

Experiencias hidroecológicas en el diseño del pedraplén de Caibarién (1)

M.Sc. Ángel Quirós Espinosa

Investigador Auxiliar y Profesor Auxiliar

Centro de Estudios y Servicios Ambientales, CITMA, Villa Clara

Email: aquiros@cesam.vcl.cu

RESUMEN

El artículo muestra la experiencia en el tratamiento del diseño del pedraplén Caibarién-Santa María para adecuarlo a las características ambientales del acuatorio en que se ubica. Mediante un modelo gráfico de relaciones causa-efecto, y corroborado con un programa informático actual, se demuestra el carácter fundamental que tiene el mantenimiento del intercambio plataforma-oceano y la hidrodinámica en la preservación de las características ambientales marinas. De igual forma, se explica la estrategia general que se sigue, sobre el presupuesto de que el pedraplén es, en lo ambiental, una obra hidráulica como conjunto de sus componentes principales: el trazado del vial, el cálculo de puentes por secciones hidráulicamente cuasi-homogéneas, la forma de ubicar los puentes, las obras inducidas fuera del vial y los llamados puentes ecológicos.

Palabras clave: ambiente marino, hidráulica marina, obra costera, pedraplén marino.

Hydroecological experiences in the design of Caibarién causeway (1)

ABSTRACT

The paper shows the experience in handling the design of Caibarién- Santa María key causeway to fit it with the environmental characteristics of the watershed in which it is located. By means of a cause-effect modeling graphic, corroborated by an up-dated informatics software, it is demonstrated the fundamental character that keeping the ocean-island shelf interchange has, as well as the hydrodynamics, in the preservation of the marine environmental characteristics. It is also explained the general strategy that was followed, on the assumption that the causeway is, according to the environmental point of view, a hydraulic construction as a set of its main components: the road layout, the calculation of bridges by hydraulically quasi-homogenous sections, the manner the bridges are located, the off-road induced works and the so-called ecological bridges.

Keywords: coastal building, marine causeway, marine environment, marine hydraulics.

INTRODUCCIÓN

Los pedraplenes no son obras recientes en la geografía mundial. La Historia recoge evidencias de ellos que se remontan a Alejandro Magno, que con las ruinas de la ciudad de Tiro construyó un pedraplén para alcanzar una isla cercana a la costa donde las tropas de la ciudad se habían refugiado en una fortaleza.

Lo que sí resulta mucho más reciente es la construcción de pedraplenes de longitud considerable y la manifestación del impacto ecológico de los mismos. Es de pensar que lo primero es causa de lo segundo, aunque no necesariamente.

En este artículo se pretende mostrar la experiencia, en cuanto a tratamiento ambiental, del diseño del pedraplén Caibarién-Cayo Santa María, en la costa norte-central de Cuba (figura 1). Esta obra, con una longitud total de 48 kilómetros, se inició en noviembre de 1989, cerró su asentamiento hasta un levante de un metro sobre el nivel del mar en diciembre de 1995 y concluyó el levante en 1999.

