

Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe

Evaluación de los sistemas de protección
de los corales y manglares de Cuba



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA



IHcantabria
INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

Gracias por su interés en esta publicación de la CEPAL



Si desea recibir información oportuna sobre nuestros productos editoriales y actividades, le invitamos a registrarse. Podrá definir sus áreas de interés y acceder a nuestros productos en otros formatos.



NACIONES UNIDAS



www.cepal.org/es/suscripciones

Este documento fue preparado por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria (IHCantabria), bajo la dirección de Íñigo J. Losada Rodríguez. Los trabajos del proyecto fueron realizados por los investigadores Adrián Acevedo, Paula Camus, Pedro Díaz-Simal, Antonio Espejo, Melisa Menéndez, Pelayo Menéndez, Marta Ramírez, Alexandra Toimil, Saúl Torres, María Emilia Maza y María Fuentes, todos ellos del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

El estudio se llevó a cabo dentro de las actividades de colaboración entre la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Gobierno de Cuba “Evaluación de impactos y vulnerabilidad en la zona costera norte occidental de Cuba ante huracanes y el cambio climático”, en el marco del proyecto de la CEPAL y el Gobierno de España “Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe”. Por parte de la CEPAL, el equipo que coordinó y supervisó el estudio estuvo integrado por Carlos de Miguel, Jefe de la Unidad de Políticas Públicas para el Desarrollo Sostenible; José Javier Gómez, Oficial de Asuntos Ambientales, y Karina Martínez y Mauricio Pereira, Investigadores, todos ellos de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos.

Se agradece especialmente el apoyo del personal de la Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio para la Transición Ecológica de España, en particular de Ana Pintó y Eduardo González, así como el de Victoria Osuna Recio, Responsable de Proyectos de Desarrollo Rural de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) en Cuba.

Además, para la ejecución de este proyecto se contó con la colaboración de un equipo de funcionarios de la Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba, integrado por Maritza García, Presidenta; Jesús Guerra Bell, Especialista Principal de la Dirección de Relaciones Internacionales; Rudy Montero Mata, Jefe del Grupo de Evaluación de Riesgos; Sergio Lorenzo Sánchez, Coordinador Científico del Macroproyecto; Isabel Torna Falco, Especialista del Grupo de Evaluación de Riesgos, y Jorge Olivera Acosta y Ramón Pérez Díaz, Especialistas del Macroproyecto.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.

Los límites y los nombres que figuran en los mapas de esta publicación no implican su apoyo o aceptación oficial por las Naciones Unidas.

Publicación de las Naciones Unidas
LC/TS.2018/71
Distribución: L
Copyright © Naciones Unidas, 2018
Todos los derechos reservados
Impreso en Naciones Unidas, Santiago
S.18-00621

La autorización para reproducir total o parcialmente esta obra debe solicitarse a la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), División de Publicaciones y Servicios Web, publicaciones.cepal@un.org. Los Estados Miembros de las Naciones Unidas y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a la CEPAL de tal reproducción.

Índice

Prefacio	5
Introducción	7
A. Contexto	7
B. Servicios ecosistémicos	9
C. El papel de los ecosistemas para reducir el riesgo	10
D. Contextualización de los ecosistemas costeros de Cuba en el mundo	11
E. Estudios de valoración previos	12
I. Metodología de valoración del servicio de protección de ecosistemas	13
II. Resultados	15
A. Valoración de los arrecifes de coral de Cuba	15
1. Beneficios de protección frente a la inundación a escala nacional	15
2. Beneficios de protección frente a la inundación a escala local	16
B. Valoración de los manglares de Cuba	17
1. Beneficios de protección frente a la inundación nacional	17
2. Beneficios de protección frente a la inundación a escala local	18
C. Comparación de la valoración de corales y manglares de Cuba	20
1. Beneficios de protección frente a la inundación nacional	20
2. Beneficios de protección frente a la inundación a escala local	23
III. Conclusiones	25
A. Conclusiones derivadas de los resultados	25
B. Dónde se sitúa Cuba en relación con el resto de los países	25
C. Implicaciones y recomendaciones	26
Bibliografía	29
Cuadros	
Cuadro 1	Cuba: daños producidos en zonas de coral en los escenarios con y sin coral y beneficios del ecosistema ante distintos eventos de inundación costera
	15
Cuadro 2	Cuba: daños producidos en zonas de manglar en los escenarios con y sin manglar y beneficios del ecosistema ante distintos eventos de inundación costera
	18

Cuadro 3	Cuba: daños relativos a la superficie de ecosistema producidos en zonas de coral y manglar en los escenarios con y sin presencia del ecosistema y beneficios relativos ante distintos eventos de inundación costera.....	21
Cuadro 4	Clasificación de países con mayor beneficio económico recibido por los arrecifes de coral.....	26
Gráficos		
Gráfico 1	Cuba: beneficios anuales relativos ofrecidos por los arrecifes de coral y los manglares frente a la inundación costera.....	22
Diagramas		
Diagrama 1	Esquema de las aproximaciones posibles para modelar la fricción entre el flujo y el ecosistema marino.....	11
Mapas		
Mapa 1	Cuba: distribución de los arrecifes de coral y de los manglares.....	12
Mapa 2	Comparación de la inundación de 10 años de período de retorno con y sin arrecifes de coral.....	16
Mapa 3	Cuba: beneficios anuales esperados por la presencia de arrecifes de coral.....	17
Mapa 4	Cuba: beneficios anuales esperados por la presencia de arrecifes de coral.....	17
Mapa 5	Cuba: comparación de la inundación de 10 años de período de retorno con y sin manglares.....	19
Mapa 6	Cuba: beneficios anuales esperados por la presencia de manglares.....	19
Mapa 7	Cuba: beneficios anuales esperados por la presencia de manglares.....	20
Imágenes		
Imagen 1	Ejemplo de zona baja con asentamiento urbano (Miami) que recibe beneficio directo de los arrecifes de coral como disipadores de la energía del oleaje.....	8
Imagen 2	Ejemplo de replantación de manglares.....	8
Imagen 3	Granada: construcción de arrecife de coral artificial.....	9
Imagen 4	Pasos clave para estimar la protección que ofrecen los ecosistemas marinos frente a una inundación.....	14

Prefacio

Desde 2008 la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Gobierno de España y la Universidad de Cantabria han venido colaborando en una línea de investigación denominada “Estudio regional de los efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe”, cuyo objetivo fundamental ha sido el establecimiento de un marco de cooperación, para proporcionar la mejor información científico-técnica disponible en la región que permita afrontar la lucha contra el cambio climático en las zonas costeras de América Latina y el Caribe y para apoyar a la Red Iberoamericana de Oficinas de Cambio Climático (RIOCC).

Durante la primera fase de esta colaboración se desarrolló una metodología específica para la evaluación de impactos del cambio climático en las áreas costeras. Los resultados de esta fase se publicaron en seis documentos sobre el análisis de las dinámicas y las tendencias, la vulnerabilidad de las costas, los impactos derivados, los riesgos asociados, así como los efectos teóricos del cambio climático y la descripción metodológica. Además, se elaboró un visor web que permite georreferenciar las dinámicas y los impactos con una resolución espacial de cinco kilómetros en toda la franja costera de la región. Las metodologías y resultados obtenidos de esta línea de investigación sirven de base para la realización de nuevos estudios sectoriales y subnacionales que permiten hacer análisis de alta resolución sobre impactos y adaptación en las zonas costeras de América Latina y el Caribe.

El Caribe es una zona de gran vulnerabilidad ante los efectos derivados del cambio climático, por lo que esta realidad llevó a los Gobiernos de Cuba y España, la CEPAL y la Universidad de Cantabria a emprender un trabajo de colaboración para profundizar los resultados obtenidos en la primera etapa, en esta oportunidad en el marco del proyecto “Evaluación de impactos y vulnerabilidad en la zona costera norte occidental de Cuba ante huracanes y el cambio climático”.

La costa de Cuba es de extraordinaria importancia para el país, ya que, como se indica en su Segunda Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, debido a la presencia de núcleos poblacionales de gran densidad y con tasas de crecimiento muy altas, y la intensa actividad turística, industrial y marítimo-portuaria, se registra gran competencia entre la gestión económica y el funcionamiento de los ecosistemas. Por lo tanto, existe un inminente riesgo ante cualquier afectación a la costa del archipiélago cubano como consecuencia del ascenso del nivel medio del mar y de las inundaciones provocadas por eventos hidrometeorológicos extremos.

El proyecto de evaluación de impactos permitió la realización de un programa de transferencia tecnológica y de capacitación al personal técnico de la Agencia de Medio Ambiente de Cuba en los campos de la evaluación económica de proyectos ambientales y en el análisis económico aplicado al medio ambiente, así como la generación de datos para la caracterización del oleaje de la costa de Cuba. La capacitación se implementó mediante un conjunto de cursos impartidos por el personal del Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria (IHC) y la CEPAL en La Habana y en Cantabria. Estas actividades se desarrollaron durante 2017 y el primer semestre de 2018. Los principales resultados de este proyecto comprenden los documentos: “Reconstrucción histórica y proyecciones del efecto del cambio climático sobre el oleaje en la costa de Cuba”, “Evaluación de los sistemas de protección de los corales y manglares de Cuba” y “Metodologías y herramientas para la evaluación de impactos de la inundación y la erosión por efecto del cambio climático”.

