



EFFECTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS BACURANAO Y GUANABO, CUBA: VISIÓN PROSPECTIVA

POTENTIAL EFFECTS OF CLIMATIC CHANGE ON HYDROLOGICAL BASINS OF BACURANAO AND GUANABO RIVERS: PROSPECTIVE APPROACH

¹A.J. ARECES¹, ²G. BARRANCO¹, ²J. SÁNCHEZ²

¹Instituto de Geografía Tropical, La Habana, Cuba. E-mail: jarecesmallea22@gmail.com, gbar@nauta.cu

²Instituto de Cibernética y Física, La Habana, Cuba. E-mail: grupoest@icimaf.cu

Palabras clave: RESUMEN

escenarios tendenciales, cambio climático, gestión de cuencas prospectiva

Los efectos del cambio climático sobre 13 situaciones ambientales potencialmente generadoras de disfunciones, problemas e impactos en cuencas hidrográficas muy intervenidas, fueron evaluados mediante juicio de expertos con el uso de técnicas prospectivas y el análisis de escenarios tendenciales. En el ámbito social del país fueron identificados 24 factores clave. De ellos, los más importantes por su motricidad fueron: *Actualización del modelo económico cubano, Estabilidad política y planificación e Inconsistencias y bajo despliegue económico*. El panel de expertos determinó que bajo cualquier contexto climático o condicionante socioeconómico y gubernamental, las situaciones ambientales: *Superficie Ociosa, Contaminación de ríos y cuerpos de agua y Vertederos y Microvertederos* constituyen las de mayor importancia relativa. La comparación en relación al escenario actual, de aquel con mayores posibilidades de gestión, permitió suponer que las interrelaciones y sinergias entre situaciones ambientales disminuirán y solo cuatro de ellas: *Contaminación de ríos y cuerpos de agua, Superficie ocupada por especies invasoras, Plagas y enfermedades y Agroproductividad del suelo* mantendrán en ambos escenarios una significativa interdependencia, hecho que debe tomarse en cuenta a los efectos de su gestión. Al parecer cualquier variación del régimen de lluvia y la temperatura con respecto al contexto climático actual incidirá sobre las situaciones ambientales evaluadas, aunque tres de ellas en particular, *Contaminación de ríos y cuerpos de agua, Cobertura boscosa autóctona y Agroproductividad del suelo* evidenciaron una asociación estadísticamente significativa con respecto al régimen de lluvias. Se ofrecen pautas para la gestión ambiental de este tipo de cuencas en correspondencia con el cambio climático.

Key words: ABSTRACT

Scenario analysis, climatic change, basins management, prospective

Scenario analysis of the effects of climatic changes over 13 different environmental situations that can potentially generate dysfunctions, problems or impacts in hydrological basins highly modified by human activities were developed using prospective methods. Twenty-four significant socioeconomic and governmental drivers were identified and four different climatic contexts considered. Of these drivers, *The Updating of the Cuban economic model, Political stability and planning and Inconsistencies and low economical performance* were the most important. The expert panel agreed that within any climatic context or whichever the socioeconomic and governmental driver's composition might be, due to their relative importance, the key environmental situations were *Idle Areas, Pollution of Rivers and Water Bodies, and Dumping and micro dumping fields*. Interrelations and synergies between environmental situations are assumed to diminish when the two extreme scenarios are compared: that with highest possibilities of environmental management and the real or present one. According to this comparison only four situations, *Pollution of rivers and water bodies, Area occupied by alien species, Pests and diseases and Soil agroproductivity* will maintain a significant interdependence, a fact that should be taken into account for the purpose of the actions to be taken. It has been considered also that any variation of the climatic regime in relation to the present one will affect all the environmental situations evaluated, but in particular *Pollution of rivers and water bodies, Autochthonous forest coverture and Soil agroproductivity* showed a well-defined statistical association to the rainfall pattern. Guidelines are offered for the environmental management of this type of basins in agreement with the expected alternatives of climatic change.

Recibido: 15 de abril de 2020

Aceptado: 21 de mayo de 2020

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution License CCBY-NC (4.0) internacional.



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

INTRODUCCIÓN

A pesar de la renuencia de algunos gobiernos en trazar estrategias de mitigación, las dos últimas décadas han visto construir un consenso por parte de la comunidad académica internacional acerca de la incidencia humana en el clima terráqueo. En la contribución del grupo de trabajo I al IV Reporte del Panel Intergubernamental de Cambio Climático, se aseveró de nuevo que el calentamiento ha sido fruto del CO₂ y otros gases con efecto invernadero, demostrándose que el aumento de dicho gas resultó significativamente mayor en el lustro 2000- 2005 (4.1 ± 0.1 GtC yr⁻¹), en comparación con los 90s (3.2 ± 0.1 GtC yr⁻¹). Ello, a causa del incremento en sus emisiones anuales desde un valor medio de 6.4 ± 0.4 GtC yr⁻¹ durante los 90s, hasta 7.2 ± 0.3 GtC yr⁻¹ entre el 2000 y el 2005 (Denman y cols., 2007).

Este hecho ha dado lugar a que, en los últimos 50 años, la tasa de calentamiento fuese casi del doble en comparación con los 100 años más recientes ($0.13^\circ\text{C} \pm 0.03^\circ\text{C}$ vs. $0.07^\circ\text{C} \pm 0.02^\circ\text{C}$ por década; Trenberth y cols., 2007). Por asumirse que el calentamiento acrecienta la variabilidad espacial de la precipitación y que este será mayor en áreas terrestres de gran extensión, se estima que contribuirá a una reducción de la lluvia en los subtropicos, y que dicha región expandirá sus límites hacia los polos (Christensen y cols., 2007).

En el archipiélago cubano también se han detectado evidencias del cambio climático. En bahías interiores del Archipiélago Sabana-Camagüey ha sido observada una tasa de incremento anual en la temperatura superficial del agua del orden de $0,02375^\circ\text{C}$ (Hernández-Zanuy y cols., 2008) durante los 12 años pasados. El nivel medio relativo del mar está aumentando y en algunos sitios alcanza hasta 2.14 mm anuales (Hernández y cols., 2014). Un crecimiento cercano a los 0.5°C de la temperatura media superficial del aire, el decremento de su rango diurno en casi 2°C a lo largo de la segunda mitad del siglo pasado y las significativas anomalías advertidas a partir de los 80s en el régimen de lluvias, atestiguan asimismo estos cambios (Centella y cols., 1997).