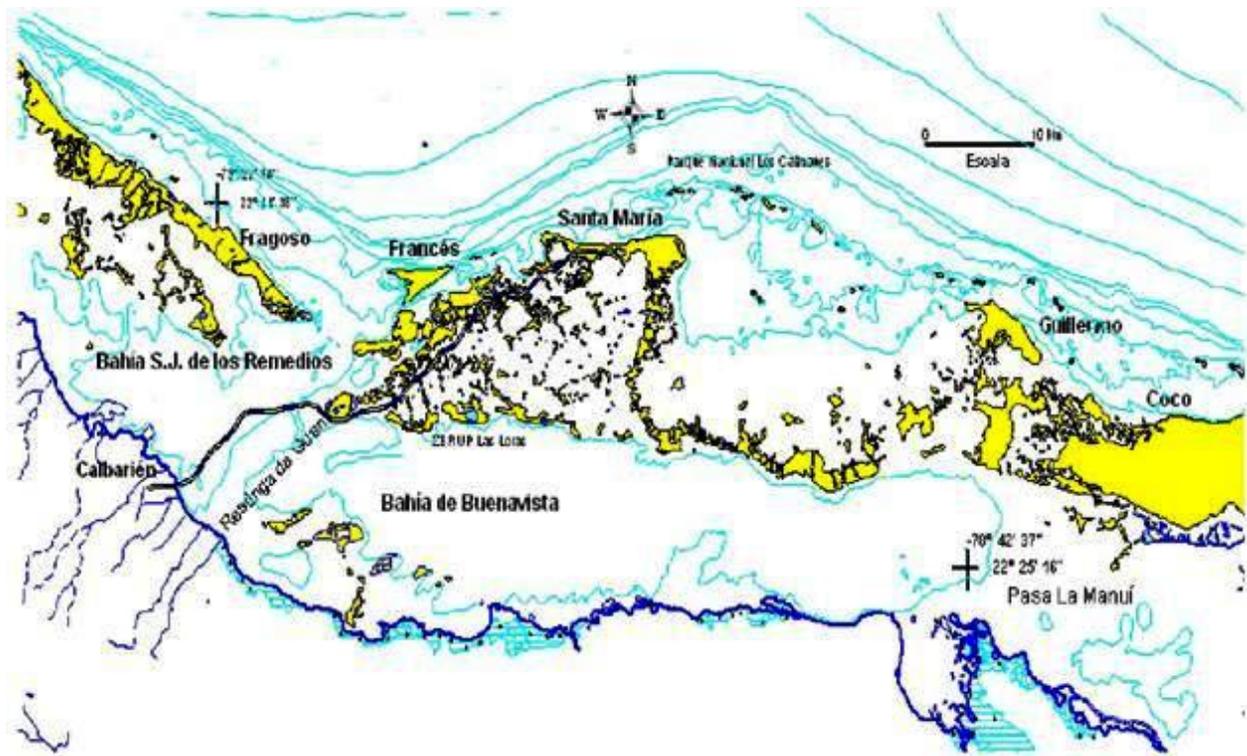


FIGURA 1. Ubicación del pedraplén a Cayo Santa María en la región norte-centro de Cuba.

EFFECTOS AMBIENTALES DE LOS PEDRAPLENES MARINOS

Un pedraplén marino es un vial que se asienta en el fondo del acuatorio mediante una base pétreo, y generalmente soporta en la parte emergida una carretera o una vía férrea, cualquiera sea su finalidad. Desde el punto de vista del ambiente marino, no resulta trascendente lo que por él transita, o incluso si su finalidad es otra, sino la parte sumergida de la obra en sí misma.

Existen evidencias, en todo el mundo, de diversos impactos negativos ocasionados por los pedraplenes. La lista mostrada en la tabla 1 es una selección de las mejor documentadas.

TABLA 1. Evidencias de impactos negativos

Factor afectado	Lugar	Referencias
Aumento de la salinidad	Endicott, Alaska	Fechhelm et al. (2001)
	Galveston, USA	URS 2009
	Cayo Coco, Cuba	Datos no publicados del CIEC ¹
Eutrofización	Canadá*	Harding (1992)
Cambio del patrón de mareas	Canadá*	Harding (1992)
Pérdida de biodiversidad	Xiamen, China	Uychiaoco (2009)
	Cayo Coco, Cuba	Datos no publicados del CIEC
Erosión del fondo	Galveston, USA	URS (2009)
Disminución de recursos pesqueros	Fidalgo Bay, USA	Samish Indian Nation (2007)
	Galveston, USA	URS (2009)
	Prudhoe Bay, Alaska, USA	Robertson (1991)
	Cayo Coco, Cuba	Datos no publicados del CIEC
Cambios de la línea de costa	Fidalgo Bay, USA	Samish Indian Nation (2007)
Aumento de sedimentación	Windsor, N.S., Canadá	Amos (1976); Harding (1992)
Cambios en la zonación del fitobentos	Galveston, USA	URS (2009)
	Cayo Coco, Cuba	Datos no publicados del CIEC
Aumento de la temperatura del agua	Endicott, Alaska, USA	Fechhelm et al. (2001)
	Cayo Coco, Cuba	Datos no publicados del CIEC
Aumento de la DBO	L'Étang N.B., Canadá	Wildish et al. (1974); Harding (1992)
	Canso, Canadá	McCracken (1979); Harding (1992)
Aumento del tiempo de recambio del agua en bahías	Cayo Sabinal, Cuba	Observaciones del autor
Cambios o desaparición de las rutas de desoves de peces	Endicott, USA	Fechhelm et al. (1999)
	Canso y Barrington Passage, N.S, Canadá	McCracken (1979); Harding (1992)
	Petitcodiac, Canadá	Chopin and Wells (2001)
Aumento de la turbiedad del agua	Galveston, USA	URS (2009)
Pérdida de hábitats	Fidalgo Bay, USA	Samish Indian Nation (2007)
	Cayo Coco, Cuba	Datos no publicados del CIEC
Cambios del régimen hidrodinámico	Prudhoe Bay, Alaska	Robertson (1991)
	Xiamen, Filipinas	PEMSEA (2009)
	Laguna Madre, USA	Brown et al. (1995)
	Cayo Coco, Cuba	Datos no publicados del CIEC
Disminución de la dispersión de larvas	Canso y Barrington Passage, N.S, Canadá	McCracken (1979); Harding (1992)
	Cayo Coco, Cuba	Datos no publicados del CIEC
Afectaciones del manglar y los pastos marinos	Xiamen, Filipinas	PEMSEA (2009)
	Cayo Coco, Cuba	Datos no publicados del CIEC
(*) el autor no se refiere a ningún pedraplén en particular.		
(1) CIEC: Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros, Ciego de Ávila.		