Introducción

A. Contexto

Los riesgos de inundación en zonas costeras han aumentado un 23% en los últimos años (Small y Nicholls, 2003), debido al asentamiento de la población en estas zonas, al incremento de las actividades económicas y al recrudecimiento de las amenazas climáticas. Ejemplo de ello son los recientes ciclones tropicales Franklin, Harvey, Irma, Katia, José y María que, entre agosto y septiembre de 2017, devastaron gran parte de las islas del Caribe, la costa de México y Florida, poniendo en jaque la vulnerabilidad de la costa. Este hecho, unido al aumento del nivel medio del mar, previsto por las proyecciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), contribuirá a que en el futuro el riesgo por inundación sea cada vez mayor (véase la imagen 1). Históricamente el riesgo de inundación se ha afrontado con soluciones convencionales como la construcción de diques artificiales, el aumento de las dimensiones de las infraestructuras o el recrecimiento de las cotas de coronación de estas (Morris y otros, 2018), todas soluciones rígidas, poco adaptables a condiciones climáticas cambiantes y medioambientalmente poco sostenibles.

Sin embargo, debido a la creciente sensibilidad del ser humano por un desarrollo sostenible, sumada a la evidencia de los múltiples servicios que pueden aportar los ecosistemas, se están planteando medidas alternativas para la defensa de la costa basadas en soluciones naturales, como por ejemplo la conservación de los ecosistemas existentes o la plantación de bosques de manglar (véase la imagen 2), la construcción de arrecifes de coral artificiales (Clark y Edwards, 1999 y 1995) (véanse las imágenes 2 y 3) o la restauración de arrecifes ya perdidos. El papel de estos ecosistemas para defender la costa de la inundación y la erosión ha sido altamente demostrado (Ferrario y otros, 2014), además de presentar la ventaja de ser soluciones flexibles, fácilmente adaptables a cambios de largo plazo como el aumento del nivel del mar, con unos costes de conservación mucho menores de lo que supondría construir estructuras de defensa artificiales.

Imagen 1

Ejemplo de zona baja con asentamiento urbano (Miami) que recibe beneficio directo de los arrecifes de coral como disipadores de la energía del oleaje



Fuente: *Nature Conservancy Magazine*, The Nature Conservancy (TNC), Arlington, mayo-junio de 2013.

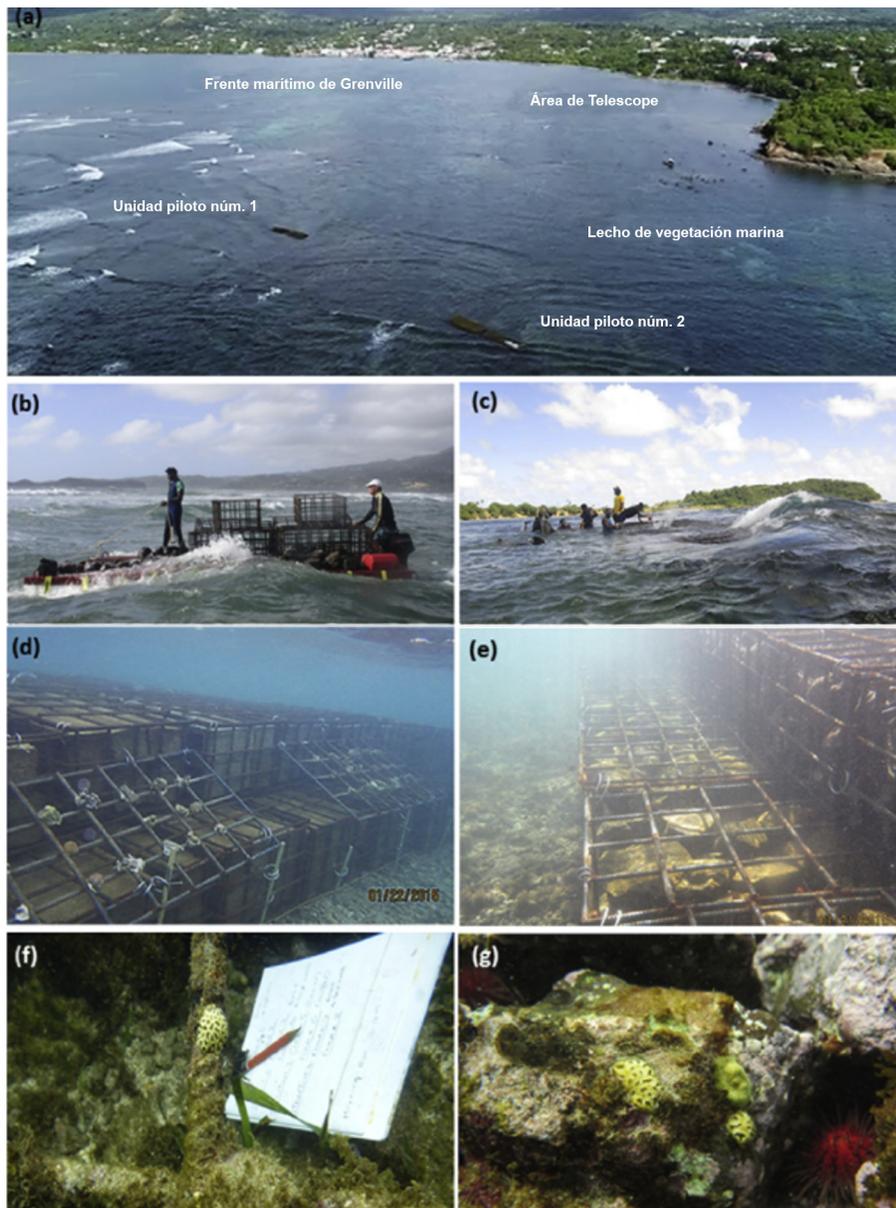
Imagen 2

Ejemplo de replantación de manglares



Fuente: The Nature Conservancy (TNC).

Imagen 3
Granada: construcción de arrecife de coral artificial



Fuente: Reguero y otros, "Coral reefs for coastal protection: a new methodological approach and engineering case study in Grenada", *Journal of Environmental Management*, vol. 210, Elsevier, 2018.

B. Servicios ecosistémicos

Los ecosistemas marinos no solo aportan protección a la costa. Su valor total es la suma de este y otros servicios, como el de pesca, acuicultura, hábitat de especies marinas o turismo, entre otros. Estos servicios, desde la fundación de los dos proyectos de referencia en este ámbito, Evaluación de los Ecosistemas del Milenio¹ en 2005 y La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad (TEEB)² en 2010, han sido

¹ Véase [en línea] www.millenniumassessment.org.

² Véase [en línea] <http://www.teebweb.org>.

clasificados en cuatro grandes grupos: servicios de aprovisionamiento, servicios de regulación, servicios culturales y servicios de hábitat. Entre los servicios de aprovisionamiento se encuentran el aporte de madera para combustible o construcción, alimento directo para el ser humano, producción de medicamentos, pesquería, materia prima para diferentes ámbitos, aporte de agua y cosechas. Por parte de los servicios de regulación destacan la protección frente a la inundación y erosión, la estabilización del suelo, la captación de carbono, la producción de oxígeno, la infiltración de agua y alimento para otras especies. Los principales servicios de hábitat son el suministro de un medio físico para el desarrollo de la vida de especies animales y la alta biodiversidad. Por último, los servicios culturales están constituidos por el turismo, la recreación (por ejemplo, actividades acuáticas, pesca recreativa y otras), estética y paisajística, educación, arte y también el componente espiritual.

Particularizando en algunos de estos servicios, por ejemplo, el 30% de los arrecifes de coral que hay en el mundo tienen una valoración turística de 36 billones de dólares y un 9% del valor total de este sector está en los países que tienen barreras coralinas (Spalding y otros, 2017). Desde el punto de vista del recurso de pesca, los beneficios anuales estimados en todo el mundo ascienden a 5,7 billones de dólares (Cesar, Burke y Pet-Soede, 2003). En cuanto al servicio de protección costera, recientemente el Banco Mundial publicó un estudio que demuestra que los manglares de Filipinas ofrecen una protección al país valorada en más de 1 billón de dólares anuales (Losada Rodríguez y otros, 2017). Dicho análisis se ha extendido también a escala global, otorgando a este ecosistema un valor anual de más de 71 billones de dólares (Beck y otros, 2018a; Losada Rodríguez y otros, 2018) en protección. En paralelo, otros estudios han valorado la aportación anual global de los arrecifes de coral en 4 billones de dólares (Beck y otros, 2018b). Aun así, son todavía pocas las aportaciones que se han hecho al respecto hasta la fecha.