La isla de Cuba cuenta con 652 cuencas hidrográficas, que distribuyen el 67% de sus recursos hídricos potenciales, evaluados en 38.1×10^9 m³ de agua (CITMA, 2016). El 85% de las cuencas tienen ríos con longitudes inferiores a 40 km y áreas menores de 200 km² (Fernández-Richelme y García, 2012). A pesar de la restringida extensión de estas cuencas, las obras hidráulicas construidas, así como las condiciones creadas para su explotación, permiten disponer de un potencial hidráulico ascendente a 13 mil 904 millones de m³ (CITMA, 2016). No obstante ello, el Índice Clásico de Disponibilidad de Agua por Habitante solo alcanza 1245 m³ año⁻¹ (CITMA, 2016), lo cual incrementa la vulnerabilidad del país ante variaciones del régimen de lluvias ocasionadas por el cambio climático.

Hoy en día, se asume que la planificación extrapolativa ha colapsado y, también en el campo de la gestión ambiental, ha dado paso a una proyección estratégica basada en el análisis de escenarios. La construcción de cualquier escenario mediante metodologías de tipo observacional como alternativa al método empírico, suele basar la estructuración de ideas en juicios subjetivos emanados de paneles de expertos. Bajo esta circunstancia, la reducción de la incertidumbre constituye una premisa ineludible en la visualización del futuro. Además, ninguna técnica, de todas las disponibles para desarrollar procesos prospectivos, permite soslayar aspectos como la consistencia interna, plausibilidad y utilidad del escenario elegido, amén de que siempre se requiere tener en cuenta la complejidad como una propiedad inherente a cualquier sistema.

Entre el sinnúmero de metodologías y escenarios posibles (Vergara-Schmalbach y cols., 2010), fueron seleccionados para llevar a cabo la investigación los escenarios de alternativas, uno de los cuatro tipos de escenarios futuros *sensu* Wollenberg y cols., (2000). El procedimiento prospectivo seguido se sustentó en conceptualizaciones probabilísticas (Kahneman y Tversky, 1979) y técnicas formalizadas (Godet y cols., 2000). A partir de dos estudios de casos se idearon, como primer objetivo de la misma, cuatro escenarios distintos con contextos climáticos diferenciados con el fin de contrastar sus efectos sobre diversas situaciones ambientales y las sinergias existentes entre ellas. El segundo objetivo, atendiendo a la búsqueda de sustentabilidad e integridad en estos socioecosistemas asentados en cuencas hidrográficas fuertemente intervenidas, se centró en el análisis de aquellos aspectos que deben ser considerados para la implementación de las acciones de gestión ambiental requeridas con el fin de paliar o remediar dichas secuelas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de trabajo

El área de trabajo comprendió las cuencas de los ríos Bacuranao y Guanabo, situadas al E de la ciudad de La Habana (Fig. 1). Ambas cuencas, muy intervenidas, tienen una extensión total de 66,3 km² y 120,3 km² respectivamente y discurren

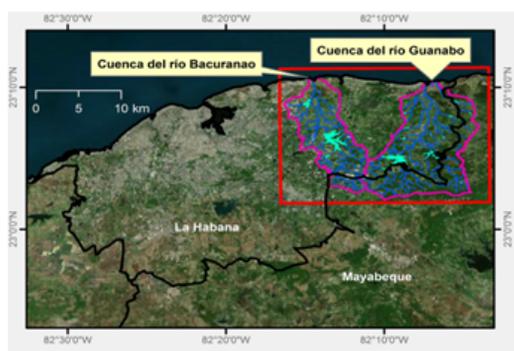


FIG. 1. Área de trabajo.

FIG. 1. Working área.

En la identificación de los contextos climáticos se tomaron en cuenta las proyecciones basadas en los modelos de circulación general HADCM2, UKTR y OSU para las tres celdas de SCENGEN referidas al archipiélago cubano (Centella y cols., 2013). En el caso de la temperatura, solo fue considerado un aumento sostenido de la temperatura media anual del aire, pero por ser más incierto el panorama con respecto a las precipitaciones, se incluyeron dos alternativas: mayor variabilidad de estas con aumento del total anual y variabilidad de las mismas equivalente a la de la anterior situación, pero con decremento en su total anual. Por tanto, se generaron tres contextos climáticos y otro de referencia asociado a las circunstancias actuales, basado en el ascenso de las medias térmicas, una mayor variabilidad de las precipitaciones con sequías recurrentes, ocurrencia de huracanes de alta intensidad e incrementos del nivel del mar. Con ellos se conformó en cuanto a clima, la plataforma para el análisis grupal (Anexo I).

2.3 Construcción de escenarios y análisis grupal

Para la elaboración de los escenarios se adaptó el modelo de ocho pasos formulado por Peter Schwartz (Schwartz, 1996), orientándose el trabajo ulterior a la propuesta de Godet (2006) sustentada en la formalización matemática, de la cual se utilizó su programa MICMAC para la identificación de las condicionantes socioeconómicas y gubernamentales que definirían estos escenarios. De conformidad con las sugerencias de algunos autores sobre el número de expertos requerido para conformar un panel según los principios básicos del método de consulta grupal (Landeta, 1999; Okoli y Pawłowski, 2004; Yáñez y Cuadra, 2008), se seleccionaron 16 especialistas afines a los objetivos del trabajo. A los mismos se les estimó su coeficiente de competencia respectivo (K), mediante una encuesta (Anexo II), y la evaluación referente a sus coeficientes de conocimiento (Kc) y argumentación (Ka) a partir de la formulación $K = \frac{1}{2}(Kc + Ka)$ donde Kc = 0.1 por el valor medio del total de los aspectos evaluados, en el intervalo de 0 a 10, y Ka es la suma de la influencia de las fuentes de argumentación de acuerdo a tres niveles diferentes: Alto, Medio y Bajo. La evaluación del coeficiente de argumentación se basó en la tabla de valores ponderados propuesta por Seisdedo-Loza (2016).

Con el concurso de todo el panel, se procedió a conformar una matriz DAFO con vista a identificar los factores clave o "drivers" considerados de mayor trascendencia en el ámbito social actual del país. Los factores compilados servirían para conformar a partir de sus motricidades y dependencias respectivas las cuatro condicionantes socioeconómicas y gubernamentales que, junto a los contextos climáticos preestablecidos, se utilizarían para vaticinar efectos potenciales sobre cada situación ambiental. Por ello y con el fin de determinar el carácter de las interrelaciones entre estos factores clave de acuerdo a los fundamentos de una matriz de Vester, fue empleado el programa de análisis estructural MICMAC. Con el mismo se identificaron, en consonancia con el procedimiento propuesto por Godet y cols., (2000), las variables emplazadas en el denominado cuadrante estratégico, consideradas las más significativas del sistema.