A continuación, de forma muy sucinta, se describen estos fenómenos impactantes que suelen aparecer a consecuencia de la construcción de pedraplenes marinos.

Salinidad: Su aumento es uno de los efectos más fundamentados. Es sumamente impactante en la biota estenohalina, y se ha calculado que en fondos no consolidados un incremento de

1,0 ‰, después de 40 ‰, significa la pérdida de condiciones de vida de hasta 60 especies del bentos (Alcolado et al. 1998). En la Bahía de Los Perros la salinidad llegó a sobrepasar un valor de 80 ‰ a causa del pedraplén de Cayo Coco (datos no publicados del CIEC). Se produce por aumento de la permanencia del agua sobre la plataforma, donde la evaporación concentra sal.

Eutrofización: Resulta de una sobrecarga de nutrientes en el ecosistema o de la incapacidad del mismo para evacuar sus aguas nutrificadas, por lo que aparece cuando el intercambio plataforma-océano se restringe.

Patrón de mareas: Es el resultado de un estancamiento de las aguas sobre una zona de la plataforma que, generalmente, se manifiesta como un tránsito de un régimen semi-diurno a uno diurno.

Biodiversidad: La disminución de este factor ocurre por diferentes motivos: como respuesta a aumentos de la salinidad o la temperatura explicados arriba, modificaciones en el sustrato del fondo, desaparición de especies antecedentes en las cadenas alimentarias u otras formas de control biológico, y otras causas, como la imposibilidad de disminuir la concentración de los contaminantes del medio acuático.

Erosión del fondo: Los procesos erosivos pueden ser naturales a causa de las corrientes, pero como impacto ocurre cuando estas se refuerzan en determinados lugares. Según la experiencia en canales, corrientes mayores a 1,5 m/s arrastran grava, por lo que estos efectos a consecuencia de pedraplenes ocurren en dos situaciones: en puentes hidráulicamente restringidos y en la punta del pedraplén durante su construcción a causa de los llenantes y los vaciantes. La erosión elimina sedimentos no consolidados y acarrea un cambio drástico del sustrato, que es un factor de alta selectividad por las especies del bentos.

Recursos pesqueros: Los recursos pesqueros, como parte de la biodiversidad, responden a las mismas causas que afectan a esta. Adicionalmente, pueden sufrir impactos negativos muy fuertes cuando se alteran o interrumpen las rutas de los peces a los sitios de desove, o cuando se afecta la dispersión de las larvas.

Línea de costa: La costa puede sufrir afectaciones por erosión o por deposición de los sedimentos provocadas por las corrientes litorales, que en determinadas condiciones pueden cambiar por la inserción de un pedraplén.

Sedimentación: Contrario a la erosión, este fenómeno es el resultado de una pérdida de la energía cinética de las aguas, que hace que prevalezcan los procesos de sedimentación por encima de los de suspensión.

Zonación del fitobentos: Los cambios en la distribución espacial de la cobertura vegetal del fondo pueden tener causas disímiles. Las especies que lo componen pueden responder a un cambio de sustrato, de temperatura, de salinidad, de nutrientes, o simplemente a diferencias en la turbidez por el efecto de pantalla de la columna de agua a la luz incidente. En general se trata de un reordenamiento de los parches naturales iniciales que no debe confundirse con cambios en la composición general de especies de una zona.

Temperatura del agua: Es un efecto directo del aumento del tiempo de retención del agua sobre la plataforma, lo que ocurre por obstrucción parcial de las corrientes de llenante y vaciante.

DBO: Obedece a un aumento de la carga orgánica que llega al ecosistema o a la imposibilidad de exportarla al mar afuera por obstrucción del recambio. Este fenómeno tiende a disminuir la concentración de oxígeno disuelto y, consecuentemente, afecta a la biota que lo emplea.