C. El papel de los ecosistemas para reducir el riesgo

Los ecosistemas costeros como los arrecifes de coral, los manglares, los pastos marinos, la vegetación de marisma o las dunas son obstáculos adicionales para las olas que tratan de alcanzar la costa. Como se ha señalado, el servicio de protección es uno de los principales beneficios que estos sistemas naturales aportan directamente al ser humano. La disipación del oleaje depende de las características físicas de estas barreras, como su forma, densidad, rigidez, flotabilidad, así como de las propiedades del clima marítimo, como la altura de ola, el período, la dirección del oleaje, la marea astronómica y meteorológica y el viento. Tras años de estudios estas son las conclusiones principales a las que se ha llegado en lo relativo al papel de los ecosistemas para proteger la costa de la inundación (Tschirky, Hall y Turcke, 2001):

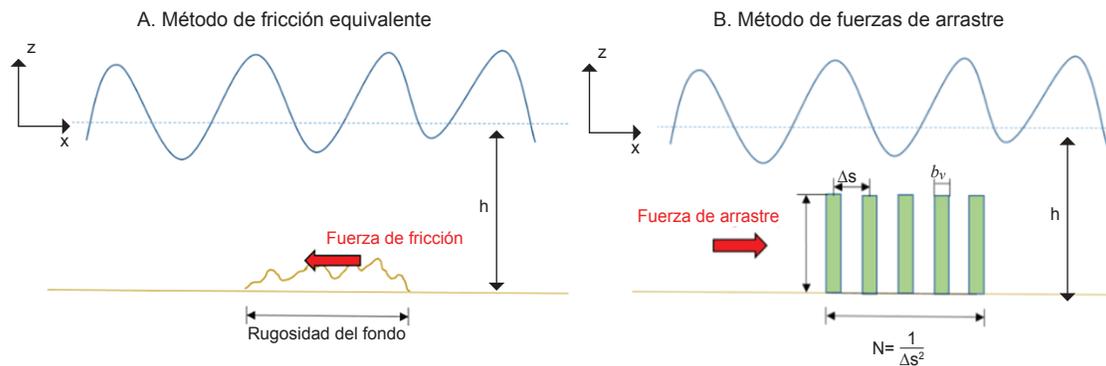
- Las estructuras de mayor dimensión disipan más energía;
- Cuanto más denso sea el campo de vegetación, mayor protección ofrece;
- Las mayores olas son las que notan más la presencia de barreras naturales;
- Cuanto menor sea el nivel de agua (profundidad), mayor será el poder de disipación.

Los principales mecanismos de disipación producidos por ecosistemas como los corales o manglares son el de rotura del oleaje y el de fricción de fondo. La disipación por rotura se ve incrementada, por ejemplo, ante la presencia de un arrecife de coral, que no solo reduce la profundidad relativa induciendo el peralte de la ola, sino que modifica también el parámetro de rotura, anticipando dicho proceso en relación con un suelo arenoso. La disipación por fricción también aumenta, debido a la rugosidad adicional que aportan los ecosistemas, produciendo una pérdida de energía cuando el agua roza contra el fondo o contra los troncos de la planta. Este segundo proceso es complicado de modelar numéricamente y se debe recurrir a parametrizaciones que simplifiquen y representen ese aumento de fricción. Hay dos aproximaciones para resolver o modelar la fricción: 1) considerando una rugosidad de fondo equivalente aumentada por la presencia de la vegetación y 2) resolviendo la interacción flujo-planta de manera individual. La primera aproximación es menos rigurosa y se aplica cuando se desconoce la geometría exacta de la planta o

cuando esta geometría es tan compleja que no se puede representar (por ejemplo, los arrecifes de coral). La segunda aproximación se aplica cuando sí se conoce la geometría y el flujo, permitiendo calcular las fuerzas de arrastre por interacción de ambos y obteniendo de forma más precisa la pérdida de energía por fricción (por ejemplo, en el caso de los manglares, con troncos bien definidos geoméricamente, se puede aplicar esta aproximación). En el diagrama 1 se muestra un esquema de ambos métodos.

Diagrama 1 Esquema de las aproximaciones posibles para modelar la fricción entre el flujo y el ecosistema marino

Caso real (mangles negros con raíces sumergidas)



Fuente: Elaboración propia; fotografía: World Wildlife Fund (WWF).

D. Contextualización de los ecosistemas costeros de Cuba en el mundo

Cuba es uno de los países que cuenta con mayor presencia de ecosistemas marinos (véase el mapa 1). Particularmente, los arrecifes de coral y los manglares constituyen dos importantes recursos naturales para el país. A partir de los datos obtenidos por Spalding, Kainuma y Collins (2010), del total de los más de 150.000 km² de manglar que hay actualmente en el mundo, un 3%, es decir casi 5.000 km², están en Cuba y cubren 4.450 km de costa (un 75% de los 5.800 km totales de costa que hay en Cuba). En cuanto a los arrecifes de coral, según el *World Atlas of Coral Reefs* (Spalding, Ravilious y Green, 2001), en el mundo hay más de 150.000 km², de los cuales casi 3.000 km² están en Cuba, lo que supone un 2% de la cobertura total, extendidos a lo largo de 3.960 km de costa (un 68% de los 5.800 km totales de costa que hay en Cuba). Estos valores ponen de manifiesto la importancia relativa que tienen los ecosistemas costeros en el país y el papel que pueden cumplir en términos de servicios aportados a la sociedad cubana.

I. Metodología de valoración del servicio de protección de ecosistemas

El estudio del servicio de protección frente a la inundación de los arrecifes de coral y manglares se obtiene mediante la aplicación de una metodología de múltiples pasos recomendada en las guías del Banco Mundial para la “Valoración de la Protección Natural Costera” (Losada Rodríguez y otros, 2017). Esta metodología se articula en cinco pasos (véase la imagen 4):

Paso 1: Caracterización del clima marítimo en mar abierto frente a condiciones regulares diarias y frente a condiciones extremas puntuales (ciclones tropicales);

Paso 2: Regionalización (*downscaling*) de las dinámicas en mar abierto hasta antes del ecosistema, sin llegar a pasar por él. En este paso se tienen en cuenta los procesos de transformación del oleaje más relevantes al aproximarse a la costa.

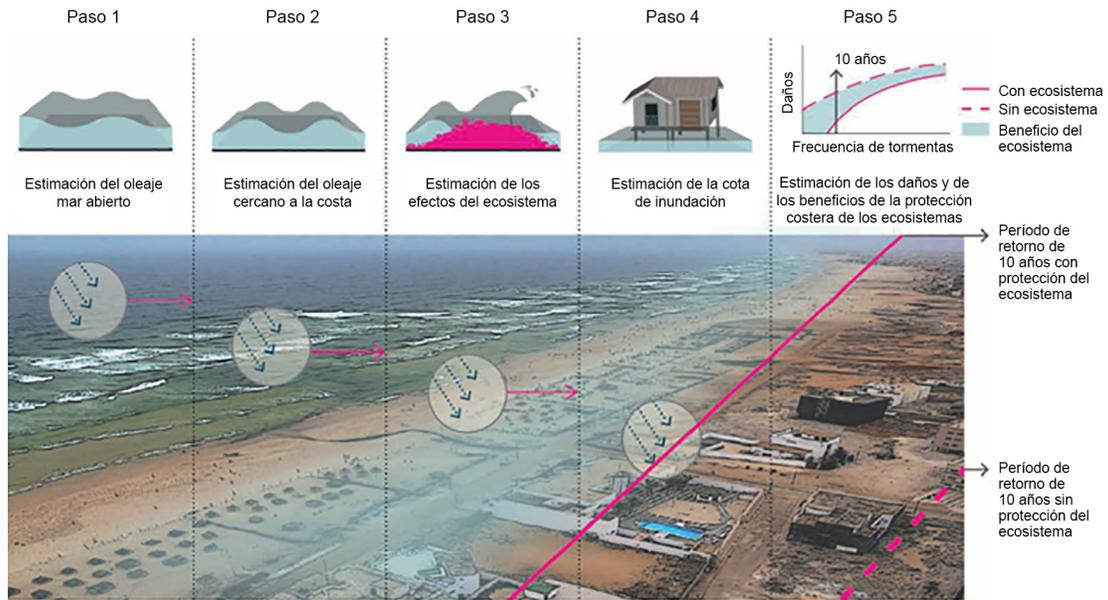
Paso 3: Modelado del efecto de los ecosistemas sobre las dinámicas marinas.

Paso 4: Cálculo de la cota de inundación y el consecuente impacto en la costa, es decir, la extensión sobre la superficie del terreno de ese nivel de agua. Esto se realiza para diferentes escenarios de cobertura y estado de cada ecosistema, según la respuesta que se pretenda dar. Por ejemplo, para obtener el valor actual de un arrecife, deben ensayarse dos escenarios, el que representa la situación presente y un segundo escenario hipotético de pérdida del arrecife. La diferencia entre ambos nos dará el beneficio o valor de dicho ecosistema.

