulo 6 en *Geo Cuba. Evaluación del medio ambiente cubano*. Eds. Fernández M A y Pérez R R. CITMA, PNUMA y AMA.
19. Fernández M A y Pérez R (Eds) (2009): *Geo Cuba. Evaluación del medio ambiente cubano*. R. CITMA, PNUMA y AMA.
20. Ortiz, P L (2010): Estimación de los costos atribuibles al impacto de la variabilidad y el cambio climático en el sector salud en Cuba. *Revista Colombiana*. No. 13 pp 21-33.

21. Ortiz, P L, Rivero V A, Pérez A R y Morgado F C. (2006): La influencia de la variabilidad climática en la ocurrencia de las enfermedades de transmisión digestiva en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, marzo. Vol13, Número 1. pp 73-77.
22. Ortiz, P L, Pérez A.R, Rivero A.V, Pérez A C, Ramón C J and Lecha L E (2008): La Variabilidad y el Cambio Climático en Cuba: Potenciales Impactos en las Salud Humana *Rev Cubana Salud Pública*, ene.-mar. 2008, vol.34, no.1, [online]. ene.-mar. 2008, p.0-0. Disponible en la World Wide Web: <http://scielo.sld.cu/scielo.php>
23. Peláez O, Guzman MG, Kouri G, Pérez R, San Martín JL, Vázquez S *et al.*, (2004): Dengue3 epidemic, Havana, 2001. *Emerg Infect Dis* 2004; 10(4):719-22.
24. Seuc A., Pérez A, Dickinson F, Ortiz D, Domínguez E. (2008): Carga de la meningitis bacteriana en Cuba, año 2000. *Revista Cubana Salud Pública* 2008; 34 (2). Versión On-line ISSN 0864-3466.
25. Shardu and Samuel (2008): *Economic Aspects of Adaptation to Climate Change. Costs, Benefits and Policy Instruments*, Paris
26. WHO (2003): *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*. McMichel AJ, Campbell - Lendrum DH, Corvalán C, Ebi KL, Githeko A, Scheraga JD *et al.*, eds. WHO/WMO/UNEP. Geneva. Chapter 10.
27. WHO (2008): *Climate Change and Human Health: Risks and Responses*. McMichel AJ, Campbell-Lendrum DH, Corvalán C, Ebi KL, Githeko A, Scheraga JD *et al.*, eds. WHO/WMO/UNEP. Geneva. Chapter 10
28. WHO (2010): Selected infectious disease: number of reported cases. In: *World Health Statistics*; WHO Library Cataloguing-in-Publication Data ISBN 978 92 4 156398 7 (NLM classification: WA 900.1) © World Health Organization pp 73-84.