Tiempo de recambio del agua: De ese tiempo depende la cantidad de energía solar que recibe una masa de agua y la temperatura que alcanza; la evaporación resultante aumenta la salinidad y la densidad. Aumenta cuando se obstaculizan las corrientes de llenante y vaciantes.

Rutas de desoves: Las rutas de este tipo son fijas y su interrupción puede tener como respuesta un reacomodo, pero también puede cesar. El resultado es una disminución del reclutamiento de juveniles por disminución de la natalidad.

Turbiedad: El aumento de turbiedad se ocasiona por erosiones que elevan sedimentos a la columna de agua. Su aumento disminuye la luz que llega al fondo, afectando así la fotosíntesis y, consecuentemente, la productividad primaria del ecosistema; con ello disminuye la capacidad de carga del mismo, pudiéndose traducir en la denudación del fondo de vegetales y la disminución de los recursos pesqueros que, en última instancia, dependen de la energía que fija el fitobentos.

Hábitat: El cambio de hábitat ocasiona un inevitable cambio de la biota que en él se asienta. Básicamente ocurre por erosión o deposición de sedimentos, además de cambios en los promedios de factores físicos del ambiente, como la temperatura y la salinidad.

Régimen hidrodinámico: Es una situación consistente en cambios drásticos en el régimen de corrientes, tanto en sus aspectos cualitativos (distribución espacial y direcciones), como en los cuantitativos (gastos, velocidades). En situaciones de pedraplenes marinos aparece como consecuencia de entorpecimiento de los lugares donde los flujos de agua son mayores.

Dispersión de larvas: El fenómeno es válido tanto para peces como para invertebrados. Aparece por alteraciones hidrodinámicas.

Manglares y pastos marinos: La pérdida de manglares ocurre mayormente como consecuencia de un aumento de la salinidad. La planta requiere extraer agua dulce del agua de mar, lo que implica un gasto energético que es mayor en la medida que el gradiente es más pronunciado. Es por esto que primeramente ocurre un crecimiento muy lento (manglares achaparrados) y mueren si el gradiente continúa acentuándose o si persiste por mucho tiempo. Una situación semejante puede darse en los pastos marinos, que además se afectan por turbiedad en la columna de agua o por cambios en el sustrato a causa de la erosión o de la sedimentación.

RELACIONES CAUSA-EFECTO

El espectro de afectaciones al medio marino descrito se puede ordenar en un modelo gráfico de causas-efectos-causas, como el de la figura 2. En esta figura se han dispuesto las causas más fundamentales hacia la parte inferior y las saetas indican el sentido de la influencia; se puede apreciar que la restricción del intercambio a través del trazado constituye una causa de las que

derivan, directa o indirectamente, las afectaciones ambientales descritas por la existencia de pedraplenes. Las rutas al desove están también en la base del modelo y tienen, en ocasiones, causas no basadas en el intercambio, sino simplemente en su interrupción física.

Por lo tanto, en un primer acercamiento al aseguramiento de las condiciones ecológicas del acuatorio, fue posible aceptar la necesidad de mantener el intercambio plataforma-océano y las rutas migratorias como factores básicos: garantizados ellos se garantizan los demás.