Posteriormente, el efecto combinado de diferentes contextos climáticos y circunstancias socioeconómicas y gubernamentales sobre las 13 situaciones ambientales, se evaluó de igual manera en panel de expertos. Para ello se realizó inicialmente una encuesta personal anónima basada en una escala continua comprendida entre 0, sin ninguna incidencia, hasta 10, con máxima afectación (Anexo I). Dicha evaluación fue después constreñida a cuatro categorías en una escala ordinal: Sin efecto (0), Efecto bajo (1-4), Efecto medio (5-7) y Efecto alto (8-10). Sin embargo, de modo contrapuesto al ejercicio anterior, de carácter grupal pero con acuerdos asumidos por consenso, la apreciación final del panel fue construida de forma diferente. Del total de

desde las alturas de Tapaste hasta la llanura y borde litoral, este último ubicado en el Tramo II de la costa NO de Cuba comprendido entre Punta Gobernadora y Playa Camacho (Iturralde-Vinent y Serrano-Méndez, 2015).

2.2 Selección de variables

Con vista a evaluar de manera holística los efectos potenciales del cambio climático en las dos cuencas hidrográficas escogidas, se seleccionaron 13 situaciones ambientales de gran significación en el entorno cubano por su asociación a problemas e impactos ambientales o a disfunciones socioeconómicas (CITMA, 2016; Fernández-Márquez y Pérez de los Reyes, 2009; Anexo I). La elegibilidad de estas situaciones ambientales fue corroborada de manera colegiada una vez iniciado el trabajo grupal.

expertos consignados inicialmente, se procedió a una exclusión de aquellos cuyas apreciaciones fueran atípicas y se alejaron significativamente de los restantes juicios y por ello pudieran incrementar el grado de incertidumbre implícito en las reflexiones del panel, por su naturaleza un tanto especulativas. De este modo fue posible generar una interpretación grupal más fiable y consistente. Con tal finalidad se obró de la siguiente manera:

1. Se calculó para el panel la distribución por categoría de los 208 valores modales, (o en su defecto del valor de la mediana cuando la moda no fuese única), derivados de cada situación ambiental (13) en cada alternativa de escenario (4X4).
2. Fue calculado por experto la distribución en categorías de las 208 evaluaciones que cada uno de ellos le confirió a las 13 situaciones ambientales en cada una de las 16 alternativas de escenarios.
3. Fueron computadas las probabilidades marginales en tablas 4X4 correspondientes a cada experto con relación a la distribución tipo del panel.
4. Se determinó la sumatoria de los cuadrados de la diferencia entre las probabilidades marginales del experto y las probabilidades marginales correspondiente al panel.
5. Se excluyeron aquellos expertos con sumatorias de valores que por su magnitud pudieran ser considerados "atípicos" con relación a la distribución de valores generada por los restantes jueces.

Como criterio de exclusión se consideraron magnitudes equivalentes o superiores al séptimo decil de la distribución conformada por el total de expertos del panel. Una vez reducido el panel a 11 jueces, para determinar *sensu* Oviedo y Campo-Arias (2005) la confiabilidad implícita en sus juicios, se utilizó el coeficiente de concordancia W de Kendall (Siegel, 1974), con el fin de evaluar la consistencia de los juicios acerca de la influencia ocasionada por los escenarios sobre las situaciones ambientales. Atendiendo sin embargo a la circunstancia de que bajo los escenarios III y IV (Anexo I) las inferencias pudieran basarse en conjeturas, aunque inciertas mucho más uniformes sobre posibles efectos, situación que dificultaría el uso del coeficiente W, en estos dos últimos escenarios la concordancia entre jueces fue evaluada mediante la expresión: $Concordancia = [(\sum fa - \sum fe) / N - \sum fe]$ siendo $\sum fa$, la suma de casos en los cuales los dos jueces coincidieron en las mismas categorías clasificatorias, $\sum fe$, el producto (*filas x columnas*) de la sumatoria marginal de los valores asignados a cada categoría por cada uno de los dos jueces, con exclusión de aquellos valores concurrentes en categorías similares, y N fue el total de observaciones. El valor final de concordancia constituyó la media del conjunto de valores derivados de todas las combinaciones par a par posibles entre miembros del panel.

2.4 Cálculos numéricos

Para el cómputo de medias, modas y medianas fue empleada la hoja de cálculo EXCEL del paquete para PC Office 2016. El coeficiente de correlación de Pearson se obtuvo mediante el programa Statistica ver. 10. El análisis no simétrico de correspondencias (ANSCO), así como el análisis de varianza no paramétrico de Kruskal-Wallis con comparación múltiple par a par según procedimiento de Dunn y corrección de Bonferroni, se llevó a cabo mediante el programa XLSTAT 2009.3.02.

3. RESULTADOS

La estimación acerca del dominio teórico en las temáticas evaluadas, efectuada según algunos de los principios del método Delphi de consulta grupal, generó con una mediana de 0.85, coeficientes de competencia de los participantes comprendidos entre 0,71 y 0,94. Esto le atribuyó al panel de expertos un nivel de competencia adecuado para la realización del ejercicio. La aplicación del coeficiente W de Kendal para los miembros del panel en los escenarios I y II ($s=147.23$, $\alpha= 0,05$; 149.69 , $\alpha= 0,05$, respectivamente) demostró una coincidencia entre juicios aceptable a los fines del trabajo grupal. Por otra parte, la concordancia media entre jueces varió de acuerdo tanto al escenario como al contexto climático. En el escenario III osciló entre 0,297 y 0,338 y en el escenario IV desde 0,371 a 0,487. En ambos escenarios, bajo un contexto climático similar al actual, ésta fue mayor. Con respecto a algunas de las escalas comúnmente usadas para evaluar la concordancia, la misma fluctuó según Fleiss, (1981) entre *pobre* (<0,40) hasta *de satisfactorio a bueno* (0,40-0,75), o de acuerdo con Landis y Koch, (1977), de *aceptable* (0,21-0,40) a *moderada* (0,41-0,60).

Los factores clave, críticos o "drivers" de mayor significación en el ámbito social del país se muestran en la [Tabla 1](#).