Paso 5: Aplicando funciones de daño se calculan las consecuencias de la inundación en términos socioeconómicos para eventos de distintos períodos de retorno y anualización de dichas consecuencias.

Imagen 4

Pasos clave para estimar la protección que ofrecen los ecosistemas marinos frente a una inundación



Fuente: M. W. Beck y G. M. Lange (eds.), “Managing coasts with natural solutions: guidelines for measuring and valuing the coastal protection services of mangroves and coral reefs”, *Waves Technical Report*, N° 103340, Washington, D.C., Wealth Accounting and the Valuation of Ecosystem Services (WAVES)/Banco Mundial/, 2016.

II. Resultados

A. Valoración de los arrecifes de coral de Cuba

1. Beneficios de protección frente a la inundación a escala nacional

Los arrecifes de coral en Cuba protegen anualmente en promedio a unas 8.042 personas, evitando más de 401 millones de dólares de pérdidas económicas y reduciendo 76 km² la superficie inundada, el equivalente, aproximadamente, a 15.000 campos de fútbol (véase el cuadro 1).

Si observamos la respuesta de los arrecifes de coral frente a eventos meteorológicos extremos puntuales, como puede ser un ciclón tropical de diez años de período de retorno, los beneficios de disponer de arrecifes coralinos en Cuba ascienden considerablemente, hasta 1.398 km², 121.893 personas y 5.031 millones de dólares (véase el cuadro 1).

Estos valores se incrementan significativamente para eventos menos frecuentes, pero más intensos, de 100 años de período de retorno, llegando a una protección esperada de 2.849 km², 302.660 personas y 14.155 millones de dólares (véase el cuadro 1).

Cuadro 1

Cuba: daños producidos en zonas de coral en los escenarios con y sin coral y beneficios del ecosistema ante distintos eventos de inundación costera

		Arrecifes de coral (valor absoluto)				
		Daños y beneficios anuales esperados	Período de retorno 10 años	Período de retorno 25 años	Período de retorno 50 años	Período de retorno 100 años
Superficie inundada (en kilómetros cuadrados)	Con coral	40	1 579	1 842	2 110	2 536
	Sin coral	117	2 977	4 161	4 801	5 385
	Beneficio	76	1 398	2 320	2 691	2 849
Personas afectadas por la inundación (en número de personas)	Con coral	1 128	3 011	9 079	20 718	30 467
	Sin coral	9 170	124 904	209 571	282 089	333 127
	Beneficio	8 042	121 893	200 492	261 371	302 660

Cuadro 1 (conclusión)

		Arrecifes de coral (valor absoluto)				
		Daños y beneficios anuales esperados	Período de retorno 10 años	Período de retorno 25 años	Período de retorno 50 años	Período de retorno 100 años
Capital construido que se perdió por la inundación (en millones de dólares)	Con coral	41	69	287	675	1 301
	Sin coral	442	5 101	9 050	12 586	15 457
	Beneficio	401	5 031	8 762	11 911	14 155

Fuente: Elaboración propia.

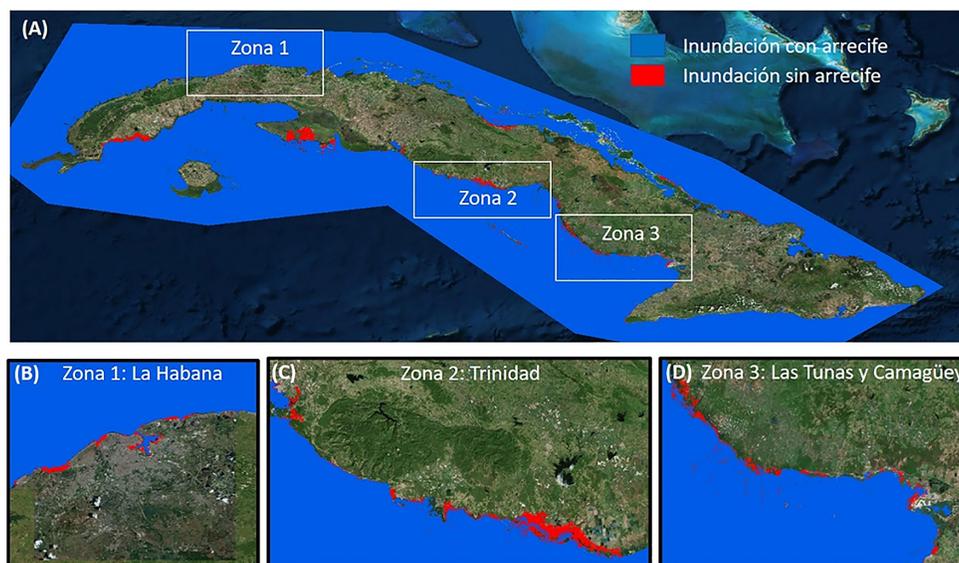
Nota: Términos agregados a escala nacional

2. Beneficios de protección frente a la inundación a escala local

Aunque conocer los valores del beneficio de los ecosistemas agregados a escala nacional nos aporta un primer orden de magnitud del nivel de protección que ofrecen, es necesario conocer la distribución espacial de dichos beneficios con el fin de poder discernir y aplicar políticas de conservación o restauración concretas e identificar las zonas donde el papel de los ecosistemas es más relevante. Para ello se muestra en una primera figura (véase el mapa 2) el mapa de inundación de todo Cuba ante dos escenarios: con y sin arrecife, para un evento de inundación de diez años de período de retorno. Se puede ver, en rojo, la inundación adicional que se produciría en caso de perder por completo el ecosistema coralino. Entre las zonas afectadas destaca la ciudad de La Habana (zona 1) donde, aunque no sea mucha la superficie inundada, se ubica un alto porcentaje del capital del país y, por tanto, el impacto es mucho mayor que en zonas donde la inundación se extiende tierra adentro mucho más significativamente (zonas 2 y 3).

Mapa 2

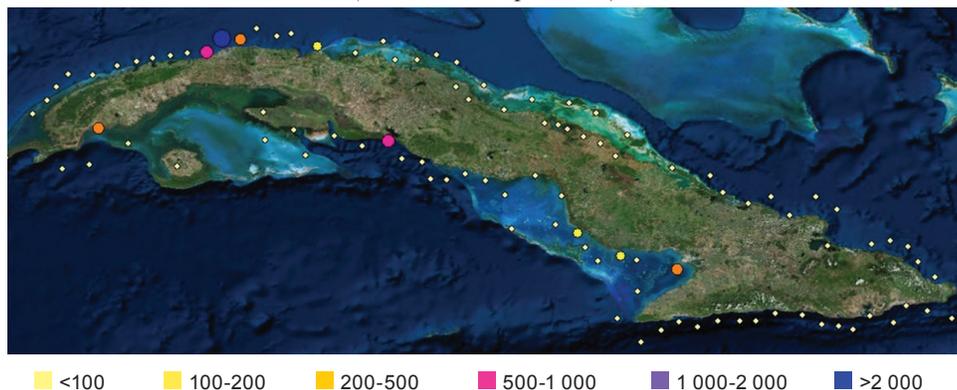
Comparación de la inundación de 10 años de período de retorno con y sin arrecifes de coral



Fuente: Elaboración propia.

El número de personas protegidas anualmente de la inundación costera por los arrecifes de coral está asociado a las áreas costeras más pobladas. La Habana concentra la mayor parte de la población que recibe beneficio directo de este ecosistema (más de 3.000 personas anualmente). Los demás puntos que destacan en el mapa 3 corresponden a Varadero (entre 100 y 200 personas anualmente protegidas), a la zona de la Bahía de Cortés y Manzanillo (entre 200 y 500 personas anualmente protegidas) y a Cienfuegos (entre 500 y 1.000 personas anualmente protegidas).

Mapa 3
Cuba: beneficios anuales esperados por la presencia de arrecifes de coral
(En número de personas)

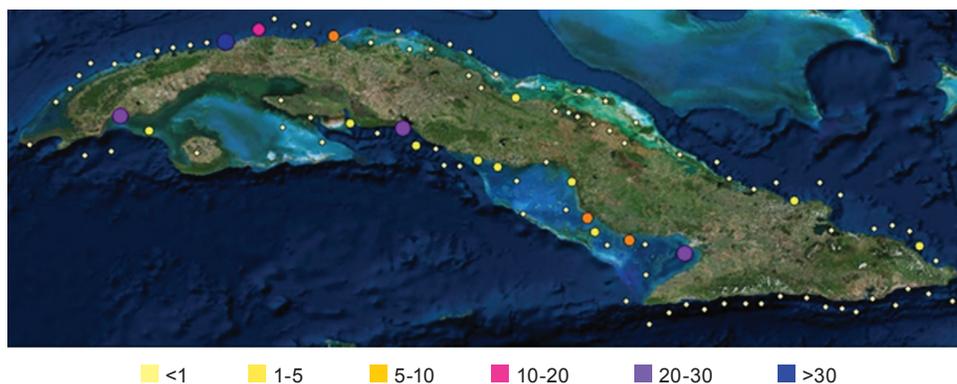


Fuente: Elaboración propia.