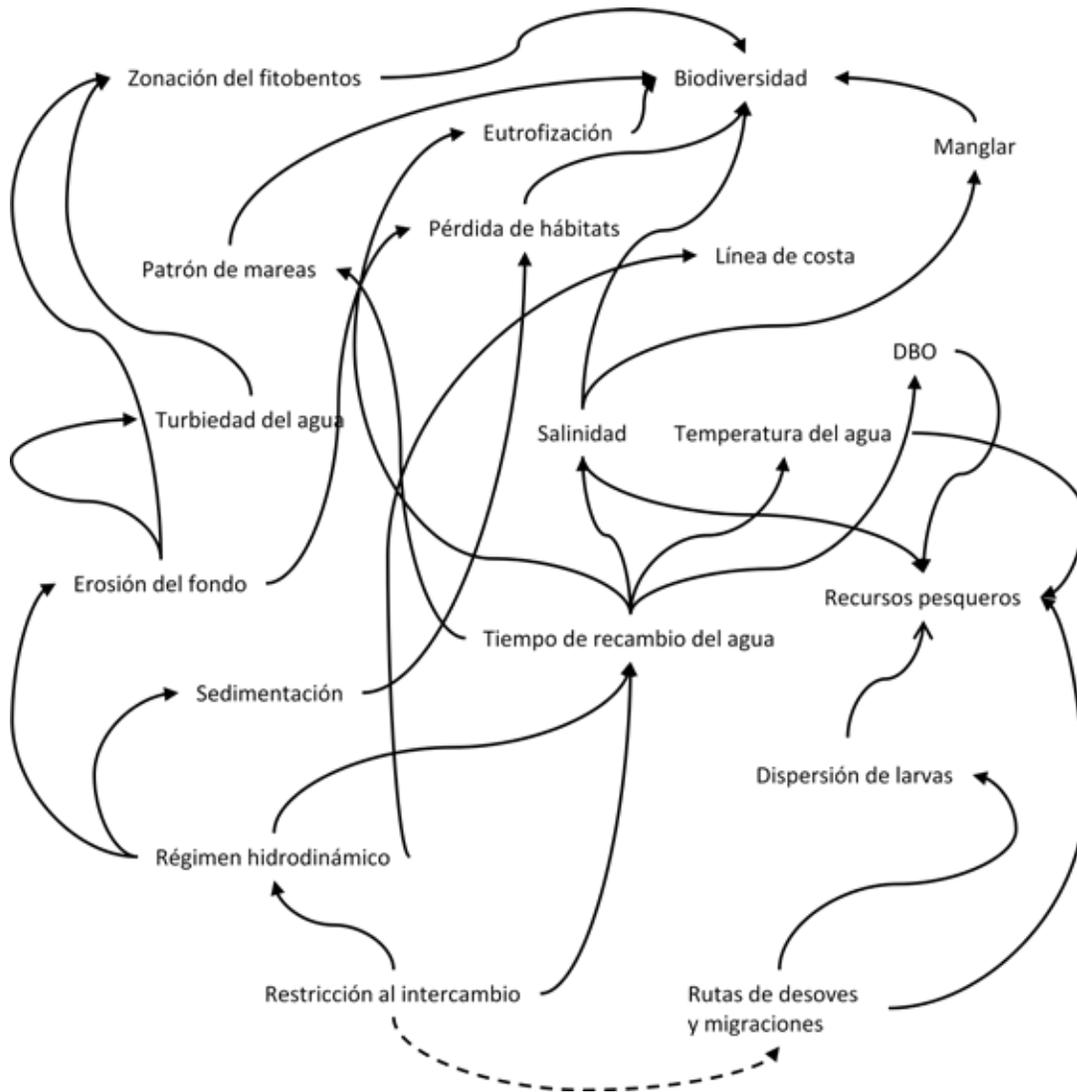


FIGURA 2. Modelo gráfico de causas-efectos-causas de afectaciones al medio marino creadas por obras tipo pedraplén. Las flechas indican el sentido de la influencia.

La aplicación de un análisis cuantificado actual, con los mismos elementos, puede servir para constatar la efectividad del modelo gráfico empleado en aquel entonces. Para ello se usó el software libre MACTOR 5.12 (LIPSOR 2003), que fue concebido para el estudio de juegos de actores, identificados aquí como las afectaciones descritas anteriormente, y sus proporciones de influencias, que para los fines de este artículo se interpretan como causas. El programa parte de

la confección de una matriz de doble entrada (Matriz de Influencias Directas: MID) con todas las afectaciones identificadas y asignarle un valor de influencia (de 0 a 3) a cada nodo: es la influencia, o magnificación de la causa, de la fila sobre las columnas, que recibe el efecto.

El programa calcula una segunda matriz (Matriz de Influencias Directas e Indirectas: MIDI) de la siguiente manera:

$$(MIDI)_{ij} = (MID)_{ij} + \sum_k \text{Min} [(MID)_{ik}, (MID)_{kj}] \quad (1)$$

En la derecha de la ecuación, $(MID)_{ij}$ expresa la influencia directa que el factor i ejerce sobre el factor j y $\sum_k \text{Min} [(MID)_{ik}, (MID)_{kj}]$ representa la suma de todas las influencias indirectas que el factor i ejerce sobre el factor j y que pasan por un factor relevo k . Para este último valor, sólo se tienen en cuenta influencias indirectas de segundo orden, es decir, influencias que transitan sólo por un factor intermedio. De esta forma solo se incorporan las influencias más fuertes, pues en teoría las influencias podrían tener hasta decenas de factores intermedios.

La causalidad neta del factor i (I_i) se calcula sumando las influencias que este factor tiene sobre los otros factores que intercepta en su fila:

$$I_i = \sum_{k \neq i} (MIDI)_{ik} \quad (2)$$

La influencia neta del factor i (D_i) se calcula sumando las influencias que este factor recibe de otros factores, es decir, sin tener en cuenta las influencias indirectas que él pueda recibir de él mismo:

$$D_i = \sum_{k \neq i} (MIDI)_{ki} \quad (3)$$

La influencia y dependencia de un factor sobre sí mismo es cero y se representa en la diagonal de la matriz.