Fueron identificados 24 factores críticos, distribuidos en seis Fortalezas, cinco Oportunidades, siete Debilidades y seis Amenazas. Aunque la influencia relativa de los mismos en la trama social solo puede ser demostrada mediante un análisis estructural basado en las motricidades y dependencias respectivas, subsistió en apariencia un balance armónico en cuanto a número de factores de riesgo y aquellos que incentivan o favorecen el desarrollo socioeconómico.

TABLA 1. Matriz DAFO de factores con incidencia significativa en la sociedad cubana actual.

TABLE 1. Matrix of drivers with significative influence on nowadays Cuban society.

No.	FACTORES CRÍTICOS: FORTALEZAS	Siglas
1	Institucionalización del país	Inst
2	Estabilidad política y planificación	EstaPol
3	Capacidades intelectuales creadas	CapCre
4	Disponibilidad de normas técnicas y legislaciones ambientales	DisLegis
5	Existencia de un sistema de defensa civil organizado y funcional	DefCiv
6	Voluntad política para afrontar problemas ambientales	VolPol
FACTORES CRÍTICOS: OPORTUNIDADES		
7	Creación de capacidades básicas y técnicas	CreCaBTec
8	Disponibilidad de información ambiental	DisInfA
9	Actualización del modelo económico cubano	AcMoEc
10	Apoyo gubernamental a través de instituciones internacionales	ApoIn
11	Concienciación progresiva acerca del Cambio Climático	ConCC
FACTORES CRÍTICOS: DEBILIDADES		
12	Inconsistencias y bajo despliegue económico	BaDesEc
13	Centralización alta de la gestión socioeconómica	CentrGes
14	Falta de control e incumplimiento de las normativas legales establecidas	IncNorLe
15	Envejecimiento poblacional	EnvPo
16	Predominio de enfoques sectoriales que dificultan el acceso a la información y la gestión ambiental	EnfSec
17	Degradación progresiva de recursos naturales	DegReNat
18	Bloqueo de la economía cubana	BloEc
FACTORES CRÍTICOS: AMENAZAS		
19	Ocurrencia de eventos hidroclimáticos severos	EvenSev
20	Migración de personal calificado	Migrac
21	Insuficiencias en algunos elementos de la calidad de vida	InsCalVi
22	Financiamiento insuficiente para investigaciones ambientales	InsFinan
23	Existencia de vulnerabilidades sociales y estructurales	VulSocEs
24	Insuficiente educación ambiental de la población	InEdAm

De ellos, en cuanto a motricidad solo tres factores (*AcMoEc*, *EstaPol* y *BaDesEc*) la exhibieron muy elevada. A diferencia de estos, otros ocho (*DisInfA*, *CreCaBTec*, *ConCC*, *ApoIn*, *DefCiv*, *VulSocEs*, *DegReNat*, e *InsCalVi*), mostraron ser muy influenciados y su motricidad resultó de moderada a baja (Fig. 2). La conformación de las condicionantes socioeconómicas y gubernamentales que, junto a los contextos climáticos darían lugar a los cuatro escenarios tendenciales contrastados (Anexo I), fue efectuada solo con factores de motricidad elevada a media para poder disponer de un gradiente tangible de influencias recíprocas. Por dicha razón y a pesar de sus motricidades, en el proceso de conceptualización de los escenarios se obviaron los factores *Estabilidad política y planificación (EstaPol)*, *Institucionalización del país (Inst)*, *Disponibilidad de normas técnicas y legislaciones ambientales (DisLegis)* y *Disponibilidad de información ambiental (DisInfA)*, por suponerse relativamente invariantes durante el horizonte temporal considerado en este ejercicio prospectivo.

La importancia relativa de las situaciones ambientales evidenció la formación de tres grupos. El primero, con valores comprendidos entre 7.94 y 7.25 estuvo constituido por tres elementos: *Superficie Ociosa*, *Contaminación* y *Vertederos y Microvertederos*, los de mayor importancia del conjunto. El segundo grupo, en un entorno numérico entre 6.87 y 6.25, por otros cuatro elementos y finalmente el tercer grupo estuvo representado por cinco elementos con valores que oscilaron desde 5.94 a 3.81 (Fig. 3).

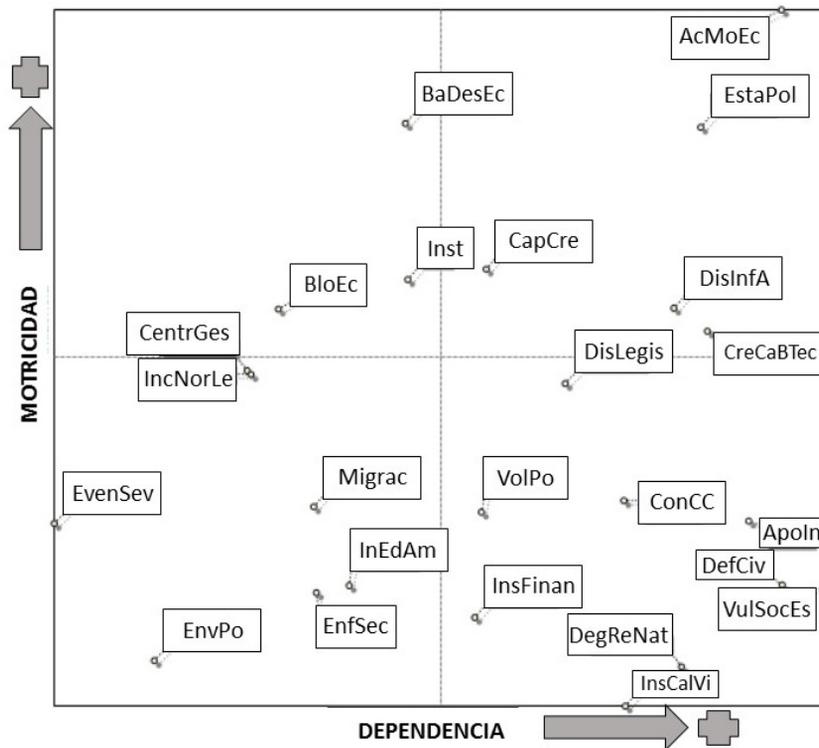


FIG. 2. MICMAC. Plano cartesiano derivado de la matriz de influencias indirectas potenciales, en el cual se expresan totalmente las variables e interacciones respectivas más importantes.

FIG. 2. MICMAC. Cartesian plane derived from matrix of potential indirect influences, where the most important variables and interactions are totally expressed.