Nota: Agregación a escala de 20 kilómetros de costa.

Si ahora analizamos la distribución de los beneficios económicos anuales agregados en tramos de costa de 20 kilómetros (escala local), vemos que se confirma la tendencia mostrada en el mapa 2. La zona de La Habana concentra la mayor parte del beneficio económico de los corales cubanos (más de 30 millones de dólares anuales). Otras zonas sensibles a la pérdida de este ecosistema se localizan en Varadero (entre 5 y 10 millones de dólares anuales) o frente a Cayos de San Felipe, en Cienfuegos y Manzanillo (entre 20 y 30 millones de dólares).

Mapa 4
Cuba: beneficios anuales esperados por la presencia de arrecifes de coral
(En millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Agregación a escala de 20 kilómetros de costa.

B. Valoración de los manglares de Cuba

1. Beneficios de protección frente a la inundación nacional

Los manglares en Cuba protegen anualmente en promedio a 22.476 personas, evitando más de 150 millones de dólares de pérdidas económicas y reduciendo 222 km² de superficie inundada, el equivalente, aproximadamente, a 40.000 campos de fútbol (véase el cuadro 2).

En respuesta a eventos meteorológicos extremos puntuales, como puede ser un ciclón tropical de 10 años de período de retorno, los beneficios de disponer de manglares en Cuba ascienden considerablemente, hasta 324 km², 29.982 personas y 226 millones de dólares (véase el cuadro 2).

Estos valores aumentan mucho más para eventos menos frecuentes, pero más intensos, de 100 años de período de retorno, llegando a una protección esperada de 4.551 km², 322.006 personas y 2.559 millones de dólares (véase el cuadro 2).

Cuadro 2
Cuba: daños producidos en zonas de manglar en los escenarios con y sin manglar y beneficios del ecosistema ante distintos eventos de inundación costera

		Manglares (valor absoluto)				
		Daños y beneficios anuales esperados	Período de retorno 10 años	Período de retorno 25 años	Período de retorno 50 años	Período de retorno 100 años
Superficie inundada (en kilómetros cuadrados)	Con manglar	523	796	1 173	1 898	3 313
	Sin manglar	745	1 121	2 120	3 878	7 865
	Beneficio	222	324	946	1 980	4 551
Personas afectadas por la inundación (en número de personas)	Con manglar	41 270	63 021	88 468	139 212	247 443
	Sin manglar	63 745	93 003	169 950	294 685	569 449
	Beneficio	22 476	29 982	81 481	155 473	322 006
Capital construido que se perdió por la inundación (en millones de dólares)	Con manglar	301	453	639	1 019	1 890
	Sin manglar	455	679	1 222	2 154	4 449
	Beneficio	154	226	583	1 136	2 559

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Términos agregados a escala nacional.

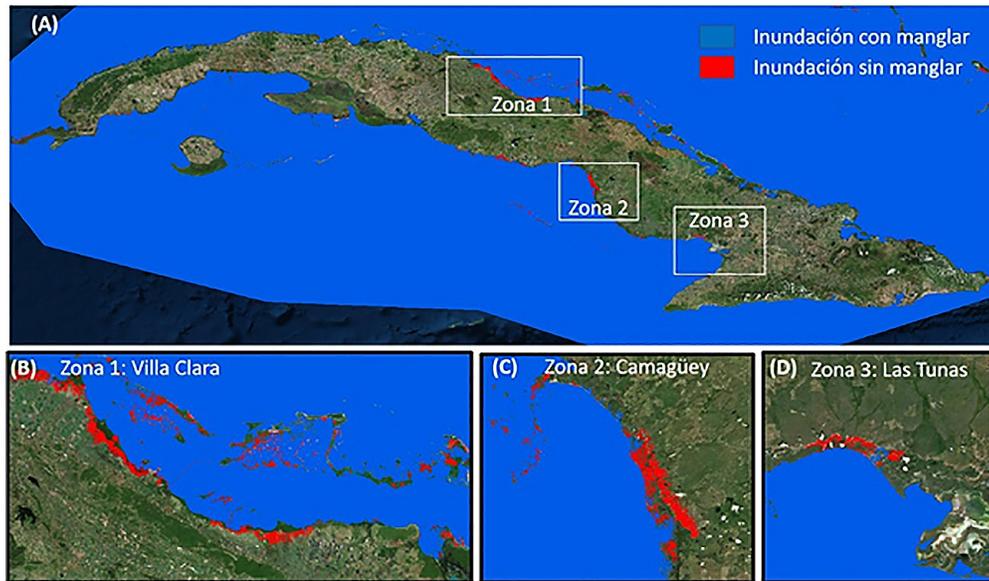
2. Beneficios de protección frente a la inundación a escala local

Paralelamente al análisis realizado con los arrecifes de coral, se ha estudiado la distribución espacial de los beneficios de los manglares en la isla de Cuba. Como se puede observar en el mapa 1, los manglares se reparten más homogéneamente a lo largo del país y, por tanto, los beneficios también están más repartidos a lo largo de la isla. En el mapa 5 se han marcado las zonas más relevantes en términos de superficie inundada adicionalmente ante un evento de diez años de período de retorno si se pierde toda la cobertura de manglar. Estas zonas no tienen por qué corresponder a un mayor beneficio socioeconómico, como sucede por ejemplo en la zona 2 (Camagüey), donde los mapas de beneficio anual sobre personas y capital construido (véanse los mapas 6 y 7, respectivamente) no muestran valores excesivamente altos en relación con otras áreas como la zona 3 (Las Tunas).

En la costa sur de Artemisa y Mayabeque, en concreto en las zonas de Playa Majana, Guanímar y Playa Cajío, se observan unos niveles de protección de 5.000 a 20.000 personas anualmente y de hasta 100 millones de dólares protegidos. También la Bahía de la provincia de Granma ofrece unos niveles de protección elevados (zona 3), con una distribución de beneficio anual agregado del orden de 5.000 personas y 50 millones de dólares por cada 20 kilómetros. Solo en la zona 1, en la provincia de

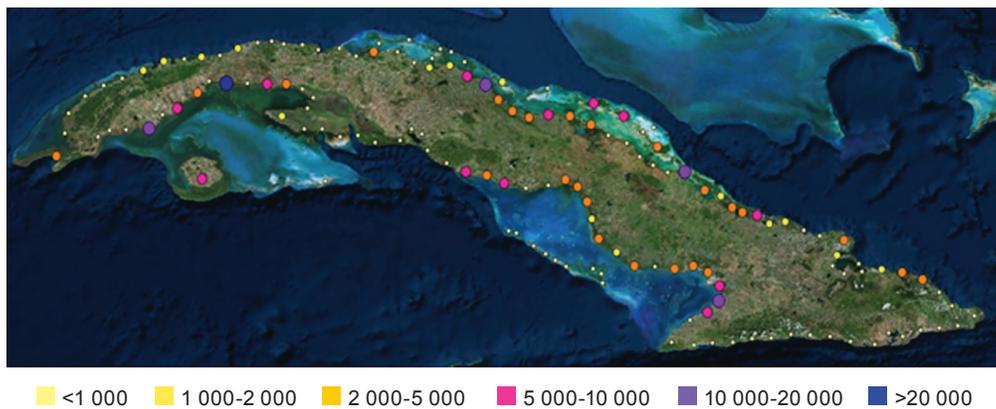
Villa Clara, donde se ve una extensión de inundación destacable en caso de pérdida de la cobertura de manglar, los beneficios del ecosistema ascienden a 10.000 personas y entre 50 y 100 millones de dólares anuales. En la zona 2, en la costa sur de la provincia de Camagüey, donde también se ve una inundación que ocupa gran superficie de costa, los efectos socioeconómicos son menores.

Mapa 5
Cuba: comparación de la inundación de 10 años de período de retorno con y sin manglares



Fuente: Elaboración propia.