. De esta forma se obtiene un par de valores x,y (dependencia,influencia; efecto,causa) para cada afectación que, representados en tanto por ciento, se distribuyen en un recuadro.

Este resultado, expresado gráficamente, denota una preponderancia de los aspectos hidrodinámicos y del tiempo de recambio (casi absoluta influencia y nula dependencia), mientras que los recursos pesqueros, la biodiversidad y el fitobentos se presentan con mucha dependencia y poca o nula influencias (figura 3).

Esto explica por qué pequeños pedraplenes en el interior de bahías (como el de Cayo Carúpano en Las Tunas, Cuba) no provocaron afectaciones ecológicas en el acuatorio: no tiene significación hidrodinámica alguna.

Por otra parte, otros de poca extensión que bloquearon el intercambio (como el de Cayo Sabinal, entre las bahías de Jigüey y Nuevitas) produjeron diferencias de salinidad entre ambos márgenes de hasta 8 ‰ (datos del autor medidos en 1983), a pesar de no sobrepasar los 200 metros de longitud.

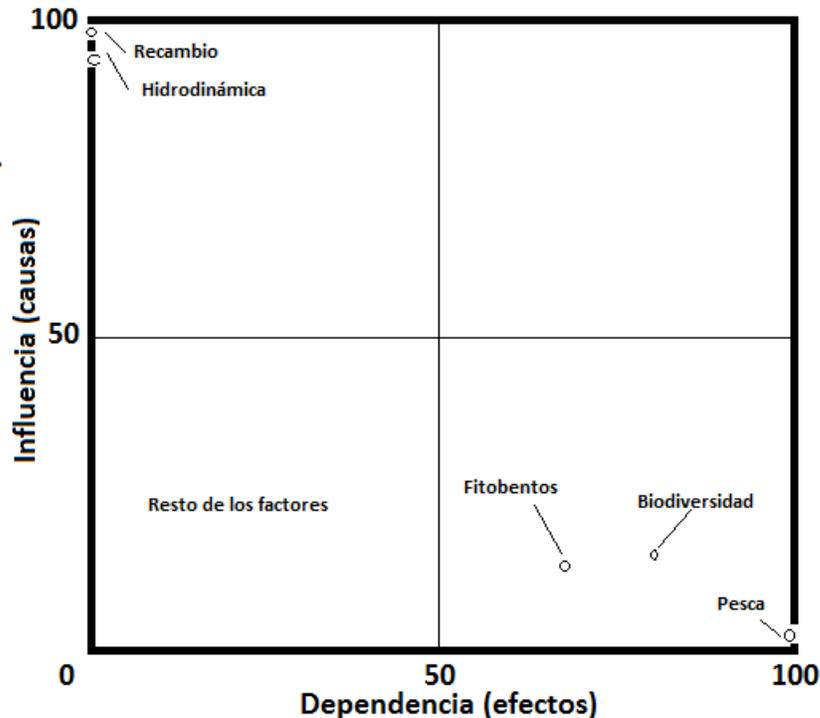


FIGURA 3. Relaciones de influencias (causas) y dependencias (efectos) entre los factores ambientales involucrados con la inserción de pedraplenes marinos, según los resultados de MACTOR.

SISTEMA DE MEDIDAS AMBIENTALES DEL PROYECTO

Consecuentemente con el resultado anterior, mantener con efectividad el intercambio entre ambos lados de un pedraplén, y a costos lo menores posibles, conlleva un conjunto de acciones como las que se describen a continuación.

Trazado del vial: La simple selección del trazado tiene una importancia enorme en el mantenimiento del intercambio hídrico. El pedraplén de Caibarién se ubica entre dos bahías (San Juan de los Remedios y Buenavista) en lo que pudiera considerarse como un parteaguas entre las mismas: la zona donde dos grandes masas contiguas de agua exhiben el menor movimiento. Por lo tanto, es la zona donde naturalmente ocurre el menor intercambio y donde, evidentemente, se requieren menos puentes para mantenerlo. Ubicarlo dentro de cualquiera de las dos bahías hubiera significado tener que darle una mayor capacidad de intercambio: más puentes.

El trazado también contempla no atravesar manglares densos, por lo que se dispone al sur de los cayos de mangle que existen en la región central. La figura 1 muestra estos particulares del trazado.