	SuperfOciosa	Contaminacion	Vert&Microv		
	7.94	7.31	7.25		
	Desertificacion	Plag&Enfermedades	MorbilHumana	Silvicultura	
	6.87	6.81	6.37	6.25	
EspecInvasoras	Erosion	DensPoblacional	Agroproductividad	SupAgropecuaria	CobertBoscosa
5.94	5.63	4.44	4.37	4.31	3.81

FIG. 3. Importancia relativa de trece situaciones ambientales. Suma de la media aritmética de efectos altos e intermedios en los cuatro escenarios.

FIG. 3. Relative importance of thirteen environmental dysfunctions. Summatory of the arithmetic mean of high and median effects in the four scenarios analyzed

Las asociaciones entre estas situaciones ambientales variaron de acuerdo al escenario (Fig.4). En el Escenario I, con condicionantes socioeconómicas actuales, bajo cualquier contexto climático las interrelaciones significativas fueron muy numerosas. Estas interrelaciones disminuyen notablemente cuando las posibilidades de gestión se incrementan a causa de una disponibilidad de recursos mayor, como fue inferido en el Escenario IV. Solo cuatro situaciones ambientales: *Contaminación de ríos y cuerpos de agua*, *Superficie ocupada por especies invasoras*, así como *Plagas y enfermedades* y *Agroproductividad del suelo* mantuvieron en ambos escenarios una interdependencia significativa.

De acuerdo al análisis ANSCO realizado con la información sobre la categorización de efectos llevada a cabo por el panel, con excepción del Escenario IV, en las tablas de contingencia de los restantes escenarios fue constatada una dependencia significativa entre sus filas y columnas, para un $\alpha = 0.05$ y valores de p comprendidos entre 0.02 (Escenario III) y 0.00 (Escenarios I y II). La Fig. 5 indica que, en cualquiera de estos tres escenarios, se observa una asociación entre contextos

	Eros	Des	SupO	Vert&M	Cont	Esplnv	CoBos	DenPo	AgroP	SupA	MorH	Plag&E	SilviC
Eros	1												
Des	IV	1											
SupO			1										
Vert&M	IV	IV	I	1									
Cont		IV		IV	1								
Esplnv		IV	I	IV	I-IV	1							
CoBos			I	I			1						
DenPo			I	I	I	I		1					
AgroP					I			I	1				
SupA			I	I			I	I	I	1			
MorH			I	I			I	I	IV	I	1		
Plag&E		I							I-IV	I	I	1	
SilviC			I	I			I			I	I	I	1

FIG. 4. Correlaciones significativas (Pearson, $\alpha= 0.05$) entre 13 situaciones ambientales reconocidas en el área de estudio. En amarillo Escenario I; en azul Escenario IV; en verde, presencia de la interrelación en ambos escenarios. **Eros**: Erosión; **Des**: Desertificación; **SupO**: Superficie ociosa; **Vert&M**: Vertederos y Microvertederos; **Cont**: Contaminación de ríos y cuerpos de agua; **Esplnv**: Superficie ocupada por especies invasoras; **CoBos**: Cobertura boscosa autóctona; **DenPo**: Cambios de la densidad poblacional; **AgroP**: Agroproductividad del suelo; **SupA**: Superficie agropecuaria activa; **MorH**: Cambios en la morbilidad humana; **Plag&E**: Plagas y enfermedades y **SilviC**: Silvicultura.

FIG. 4. Significant correlations (Pearson, $\alpha= 0.05$) between thirteen environmental dysfunctions recognized in the study site. In yellow, Scenario I; in blue, Scenario IV; in green presence of the interrelation on both scenarios. **Eros**: Erosion; **Des**: Desertification; **SupO**: Idle areas; **Vert&M**: Dumping and micro dumping fields; **Cont**: Pollution of rivers and water bodies; **Esplnv**: Areas occupied by alien species; **CoBos**: Autochthonous forest coverage; **DenPo**: Changes in population density; **AgroP**: Soil agroproductivity; **SupA**: Agropecuary surface in use; **MorH**: Changes in human morbidity; **Plag&E**: Pests and diseases; **SilviC**: Silviculture.

climáticos con variaciones del régimen de lluvias o la temperatura y los efectos consecuentes de carácter alto o medio que provocan sobre las situaciones ambientales. En el plano cartesiano, los efectos más bajos o nulos se asociaron por lo general a condiciones climáticas actuales y de un modo contrapuesto al de los contextos climáticos más alterados (Fig. 5).

Como muestra la Fig. 6, el efecto del escenario sobre las situaciones ambientales en lo que respecta a sus condicionantes socioeconómicas y gubernamentales, apenas evidenció diferencias en los tres primeros escenarios. De acuerdo a la apreciación del panel en relación a estos escenarios, solo en el escenario IV fue posible percibir una disminución notoria y estadísticamente significativa (Kruskal-Wallis, $\alpha=0.05$, p -bilateral-, <0.0001) de las consecuencias provocadas por los cuatro contextos climáticos.

4. DISCUSIÓN

Dentro de la planeación estratégica, el diseño de escenarios verosímiles, aunque no necesariamente equiprobables, constituye una poderosa herramienta para visualizar futuribles y tendencias evolutivas en la relación sociedad-naturaleza, así como para planificar las acciones de gestión requeridas para mitigar o remediar impactos y problemas ambientales.

La sociedad cubana actual dispone de un entorno institucional, potencial humano y voluntad política suficiente para afrontar estas acciones, pero carece de los recursos necesarios para llevarlas a cabo a cabalidad. Tal fue discernido cuando se consideró, en el *Escenario IV*, una gestión capaz de minimizar disfunciones ambientales y externalidades negativas debido a la disponibilidad de financiamiento adicional. En este constructo fue sustituido además el factor *Capacidades intelectuales creadas por Creación de capacidades básicas y técnicas*. Dicha suplantación puede explicarse tanto por la derogación de leyes norteamericanas que estimulaban la migración de personal calificado afectando el potencial técnico del país, como por el despliegue de una economía de servicios necesitada de la promoción de personal competente. En ninguno de los escenarios anteriores fue posible paliar de manera significativa las consecuencias derivadas de diferentes alternativas de cambio climático (Fig. 6). Por ello, solo a consecuencia de la conjunción de factores como el mejoramiento de la productividad y la generación