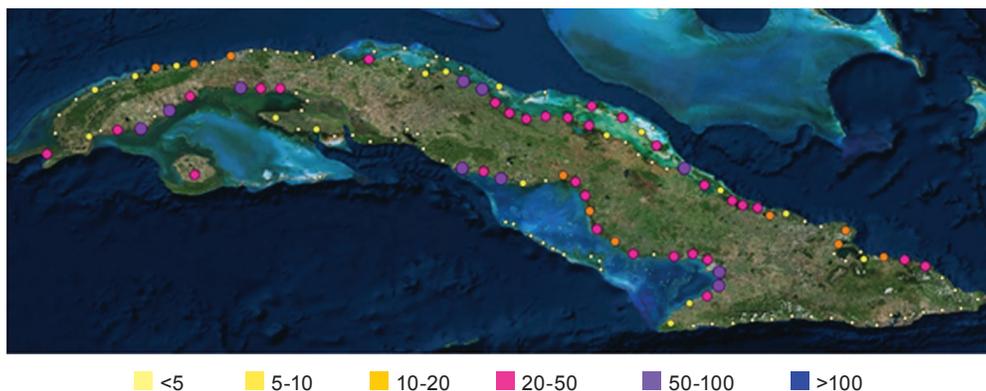
Mapa 6
Cuba: beneficios anuales esperados por la presencia de manglares
(En número de personas)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Agregación a escala de 20 kilómetros de costa.

Mapa 7
Cuba: beneficios anuales esperados por la presencia de manglares
(En millones de dólares)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Agregación a escala de 20 kilómetros de costa.

C. Comparación de la valoración de corales y manglares de Cuba

1. Beneficios de protección frente a la inundación nacional

Al comparar los resultados del beneficio esperado anual obtenido por ambos ecosistemas en términos absolutos, se observa que la superficie protegida de inundación y las personas afectadas son claramente mayores en el caso de los manglares que en el de los corales: 222 km² en comparación con 76 km² y 22.476 personas frente a 8.043 personas, respectivamente. Sin embargo, al traducir estas cifras al ámbito económico por medio de la cuantificación del valor del capital construido protegido (residencial e industrial), la tendencia se invierte, siendo los arrecifes de coral los que aportan un mayor valor económico, de 400 millones de dólares, frente a los 150 millones de dólares de los manglares (véanse los cuadros 1 y 2).

Este cambio de tendencia se observa a escala global, en aquellos países donde el recurso del turismo tiene un peso importante, siendo los arrecifes de coral un atractivo para visitantes y un motivo de construcción y ubicación de activos muy valiosos (hoteles, por ejemplo) en zonas de costa con arrecife. Por el contrario, aquellos países, generalmente con un menor poder adquisitivo, donde la población tiende a asentarse en zonas próximas a los manglares por su potencial aporte de recursos (pesca, acuicultura, protección), estos tienen un valor económico superior a los arrecifes de coral.

También es importante conocer el valor por unidad de superficie para que la comparación entre los beneficios de cada ecosistema sea consistente y para conocer la eficiencia económica o máxima inversión que se puede hacer para conservar los ecosistemas existentes. En el caso de los arrecifes de coral, el valor del beneficio anual esperado es de 0,15 hectáreas, 0,16 personas y 7.739 dólares por hectárea de arrecife. En cuanto a los manglares, su beneficio relativo es de 0,05 hectáreas, 0,05 personas y 377 dólares por hectárea de manglar (véanse el gráfico 1 y el cuadro 3).

En resumen, el análisis a escala nacional del servicio de protección frente a la inundación de los arrecifes de coral y los manglares de Cuba se puede recoger en los siguientes puntos:

- En términos de protección absoluta anual, los manglares protegen más superficie y mayor número de personas que los corales, pero el valor de los activos protegidos es mayor en el caso de los arrecifes.

- En términos de protección absoluta frente a eventos extremos, la respuesta de los arrecifes de coral es significativamente superior a la de los manglares en términos económicos (igual que con valores anuales) pero, en términos de personas protegidas y superficie de tierra no inundada, el análisis difiere ligeramente: frente a los eventos de entre 10 y 50 años de período de retorno, los corales ofrecen mayor protección, mientras que, frente a los eventos de 100 años de período de retorno, los manglares se posicionan al frente.
- En términos anuales relativos, es decir, por hectárea de ecosistema, es mayor siempre la contribución del coral, poniendo en valor la necesidad de invertir en conservar los arrecifes existentes con una inversión máxima anual de hasta 7.739 dólares por hectárea de arrecife para que dicha inversión sea eficiente desde el punto de vista de los costos de la protección frente a la inundación.

Cuadro 3
Cuba: daños relativos a la superficie de ecosistema producidos en zonas de coral y manglar
en los escenarios con y sin presencia del ecosistema y beneficios relativos
ante distintos eventos de inundación costera

A. Zonas de coral
(Superficie total: 51.782 ha)

ARRECIFES DE CORAL (valor relativo por hectárea de arrecife)						
		Daños y beneficios anuales esperados	Período de retorno 10 años	Período de retorno 25 años	Período de retorno 50 años	Período de retorno 100 años
Superficie inundada (en hectáreas)	Con coral	0,08	3,05	3,56	4,08	4,90
	Sin coral	0,23	5,75	8,04	9,27	10,40
	Beneficio	0,15	2,70	4,48	5,20	5,50
Personas afectadas por la inundación (en número de personas)	Con coral	0,02	0,06	0,18	0,40	0,59
	Sin coral	0,18	2,41	4,05	5,45	6,43
	Beneficio	0,16	2,35	3,87	5,05	5,84
Capital construido que se perdió por la inundación (en dólares)	Con coral	798	1 340	5 552	13 028	25 133
	Sin coral	8 537	98 500	174 760	243 055	298 495
	Beneficio	7 739	97 160	169 208	230 027	273 362

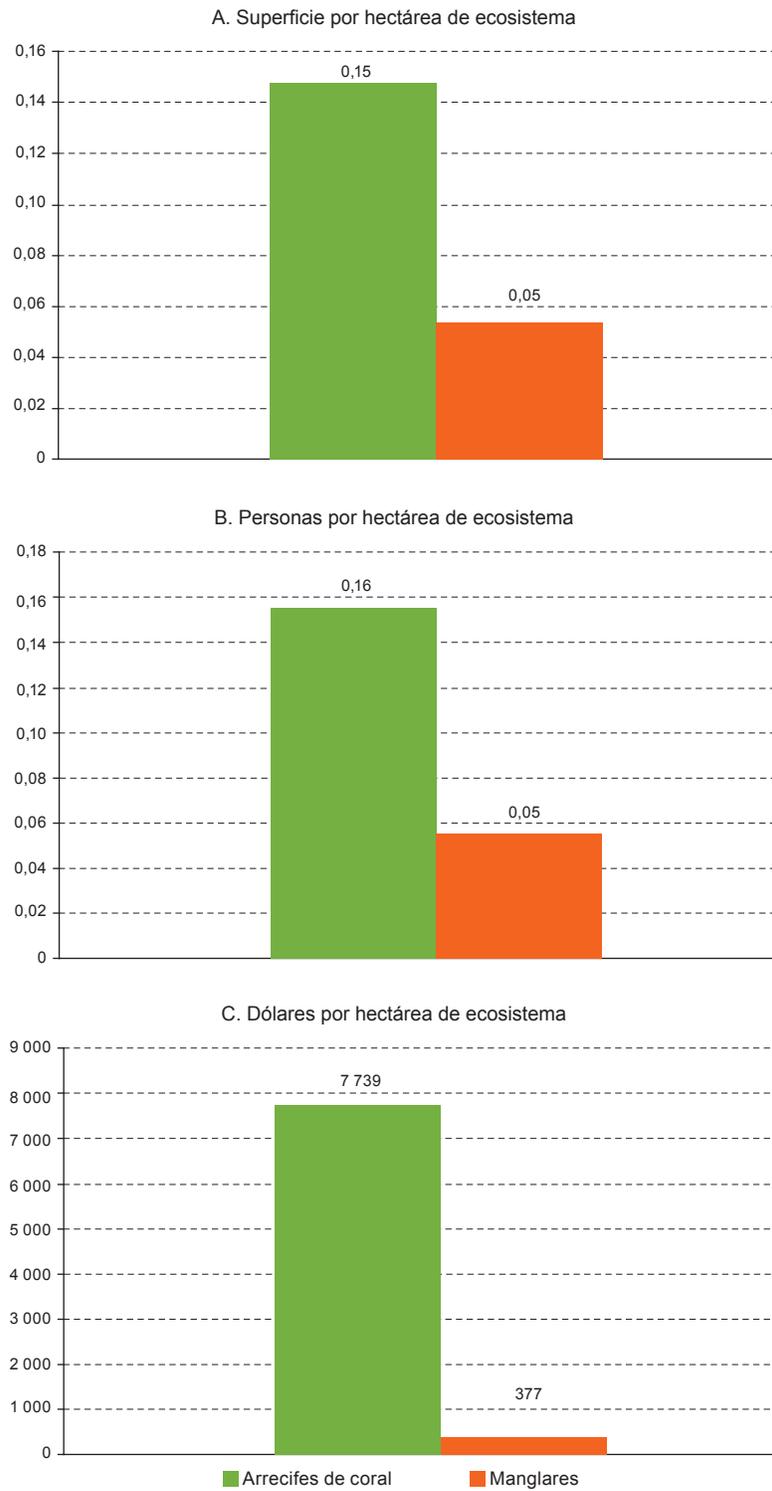
B. Zonas de manglar
(Superficie total: 409.090 ha)

MANGLARES (valor relativo por hectárea de manglar)						
		Daños y beneficios anuales esperados	Período de retorno 10 años	Período de retorno 25 años	Período de retorno 50 años	Período de retorno 100 años
Superficie inundada (en hectáreas del ecosistema)	Con manglar	0,13	0,19	0,29	0,46	0,81
	Sin manglar	0,18	0,27	0,52	0,95	1,92
	Beneficio	0,05	0,08	0,23	0,48	1,11
Personas afectadas por la inundación (en número de personas)	Con manglar	0,10	0,15	0,22	0,34	0,60
	Sin manglar	0,16	0,23	0,42	0,72	1,39
	Beneficio	0,05	0,07	0,20	0,38	0,79
Capital construido que se perdió por la inundación (en dólares)	Con manglar	735	1 107	1 561	2 491	4 620
	Sin manglar	1 111	1 660	2 987	5 266	10 876
	Beneficio	377	554	1 426	2 776	6 256

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Términos agregados a escala nacional.