Cálculo por secciones hidrológicas: Un estudio de corrientes en el trazado del vial permitió conocer gastos y velocidades en una serie consecutiva de puntos. Estos valores se agruparán por su similitud en una continuidad espacial, dejando el resultado de 10 tramos cuasi-homogéneos en lo que a movimientos del agua se refiere. Estas son consideradas secciones de cálculo diferentes

y permiten una mejor distribución de los puentes. El resultado de los cálculos es la abertura total necesaria en cada sección.

Ubicación de puentes por fotointerpretación: Conocida la abertura total, los puentes se ubican por interpretación de fotos aéreas y según la batimetría en el trazado. Esto significa detectar los lugares donde en el fondo se aprecian arrastres de sedimentos, indicativos de existencia de corrientes fuertes, que son responsables de los procesos de intercambio. De estos lugares se escogieron los de mayor profundidad para hacer más eficientes los puentes. Por último, se priorizaron de entre los lugares anteriores aquellos por donde se ubicaban rutas migratorias o de desove de peces.

Obras inducidas fuera del trazado: La idea de facilitar el intercambio y favorecer las rutas migratorias se complementaron con obras inducidas ubicadas fuera del trazado del vial. En primer lugar se concibió y construyó un puente entre la ciudad de Caibarién y el cayo de la playa, unidos desde hacía años por la deposición allí del préstamo del dragado del refugio de los barcos. Como es de esperar, se requirió el dragado del canal. Tal medida pretendió dar continuidad a la corriente litoral, que netamente tiene dirección Este-Oeste.

Una segunda medida concebida fuera del trazado fue la re-canalización de la restinga de Guaní, cuyos dos principales canales habían sido cerrados por sucesivos huracanes. El objetivo fue dar salida a las aguas hipersalinas provenientes de la Bahía de Los Perros e incorporadas a la de Buenavista por la pasa de La Manuí.

La tercera fue la ampliación de los canales naturales, entre los cayos de la llamada Costa de los Canalizos (arco de cayos entre Santa María y Guillermo), lo que facilitaría la entrada al acuatorio interior de aguas oceánicas de la zona del Parque Nacional Los Caimanes. Estas dos medidas se concibieron como emergentes, en dependencia de los resultados del monitoreo. Nunca fue necesario desarrollarlas.

Puentes ecológicos: Se denominaron como tales aquellos que vinculaban el vial entre un manglar y el mar. Comienzan dentro del manglar y terminan en el mar. Estos, además de permitir la continuidad de las corrientes litorales, facilitan el mantenimiento de importantes procesos migratorios que ocurren frente a los manglares. No se consideraron dentro del cálculo hidráulico del intercambio general: en consecuencia un factor de seguridad.

Monitoreo ambiental: Se concibió en ambas bahías contiguas al pedraplén, evaluando la matriz de monitoreo seleccionada antes, durante y después del cierre del vial. La matriz empleada fue de tipo compuesta: una evaluación de factores de respuesta directa, físico-química (salinidad) y factores indirectos, biológico-ecológicos (biodiversidad de las taxocenosis de macroalgas bentónicas). En caso de que las anteriores medidas no eliminaran de forma absoluta la ocurrencia de efectos negativos en el ambiente, el monitoreo debía ser capaz de establecer las causas del impacto, el momento de aparición, el lugar afectado y dar información necesaria para diseñar medidas de mitigación. Las estaciones de muestreo se ubicaron en todas las regiones hidrográficas de la zona que fueran influidas por el vial, así como fuera de estas influencias para poder valorar el sesgo climático anual.

CONCLUSIONES

El análisis de las relaciones causa-efecto de las afectaciones descritas a consecuencia de los pedraplenes marinos, ha sido una herramienta útil, simple y efectiva para determinar los factores ambientales básicos a considerar en el diseño de medidas ingeniero-ecológicas que aseguren la no agresividad ambiental de este tipo de obra.

Se muestra de forma fehaciente que los efectos ambientales negativos que emanan de la construcción de pedraplenes marinos deriva, en última instancia, de factores hidrodinámicos que se alteran con el vial, muy especialmente el tiempo de recambio del agua de la plataforma con el océano.

En el caso del pedraplén a Santa María, este intercambio se condiciona fuertemente al agua que penetra por el espacio abierto entre los cayos Santa María y Guillermo, por lo que resultaría ambientalmente desastroso construir en este lugar cualquier vial con la intención de unir estos cayos.