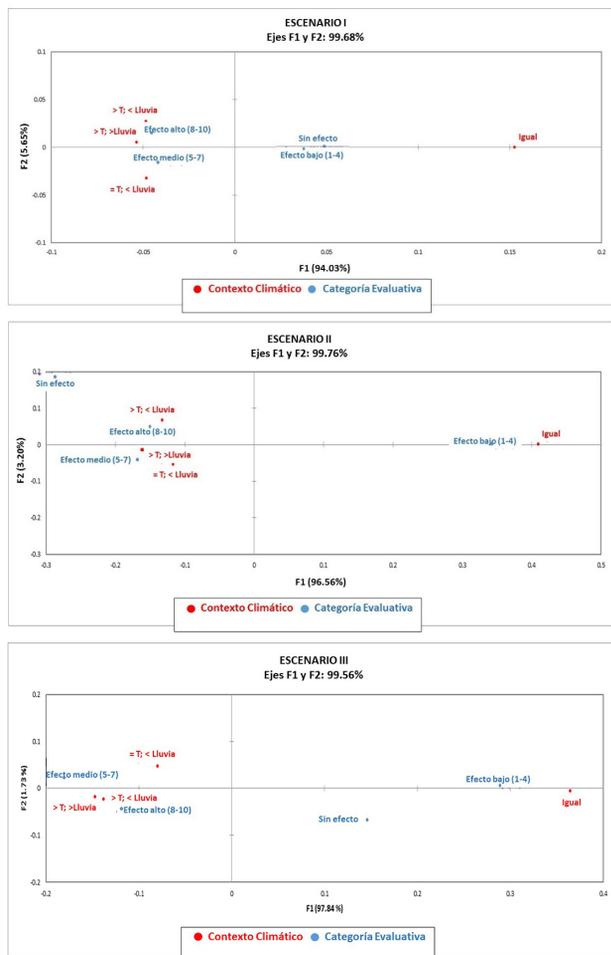


FIG. 5. Contextos climáticos y efectos asociados en tres escenarios con gestión restringida

FIG. 5. Climatic contexts and associated effects in three scenarios with restricted management.

limitada en relación a la densidad poblacional y a las necesidades exigidas por los sectores agropecuario y de servicios del país. Influye asimismo sobre las precipitaciones, la exigua evapotranspiración de una cobertura boscosa que solo asciende al 29.8 % del territorio nacional (CITMA, 2016), así como la ubicación del archipiélago en una faja latitudinal donde el régimen hidroclimático tiene en general una alta variabilidad.

Sin embargo, con respecto al contexto climático generado por el aumento simultáneo de las temperaturas y las precipitaciones, el panel no pudo distinguir una respuesta diferenciada a escala global en lo que atañe a las consecuencias que engendrará sobre las situaciones ambientales contrastadas. A pesar de ello, tres situaciones ambientales: *Contaminación de ríos y cuerpos de agua*, *Cobertura boscosa autóctona* y *Agroproductividad del suelo* mostraron divergencias estadísticamente significativas (U-Mann Whitney, $\alpha = 0.025$ para prueba de una cola), en cuanto a las consecuencias que las variaciones del régimen de precipitaciones podrían ocasionar. Al parecer, bajo condiciones limitadas en la gestión ambiental, el incremento de la lluvia ocasionaría un ligero aumento de los impactos provocados por la contaminación y tendría mayor incidencia sobre la fertilidad del suelo. Su disminución, por el contrario, afectaría en mayor grado la extensión y persistencia de la cobertura boscosa.

El peso respectivo de las 13 situaciones reconocidas por el panel como generadoras de conflictos, impactos y problemas ambientales, corroboró lo documentado en medios académicos nacionales acerca de la importancia relativa que tienen algunas de ellas (CITMA, 2016; Fernández-Márquez y Pérez de los Reyes, 2009; Arecos y Martínez-Iglesias, 2008; Pichardo-Moya y Marín-Santín, 2001). Particular relieve reviste la contaminación, los vertederos, la superficie ociosa y la degradación de los

de más riqueza a partir de la actualización del modelo económico, la optimización de los recursos disponibles mediante la descentralización de la gestión gubernamental, así como un intercambio comercial de mayor provecho después de ser suprimido el bloqueo económico, esta capitalización añadida potenciaría proyecciones novedosas en el campo de la gestión ambiental en cuanto a una mitigación o adaptación eficaz ante el cambio climático.

Los escenarios, tal como fueron estructurados a partir de la realidad actual del país, concibieron asimismo las complicaciones ambientales implícitas en diversas alternativas climatológicas. Bajo circunstancias con mayores posibilidades de gestión, como las del Escenario IV, aquellas situaciones ambientales como *Superficie Ociosa* y *Vertederos y microvertederos*, notorias por su transversalidad en el primer escenario, darían paso por efecto de un manejo mejorado, solo a interrelaciones significativas entre situaciones ambientales como *Erosión y Desertificación*, asociadas de un modo dinámico a procesos geomorfológicos y al uso del suelo, o a otras como *Vertederos y microvertederos*, *Contaminación de ríos y cuerpos de agua*, *Superficie ocupada por especies Invasoras* y *Cambios en la morbilidad humana*, que están siempre vinculadas a la eficacia en la gestión de desechos sólidos o líquidos y a la eficiencia del desenvolvimiento económico.

También bajo este constructo el gerenciamiento de riesgos y vulnerabilidades se vería beneficiado, sea cual fuese la alternativa más probable de cambio climático. Entre ellas, al parecer la conjunción de un incremento térmico con la disminución del régimen de lluvias, hecho este ya aseverado con una alta probabilidad de ocurrencia por algunos autores (Rivero y cols., 2013; Centella, 2010), podría ocasionar un impacto notorio.

El acentuado efecto que tendría este contexto climático puede deberse a que la formación de los recursos hídricos depende de las precipitaciones y la disponibilidad de estos es limitada en relación a la densidad poblacional y a las necesidades exigidas por los sectores agropecuario y de servicios del país. Influye asimismo sobre las precipitaciones, la exigua evapotranspiración de una cobertura boscosa que solo asciende al 29.8 % del territorio nacional (CITMA, 2016), así como la ubicación del archipiélago en una faja latitudinal donde el régimen hidroclimático tiene en general una alta variabilidad.

suelos, generada esta última entre otros factores, por procesos de desertificación y erosión (Planos-Gutiérrez y cols., 2012). En los dos escenarios extremo, las situaciones ambientales *Contaminación de ríos y cuerpos de agua* y *Superficie ocupada por especies Invasoras*, así como *Agroproductividad del suelo* y *Plagas y enfermedades* mantuvieron una asociación significativa, en correspondencia con las sinergias que poseen entre sí.