Gráfico 1
Cuba: beneficios anuales relativos ofrecidos por los arrecifes de coral y los manglares frente a la inundación costera



Fuente: Elaboración propia.

2. Beneficios de protección frente a la inundación a escala local

Si se compara la distribución espacial del beneficio obtenido por la presencia de los ecosistemas coralinos y de manglar en la isla de Cuba, se observan varias diferencias. Por un lado, la distribución de los manglares a lo largo del país es más uniforme que la de los arrecifes de coral, proporcionando una protección a toda la costa más repartida que para los sistemas coralinos, que concentran en zonas concretas la mayor parte de su capacidad de protección. Esta distribución más uniforme de los manglares se puede ver en el mapa 1 y ratificar en los mapas 3 y 4 (población y capital construido protegido por corales) y en los mapas 6 y 7 (población y capital construido protegido por manglares).

Una de las diferencias que se pueden observar al comparar ambos ecosistemas en los mapas de agregación espacial de 20 kilómetros de costa es el orden de magnitud del beneficio aportado por uno y otro. El rango de protección sobre las personas que ofrecen los arrecifes de coral oscila entre 0 y 2.000 personas, mientras que el de los manglares está entre 0 y 20.000 personas, es decir, hasta 10 veces más. Lo mismo sucede al comparar el rango de variación de los resultados del capital construido protegido, siendo de hasta 30 millones de dólares para corales y de más de 100 millones de dólares para manglares.

Por zonas, los corales ofrecen más protección, tanto a personas como en términos de capital construido, en La Habana, Cienfuegos, la Bahía de Cortés y Manzanillo, Varadero y en Cayos de San Felipe. Por su parte, las zonas que reciben mayor beneficio de los manglares son la costa sur de Artemisa y Mayabeque, en la Bahía de Granma, en la provincia de Villa Clara y en Camagüey.

III. Conclusiones

A. Conclusiones derivadas de los resultados

Las barreras arrecifales cubanas, junto con los manglares, cumplen un papel fundamental en la reducción del riesgo por inundación costera. Tras haber analizado independientemente ambos ecosistemas, se ha calculado el beneficio que proporcionan en términos de extensión de terreno, personas y capital construido. La presencia de los actuales arrecifes de coral aporta un beneficio anual de un 65% menos de superficie inundada, un 87% menos de personas afectadas y un 90% menos de capital construido perdido. Por su parte, la contribución de los manglares es de un 30% menos de área inundada, un 35% menos de personas y un 34% menos de capital construido.

Los mayores beneficios en términos socioeconómicos se ubican en zonas densamente pobladas, especialmente en el área de La Habana, Varadero o Manzanillo. Aunque a lo largo de la costa cubana son muchas las hectáreas protegidas por la presencia de ecosistemas, no en todas hay activos expuestos que incrementen el valor de los corales y los manglares del país. Esto pone de manifiesto la necesidad de abordar el estudio a distintas escalas. A escala nacional, con los resultados agregados a nivel de país, podemos realizar una primera valoración y conocer el orden de magnitud del valor de los servicios naturales. Pero se debe ir a una escala de mayor detalle para discernir e identificar los focos más importantes (*hotspots*), donde se concentran los mayores beneficios ecosistémicos. Para conocer la distribución espacial se agregaron los daños a una escala de 20 kilómetros de costa, siendo unidades de una extensión adecuada para plantear medidas de adaptación concretas y actuaciones con el fin de conservar el capital natural y mantener los niveles de protección.

B. Dónde se sitúa Cuba en relación con el resto de los países

Si se compara el valor de los ecosistemas de Cuba con el obtenido para todos los países del mundo en cuyas costas hay corales o manglares, se puede contextualizar la importancia que tienen los recursos naturales costeros en términos de defensa contra la inundación.

A escala global los arrecifes de coral ofrecen protección a 260.000 personas (8.000 de ellas en Cuba, un 3% del total) y evitan la pérdida de 3.370 millones de dólares (401 millones de dólares en Cuba, el 12% del total).

La contribución de los manglares a la reducción del riesgo mundial se resume en 16,5 millones de personas protegidas (más de 22.400 en Cuba, un 0,14%) y 71.000 millones de dólares menos de pérdidas (154 millones de dólares de Cuba, es decir, un 0,2% del total mundial).

Cuadro 4
Clasificación de países con mayor beneficio económico recibido por los arrecifes de coral

		Daños anuales evitados (en millones de dólares)	Daños anuales evitados (en porcentajes del PIB)	
1	Indonesia	639	Islas Caimán	0,98
2	Filipinas	590	Belice	0,37
3	Malasia	452	Granada	0,3
4	México	452	Cuba	0,25
5	Cuba	401	Bahamas	0,16
6	Arabia Saudita	138	Jamaica	0,14
7	República Dominicana	96	Filipinas	0,13
8	Estados Unidos	94	Antigua y Barbuda	0,13
9	Provincia China de Taiwán	61	República Dominicana	0,11
10	Jamaica	46	Malasia	0,09
11	Viet Nam	42	Seychelles	0,06
12	Myanmar	33	Islas Turcas y Caicos	0,06
13	Tailandia	32	Guadalupe	0,05
14	Bahamas	14	Indonesia	0,04
15	Belice	9	Islas Salomón	0,04

Fuente: M. W. Beck y otros, "The global flood protection savings provided by coral reefs", *Nature Communications*, vol. 9, N° 2186, Springer Nature, 2018.

Los números dejan claro el mayor peso relativo que tienen los arrecifes de coral de Cuba en el mundo, con respecto a los manglares. De hecho, Cuba ocupa el quinto puesto de la clasificación mundial del beneficio económico anual ofrecido por los arrecifes de coral, solo superado por Indonesia, Filipinas, Malasia y México, y asciende al tercer puesto si se pondera en relación con el PIB de la isla, con un 0,25% del PIB protegido por los arrecifes (véase el cuadro 4).

En cuanto a la posición mundial por los beneficios económicos de los manglares, Cuba se queda en el puesto 33, en una clasificación liderada por Viet Nam, con China a la cabeza (19.000 millones de dólares), seguida de los Estados Unidos (13.000 millones de dólares), la India (9.000 millones de dólares), México (9.000 millones de dólares) y Viet Nam (7.000 millones de dólares), que cierra el grupo de los cinco primeros. Tampoco en términos relativos al PIB se encuentra Cuba entre las primeras de la clasificación.

C. Implicaciones y recomendaciones

Estas valoraciones sociales y económicas de los manglares y los corales pueden servir como sustento informativo para políticas y prácticas de desarrollo sostenible, reducción de riesgo y conservación de recursos naturales. Al mostrar la distribución espacial del beneficio de los corales y manglares de Cuba, se pueden localizar los lugares donde la gestión de los ecosistemas puede aportar los mayores beneficios. Valorar estos beneficios en términos familiares para instituciones financieras y gobiernos (valor anual

esperado) permite incluirlos directamente en las cuentas nacionales y tomar decisiones para reducir el riesgo basadas en políticas de conservación ambiental. Estos resultados pueden, a su vez, minimizar las pérdidas socioeconómicas vinculadas a los ecosistemas e implicar a la sociedad en la importancia de conservar el capital natural existente.