REFERENCIAS

Alcolado P., Espinosa J., Ibarzabal D., Valle R. del y Martínez J.C. (1998) “Prospección del megazoobentos de los fondos blandos del Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba”. *Avicennia*, 8/9: 87-104, Oviedo, España.

Amos, C.L. (1976) “Effects of tidal power structures on sediment transport and loading in the Bay of Fundy-Gulf of Maine system”, p. 233-253. En: G.R. Daborn [ed.]. “Fundy Tidal Power and the Environment”. Proceedings of workshop on the environmental implications of fundy tidal power, Wolfville, Nova Scotia, Canada, November 4-5, 1976.

Brown, C.A., Militello, A. and Kraus, N.C. (1995) “Hydrodynamic assessment for elevation of the JFK Causeway, Corpus Cristi, Texas”. Proceeding Texas Water '95, Texas Section of the American Society of Civil Engineers, 31-41. <http://goliath.cbi.tamucc.edu/TexasInletsOnline/PackeryChannel/PublicationsReports/Brown%5B1%5D.Hydrodynamic%20assessment%20for%20elevation...pdf>

Chopin, T. and Wells, P. G. (Eds.) (2001) “Opportunities and Challenges for Protecting, Restoring and Enhancing Coastal Habitats in the Bay of Fundy”. Proceedings of the 4th Bay of Fundy Science Workshop, Saint John, New Brunswick, September 19-21, 2000. Environment Canada - Atlantic Region, Occasional Report No. 17, Dartmouth, NS and Sackville, NB. <http://docs.informatics.management.dal.ca/gsd/collect/bofep1/pdf/WD/BOFEP4-2000-205.pdf>

Fechhelm, R. G., Martin, L. R., Gallaway, B. J., Wilson, W. J. and Griffiths, W. B. (2001) “Estimating the hydrographic effects of Prudhoe Bay causeway breaches using the before-after control-impact (BACI) analysis”. *Arctic*, 54 (2): 162 –173, Anchorage, Alaska. <http://pubs.aina.ucalgary.ca/arctic/Arctic54-2-162.pdf>

- Fechhelm, R.G., Martin, L.R., Gallaway, B.J., Wilson, W.J. and Griffiths, W.B.** (1999). “Prudhoe Bay causeways and the summer coastal movements of Arctic Cisco and Least Cisco”. *Arctic*, 52 (2): 139– 151, Anchorage, Alaska. <http://pubs.aina.ucalgary.ca/arctic/Arctic52-2-139.pdf>
- Harding, G.C.** (1992) “A review of the major marine environmental concerns off the Canadian East Coast in the 1980s”. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 1885: vi + 38 p. <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/140283.pdf>
- LIPSOR** (2003). “Software MACTOR 5.12”, <http://www.3ie.org.lipsor>
- McCracken, F.D.** (ed.) (1979) “Canso Marine Environmental Workshop. Part 2. An overview”. Fisheries and Marine Service, Technical Report 834, Pt. 1: 17 p.; Pt. 2: 55 p.; Pt. 3: 163 p.; Pt. 4: 81 p.
- Robertson, S.B.** (1991) “Environmental and Permitting Considerations for Causeways Along the Beaufort Sea, Alaska”. SPE Western Regional Meeting, Long Beach, California. <http://www.onepetro.org/mslib/servlet/onepetroreview?id=00021764&soc=SPE>
- Samish Indian Nation** (2007) “Fidalgo Bay causeway feasibility study request for founding from Department of Ecology”. 14 p. <http://www.samishtribe.nsn.us/dnr/DOE%2042007.pdf>
- URS** (2009) “Galveston Causeway Railroad Bridge alteration across the gulf intracoastal waterway Galveston County, Texas. Draft environmental assessment”. [http://www.uscg.mil/hq/cg5/cg5411/Galveston Causeway %20Draft %20EA %20Apr-09 %20II.pdf](http://www.uscg.mil/hq/cg5/cg5411/Galveston%20Causeway%20Draft%20EA%20Apr-09%20II.pdf)
- Uychiaoco, A.** (2009) “Environmental rehabilitation in a rapidly developing urban area”. Case Study, 1 (4): 8 p. http://d130148.u37.wsiph2.com/publications/ICM/case_study_v1n4_xiamen.pdf
- Wildish, D.J., Carson, W.V., Wilson, A., and Hull, J.H.** (1974) “Effects of a neutral-sulphite pulp effluent on some chemical and biological parameters in the L'Etang estuary, New Brunswick. L'Etang Survey II”. Fisheries Research Board. Manuscript Report 1295: 46 p. Canada.