Hay también una obvia concatenación de consecuencias debidas al manejo inadecuado de situaciones ambientales como *Superficie ociosa*, *Vertederos* y *micro vertederos*, y *Contaminación de ríos y cuerpos de agua*, las cuales por su transversalidad inciden sobre otras como *Superficie agropecuaria activa*, *Agroproductividad del suelo*, *Cambios de la densidad poblacional*, *Cambios en la morbilidad humana* y *Silvicultura*.

Ambas cuencas, de clima húmedo según la clasificación de Riábchikov y con bosques mayormente secos de acuerdo a las zonas de vida de Holdridge (Rivero-Jaspe y Rivero-Vega, 2011), poseen paisajes altamente antropizados y solo cuentan con relictos de vegetación autóctona. Atendiendo al contexto climático de mayor impacto potencial, estos relictos evolucionarán con una disminución paulatina en la duración de su crecimiento desde 270 a 210 días al año, al igual que su productividad primaria neta (Rivero-Jaspe y Rivero-Vega, 2011), fenómeno este que deberá ser considerado en los planes de manejo de ambos sistemas hidrológicos para la preservación de la cobertura boscosa remanente y el fomento de la silvicultura en horizontes temporales de más de 30 años.

La elucidación de tendencias mediante metodologías observacionales opera de modo tal que, a medida que el pronóstico se aleja del marco de referencia, la incertidumbre implícita en los juicios suele aumentar, ocasionando una disminución de la concordancia entre los miembros del panel. Este hecho se comprobó en lo que atañe a los contextos climáticos, con independencia de los condicionantes socioeconómicos y gubernamentales que fueron considerados. Así, bajo circunstancias similares a las actuales, la concordancia entre jueces fue mayor en la apreciación de los efectos sobre todas las situaciones ambientales.

La gestión de los problemas e impactos derivados de estas situaciones ambientales deberá partir de algunos principios: 1^{er}, adaptación centrada en el contexto climático reconocido como el más probable, pero con previsión del surgimiento fortuito de eventos meteorológicos severos causantes de lluvias fuertes, deslaves e inundaciones; 2^{do}, un ordenamiento territorial del uso en ambas cuencas que identifique espacios ociosos y aquellos aptos para la silvicultura, y posibilite la creación de franjas hidrorreguladoras y la minimización de procesos erosivos mediante el incremento de la cobertura boscosa; 3^{er}, reglamentar la actividad agropecuaria de modo tal que ésta se adecue a la aptitud del suelo así como al empleo de técnicas sustentables que eludan el uso de plaguicidas o fertilizantes químicos y eviten su compactación, salinización, sodificación o el aumento de la pedregosidad; 4^o, cuidar que la actividad turística no provoque un aumento de la intrusión salina debida a la excesiva extracción de acuíferos locales o que las dunas litorales no sean preservadas, así como se regule y controle con rigor la construcción de infraestructura hotelera o de servicios cercana al borde costero; 5^o, priorizar en primera instancia la colecta y tratamiento de residuales sólidos o líquidos y eliminar los focos puntuales de contaminación ambiental.

5. CONCLUSIONES

1. A pesar del dominio teórico de los jueces que conformaron el grupo de expertos, las reflexiones un tanto especulativas implícitas en la valoración de escenarios hacen conveniente aplicar criterios de exclusión para el tratamiento de percepciones extremas que, de ser consideradas, podrían comprometer los valores de concordancia del panel y por ende la coherencia de la apreciación colectiva.
2. La importancia relativa de las situaciones ambientales contrastadas en las dos cuencas, considerando los efectos que podrían experimentar debido al cambio climático, fue consistente con los principales problemas e impactos ambientales documentados y reconocidos actualmente en el país.
3. Atendiendo a las consecuencias globales que podrían ocasionar sobre las situaciones ambientales evaluadas, no fue posible discernir claramente diferencias entre los dos contextos climáticos que manifiestan aumentos de la temperatura con

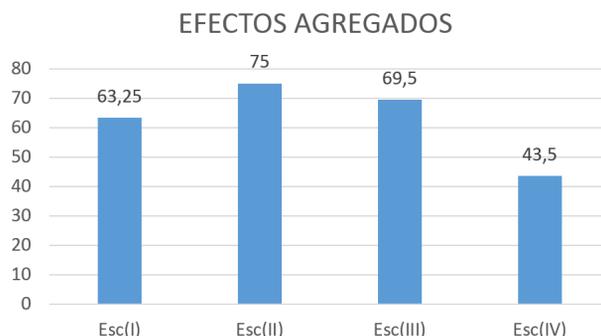


FIG. 6. Media por escenario de la respuesta combinada de 13 situaciones ambientales ante cuatro contextos climáticos diferentes. Datos derivados de la sumatoria de las medianas de los efectos respectivos.

FIG. 6. Arithmetic mean of the combined effects of thirteen environmental situations under four different climatic contexts. Data derived from the summatory of the median of each effect.

variaciones en su régimen de lluvias. No obstante, de acuerdo a la percepción del panel, las situaciones ambientales *Contaminación de ríos y cuerpos de agua, Cobertura boscosa autóctona y Agroproductividad del suelo*, responden de manera distinta ante ambos contextos, hecho que reviste importancia para las acciones de adaptación requeridas por el cambio climático.

4. La gestión de impactos y problemas derivados de las situaciones ambientales consideradas en el área de trabajo, requiere una priorización en correspondencia con la importancia relativa de aquellas y un proceso de mitigación que tome en cuenta la transversalidad que las mismas poseen entre sí, de modo tal que pueda ser minimizada la inversión en recursos y capacidades institucionales implícita en estas acciones.

6. RECOMENDACIONES

1. Propugnar la formación de bosques cerrados en franjas hidrorreguladoras y terrenos cuyas curvas de nivel así lo ameriten para evitar procesos erosivos y pérdida de suelos.
2. Considerar en el planeamiento espacial de los sistemas agropastoriles no solo el tipo y aptitud de los suelos sino también el uso de cultivos de especies C4 y los cambios esperados en la zonificación de la densidad potencial de biomasa (DPB) y la productividad primaria neta (PPN), de acuerdo a la simulación mediante modelos de los efectos del cambio climático.