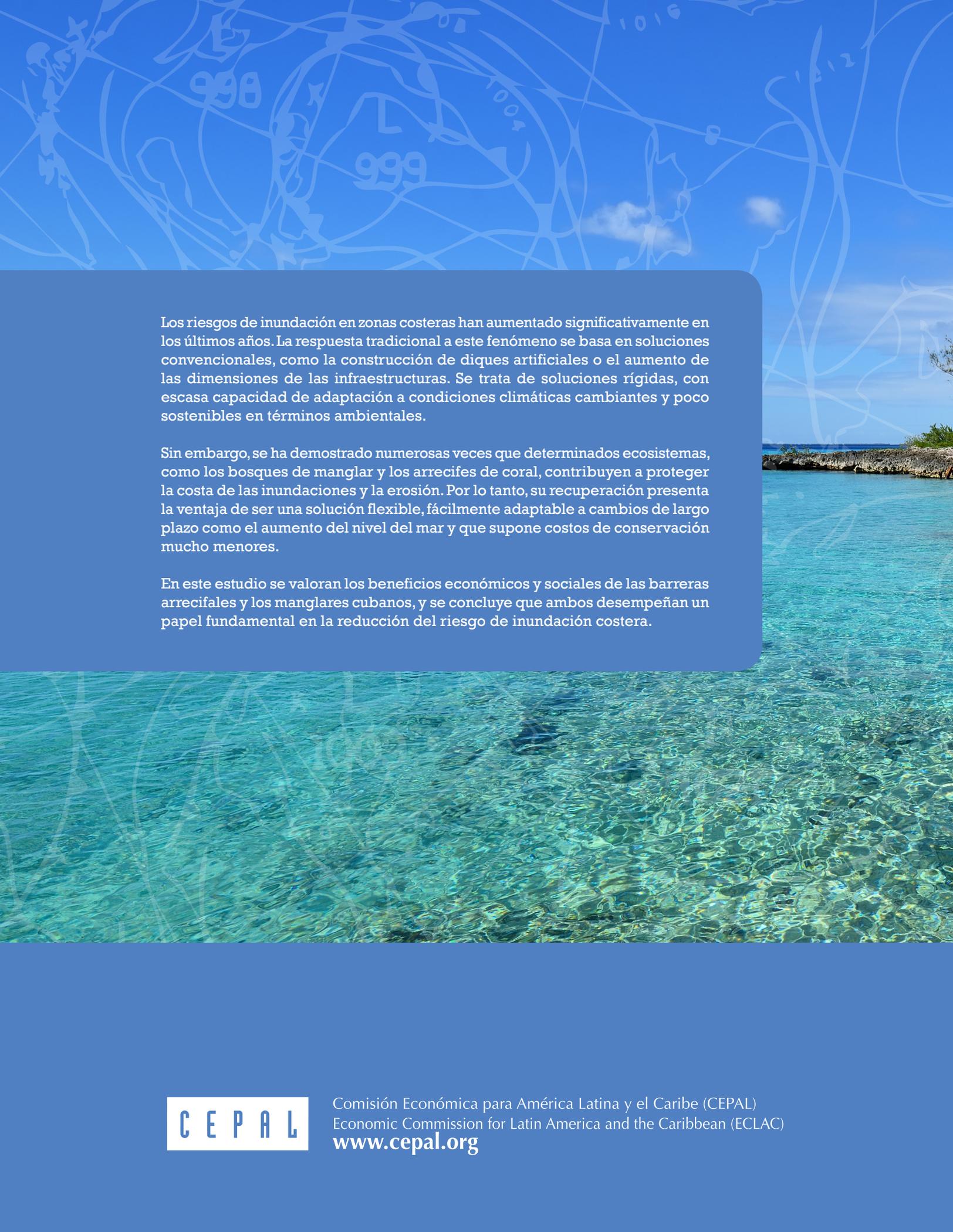
Son muchas las medidas, desde el punto de vista práctico, que se pueden llevar a cabo para incentivar la conservación de manglares y corales, algunas de las cuales se resumen a continuación:

- Gobiernos y organizaciones no gubernamentales (ONG) deben elevar la escala a nivel de país en cuanto a medidas de restauración y no solo centrarse en problemas locales y de corto plazo.
- Deberían incluirse defensas costeras basadas en estructuras arrecifales o en bosques de manglar en las políticas de adaptación nacional, usos del suelo, gestión del riesgo y planes de desarrollo.
- Ingenieros y aseguradoras deberían incluir los ecosistemas costeros en sus análisis coste-beneficio, mientras que los gobiernos y clientes correspondientes deberían exigir que así sea.
- Los economistas deberían defender la inclusión de los ecosistemas en las cuentas nacionales y regionales.
- Los inversores, tanto nacionales como internacionales, deberían apoyar económicamente la restauración de arrecifes de coral y manglares para reducir el riesgo de inundación.
- Los gestores de desastres naturales, las aseguradoras y los modeladores de riesgo deberían tener en cuenta los beneficios de las barreras naturales en sus análisis.
- Las entidades financieras, las aseguradoras, las organizaciones no gubernamentales y los gobiernos deberían utilizar estos beneficios de reducción de riesgo por inundación para crear nuevos productos financieros que apoyen la conservación y restauración de los ecosistemas.

Bibliografía

- Beck, M. W. y otros (2018a), *The Global Value of Mangroves for Risk Reduction. Summary Report*, Berlín, The Nature Conservancy [en línea] <https://conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/crr/library/Documents/GlobalMangrovesRiskReductionSummaryReport10.7291/V9930RBC.pdf>.
- _____(2018b), “The global flood protection savings provided by coral reefs”, *Nature Communications*, vol. 9, N° 2186, Springer Nature.
- Cesar, H., L. Burke y L. Pet-Soede (2003), *The economics of worldwide coral reef degradation*, Zeist, Cesar Environmental Economics Consulting (CEEC).
- Clark, S. y A. J. Edwards (1999), “An evaluation of artificial reef structures as tools for marine habitat rehabilitation in the Maldives”, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, vol. 9, N° 1, Wiley.
- _____(1995), “Coral transplantation as an aid to reef rehabilitation: evaluation of a case study in the Maldivian Islands”, *Coral Reefs*, vol. 14, N° 4, Springer.
- Costanza, R. y otros (1997), “The value of the world’s ecosystem services and natural capital”, *Nature*, N° 387, Nature Publishing Group.
- De Groot, R. y otros (2012), “Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units”, *Ecosystem Services*, vol. 1, N° 1, Elsevier.
- Ferrario, F. y otros (2014), “The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation”, *Nature Communications*, vol. 5, N° 3794, Springer Nature.
- Galford, G. L. y otros (2018), “Cuban land use and conservation, from rainforests to coral reefs”, *Bulletin of Marine Science*, vol. 94, N° 2, Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science.
- González Díaz, P. y otros (2018), “Status of Cuban coral reefs”, *Bulletin of Marine Science*, vol. 94, N° 2, Miami, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science.
- Losada Rodríguez, Í. y otros (2018), *The Global Value of Mangroves for Risk Reduction. Technical Report*, Berlín, The Nature Conservancy [en línea] <https://conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/crr/library/Documents/GlobalMangrovesRiskReductionTechnicalReport10.7291/V99DV1H2S.pdf>.
- _____(2017), “Valuing protective services of mangroves in the Philippines: technical report”, *Working Paper*, N° 117830, Washington, D.C., World Bank.
- Mehvar, S. y otros (2018), “Quantifying economic value of coastal ecosystem services: a review”, *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 6, N° 5, MDPI.
- Morris, R. L. y otros (2018), “From grey to green: efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defence”, *Global Change Biology*, vol. 24, N° 5, Wiley.

- Reguero, B. G. y otros (2018), "Coral reefs for coastal protection: a new methodological approach and engineering case study in Grenada", *Journal of Environmental Management*, vol. 210, Elsevier.
- Small, C. y R. J. Nicholls (2003), "A global analysis of human settlement in coastal zones", *Journal of Coastal Research*, vol. 19, N° 3, Coastal Education and Research Foundation.
- Spalding, M., M. Kainuma y L. Collins (2010), *World Atlas of Mangroves*, London/Washington, D.C., Earthscan.
- Spalding, M., C. Ravilious y E. Green (2001), *World Atlas of Coral Reefs*, Berkeley, University of California Press.
- Spalding, M. y otros (2017), "Mapping the global value and distribution of coral reef tourism", *Marine Policy*, vol. 82, Elsevier.
- Tschirky, P., K. Hall y D. Turcke (2001), "Wave attenuation by emergent wetland vegetation", *Coastal Engineering 2000*, vol. I, B. Edge (ed.), Reston, American Society of Civil Engineers (ASCE).



Los riesgos de inundación en zonas costeras han aumentado significativamente en los últimos años. La respuesta tradicional a este fenómeno se basa en soluciones convencionales, como la construcción de diques artificiales o el aumento de las dimensiones de las infraestructuras. Se trata de soluciones rígidas, con escasa capacidad de adaptación a condiciones climáticas cambiantes y poco sostenibles en términos ambientales.

Sin embargo, se ha demostrado numerosas veces que determinados ecosistemas, como los bosques de manglar y los arrecifes de coral, contribuyen a proteger la costa de las inundaciones y la erosión. Por lo tanto, su recuperación presenta la ventaja de ser una solución flexible, fácilmente adaptable a cambios de largo plazo como el aumento del nivel del mar y que supone costos de conservación mucho menores.

En este estudio se valoran los beneficios económicos y sociales de las barreras arrecifales y los manglares cubanos, y se concluye que ambos desempeñan un papel fundamental en la reducción del riesgo de inundación costera.