REFERENCIAS

- Areces, A. J. y Martínez-Iglesias, J.C. 2008. Gestión Integrada de la Zona Marino Costera (GIZMC) en Cuba. Estudio de caso: el Golfo de Batabanó. *Serie Oceanológica*, 4: 17-55.
- Centella, A., Naranjo, L., Paz, L., Cárdenas, P., Lapinel, B., Ballester, M., Pérez, R., Alfonso, A., González, C., Limia, M. y Sosa, M. 1997. *Variaciones y cambios del clima en Cuba*. Informe Técnico. Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba, 58 pp.
- Centella, A. 2010. *Regional Climate Modeling in the Caribbean*. Economic Commission for Latin America and the Caribbean: Subregional Headquarters for the Caribbean, LC/CAR/L, 265, 28 pp.
- Centella, A., Gutiérrez, T., Limia, M. y Rivero, R. R. 2013. Cap. 2 Escenarios de Cambio Climático para Cuba. En: *Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Agencia de Medio Ambiente, Cuba, págs. 15-29.
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W.-T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C.G., Räisänen, J., Rinke, A., Sarr, A., & Whetton, P. 2007. Regional Climate Projections. En: [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA.
- CITMA. 2016. Estrategia Ambiental Nacional (EAN) 2016-2020, 37 pp.
- Denman, K.L., Brasseur, G., Chidthaisong, A., Ciais, P., Cox, P.M., Dickinson, R.E., Hauglustaine, D., Heinze, C., Holland, E., Jacob, D., Lohmann, U., Ramachandran, S., da Silva Dias, P.L., Wofsy, S.C. & Zhang, X. 2007. Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry. En: [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom y New York, NY, USA.
- Fernández-Márquez, A. y Pérez de los Reyes, R. (Eds.). 2009. *GEO Cuba 2007. Evaluación del medio ambiente cubano*. AMA (Cuba), CITMA (Cuba), PNUD, La Habana, 293 pp.
- Fernández-Richelme, A. y García, J. M. 2012. Cap. 4. Recursos Hídricos. En: Planos-Gutiérrez, E. O., Rivero-Vega, R. y Guevara-Velazco, V. (Eds.). 2012. *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba*. Contribución a la *Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Agencia de Medio Ambiente, Cuba, págs. 143-162.
- Fleiss, J.L. 1981. *Statistical methods for rates and proportions*. Nueva York, John Wiley & Sons.
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F. y Roubelat, F. 2000. *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. Cuadernos de LIPS (Laboratoire d'Investigation Prospective et Stratégique), CNAM - Instituto Europeo de Prospectiva y Estrategia, Paris y Zarautz (Gipuzkoa), 108 pp.

- Godet, M. 2006. *Creating Futures: Scenario Planning as a Strategic Management Tool*. 2da Ed., Editorial Económica, Londres, 280 pp.
- 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., Cobas, E., Pérez, S., Santos, I., Simanca, J., Vega, F., Esquivel, M., Guerra, R. y Sosa, M. 2008. Informe Final de Proyecto del Programa Nacional de Cambios Climáticos, 2007-2008. *Arch. Cient. Inst. Oceanol.*, La Habana, Cuba ISBN: 978-959-298-017-4
- Hernández, M., Martínez, C. A. & Marzo, O. 2014. Consequences of sea level variability and sea level rise for Cuban territory. *Proceedings*, HP2/HP3, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013 (IAHS Publ. 365, doi:10.5194/piahs-365-22-2015)
- Iturralde-Vinent, M. y Serrano-Méndez, H. 2015. Peligros y vulnerabilidades de la zona marino-costera de Cuba: Estado actual y perspectivas ante el cambio climático hasta el 2100. Editorial Academia, La Habana, 72 pp.
- Kahneman, D. & Tversky, A. 1979. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica*, 47(2): 263-291.
- Landeta, J. 1999. *El método Delphi*. Barcelona. Ariel, 60 pp.-Wesley. Massachusetts, 618 pp.
- Landis, J. & Koch, G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33: 159-74.
- Okoli, C. y Pawlowski, S. 2004. The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications, *Information & Management*, 42:15-29.
- Oviedo, H. C. y Campo-Arias, A. 2005. Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(4): 572-580.
- Pichardo-Moya, L. O. y Marín-Santín, J. 2003. Manejo Costero. Realidad y Perspectiva, *Óptica*, 8(1): 40-43.
- Planos-Gutiérrez, E. O., Rivero-Vega, R. y Guevara-Velazco, V. (Eds). 2012. *Impacto del Cambio Climático y Medidas de Adaptación en Cuba*. Contribución a la *Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Agencia de Medio Ambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, (CIT-MA), Cuba, 520 pp.
- Rivero, R. E., Gómez, G., Álvarez, A., Rivero, R. R., García, D. R., Martínez, I., Sánchez, M., Jiménez, S., Porras, A., Cortinas, J., Llánes, L., Milián, C. y Álvarez, L. 2013. 5. Agricultura y Silvicultura. En: *Segunda Comunicación Nacional de Cuba a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, Agencia de Medio Ambiente, Cuba, págs. 81-131.
- Rivero Jaspe, Z. I. y Rivero Vega, R. E. 2011. Los ecosistemas terrestres en Cuba según diferentes escenarios de cambios climáticos incluyendo el efecto de fertilización por dióxido de carbono. En: *Segunda Comunicación: Evaluación nacional del impacto de los cambios climáticos sobre la agricultura*. Proyecto Territorial, Centro Meteorológico de Camagüey, Cuba, 30 pp.
- Seisdedo-Losa, M. 2016. *Modelo de gestión ambiental de la calidad del agua desde el punto de vista trófico para bahías cubanas semicerradas con características estuarinas*. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Universidad de La Habana, Cuba, 115 pp.
- Siegel, S. 1974. Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta. Editorial Trillas, México, 346 p.
- Schwartz, P. 1996. *The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World*. Currency Doubleday, Nueva York
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden B. & Zhai, P. 2007. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. En: [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Vergara-Schmalbach, J. C., Fontalvo-Herrera, T. J. y Maza-Ávila, F. 2010. La planeación por escenarios: Revisión de conceptos y propuestas metodológicas. *Prospect.*, 8 (2): 21-29.
- Wollenberg, E., Edmunds, E. & Buck, L. 2000. *Anticipating Change: Scenarios as a Tool for Adaptive Forest Management, A Guide*. Center for International Forestry Research. Bogor.
- Yañez, R. y O. Cuadra. 2008. La técnica Delphi y la investigación en los servicios de salud” *Ciencia y Enfermería*, XIV(1): 9-15, 2008.

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declararan no presentar conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Los autores del presente trabajo participaron de forma igualitaria en el desarrollo de esta investigación.