

ARRASTRANDO LA MONTAÑA HACIA EL MAR



ARRASTRANDO LA MONTAÑA HACIA EL MAR

HACIA DÓNDE VAN NUESTROS OCÉANOS

La degradación ambiental en las
cuencas hidrográficas y la transferencia
de impactos a los ecosistemas marinos

Agenda del Mar® 
c o m u n i c a c i o n e s

Editor científico:
Juan D. Restrepo A., PhD

Agenda del Mar 2018

Con el aval y aporte científico del Proyecto IDRC-BASIC Cartagena



IDRC | CRDI

International Development Research Centre
Centre de recherches pour le développement international

Canada 

BASIC
CARTAGENA
BASIN SEA INTERACTIONS WITH COMMUNITIES
INTERACCIONES ENTRE CARIBÍO, MAR Y COMUNIDADES

DIRECTORA

Maria José Ospina Restrepo

EDITOR CIENTÍFICO

Juan Darío Restrepo A.

DISEÑO GRÁFICO Y DIAGRAMACIÓN

John Fredy Hincapié G.

GRÁFICOS E ILUSTRACIONES

Sandra de Bedout

CORRECCIÓN DE TEXTOS

Óscar Darío Montoya Gómez, Rubén Darío Vasco

INVITADOS ESPECIALES

Juan Darío Restrepo A., profesor e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra y director del Grupo de Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Eafit; Andrea Luna, profesora e investigadora del Departamento de Ecología y Territorio de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales y Directora del Semillero de Investigación Aquasistemas de la Pontificia Universidad Javeriana; Susana Caballero, profesora e investigadora del Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de

Ciencias y Directora del Laboratorio de Ecología Molecular de Vertebrados Acuáticos –Lemva; Marko Tosic, investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad Eafit; Juan Camilo Restrepo L., profesor de la Universidad del Norte; Paula A. Rodríguez, ingeniera ambiental de la Universidad de los Andes y especialista en Impactos Sectoriales de WWF; Carolina Escallón Wey, comunicadora social y periodista de la Universidad de La Sabana, consultora en comunicaciones de WWF.

AGRADECIMIENTOS

Juan D. Restrepo A., María Claudia Diazgranados, Diana Lucía Chaves, Luis Felipe Ospina, María José Restrepo N., Ricardo Sierra, Luz Marina Velásquez, María Camila Villegas, Luis Alonso Zapata Padilla, Sura, Celsia, Argos, Fundación Grupo Argos, Fondo de Agua de Cartagena, Marcela Mejía, Diana Cuevas, Universidad Eafit, Conservación Internacional Colombia, Proyecto IDRC Basic Cartagena.

FOTOS PORTADA

Agenda del Mar , Santiago estrada

IMPRESIÓN

Kolors

5

Presentación

6

La transferencia de impactos desde las montañas hacia el mar: ¿de quién es la responsabilidad ambiental?

22

La erosión en las montañas: causas naturales y humanas

32

La deforestación de las montañas de Colombia: ¿es más grave de lo que creemos?

38

Mercurio: el metal que puso al mundo de acuerdo

46

¿Cuánta contaminación hay en el pescado que comemos?

56

La bahía de Cartagena: Un destino final de la contaminación en Colombia

66

Fondos de agua: estrategia de conservación de cuencas a largo plazo

68

Arrastrando la montaña hasta los arrecifes coralinos

80

Las montañas construyen las costas y los deltas

92

Bibliografía

96

Agradecimientos

CONTENIDO



Colombia, país de dos mares, el segundo más biodiverso del planeta y en el top 10 de los más ricos en agua dulce. No obstante, esa riqueza en recursos naturales pareciera escurrirse de las manos debido a las malas prácticas ambientales en todo el territorio, que van desde una preocupante tasa de deforestación en las montañas hasta unos alarmantes niveles de contaminación en los cuerpos de agua, como el río Magdalena y la bahía de Cartagena.

Agua, aire, bosques, biodiversidad y, en general, todos los activos ambientales del país están seriamente comprometidos para las futuras generaciones. Si no hacemos nada ahora, en los próximos diez o veinte años estaremos lamentando lo poco que nos queda. La actual encrucijada ambiental exige cambios serios en nuestra forma de relacionarnos con el entorno. Se necesitan ciudadanos bien informados y sensibilizados frente a estos problemas, a un sector privado cada vez más comprometido como ya lo viene haciendo los últimos años y, sobre todo, al conjunto de la sociedad ejerciendo presión a los tomadores de decisiones en el sector público para que adopten planes serios a largo plazo y tomen acciones reales para el uso sostenible y la conservación de los activos ambientales.

PRESENTACIÓN

Con el propósito de brindar información relevante que sirva para la toma de decisiones, la Agenda del Mar 2018 circula en compañía del libro **Arrastrando la montaña hacia el mar**, como continuación del libro de los 25 años **Hacia dónde van nuestros océanos** y que a partir de este año será un coleccionable sobre diferentes asuntos marinos y ambientales estratégicos para Colombia.

En esta segunda edición del libro abordamos la transferencia de los impactos ambientales desde las cuencas hidrográficas de Colombia hacia las zonas litorales y ecosistemas marinos. Temas como erosión, deforestación, sedimentos y contaminación son explorados por científicos de primer nivel.

Estamos convencidos de que pequeñas acciones generan un cambio global y que este libro es una valiosa herramienta para la sensibilización y responsabilidad ambiental de los pobladores, actores y tomadores de decisiones en las diferentes regiones por donde pasan los ríos arrastrando la montaña hacia el mar.

LA TRANSFERENCIA DE IMPACTOS DESDE LAS MONTAÑAS HACIA EL MAR: ¿DE QUIÉN ES LA RESPONSABILIDAD AMBIENTAL?

Juan D. Restrepo Ángel, Ph.D.

Profesor e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra y Director del Grupo de Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Eafit. Profesor y científico visitante en las Universidades de Colorado y Texas en Austin (Estados Unidos) y en el Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de Algarve, Portugal. Miembro Correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

El manejo de los ríos en Colombia no responde a la genética de conectividad física y biológica de las cuencas hidrográficas. Las decisiones ambientales en los ríos del país son territoriales (por departamentos) y sectoriales (por corporaciones regionales), sin incluir los impactos generados en las partes alta y media de las cuencas y la transferencia de los problemas ambientales hacia las zonas costeras y sus ecosistemas marinos.



Los ríos

De todos los procesos naturales en la tierra, el agua que corre por los sistemas fluviales ha tenido el mayor impacto en el establecimiento y desarrollo de las poblaciones humanas. Estas dependen de los ríos para fuentes de energía, vías de comunicación, sistemas de regadío y para cultivos en zonas fértiles y ribereñas. Además, los ríos al ser sistemas físicos caracterizados por su condición unidireccional del flujo de agua, proveen continuamente un recurso hídrico renovado y son un medio rápido y efectivo de remoción de sustancias tóxicas como contaminantes, pesticidas, detergentes, metales pesados, entre otros elementos.

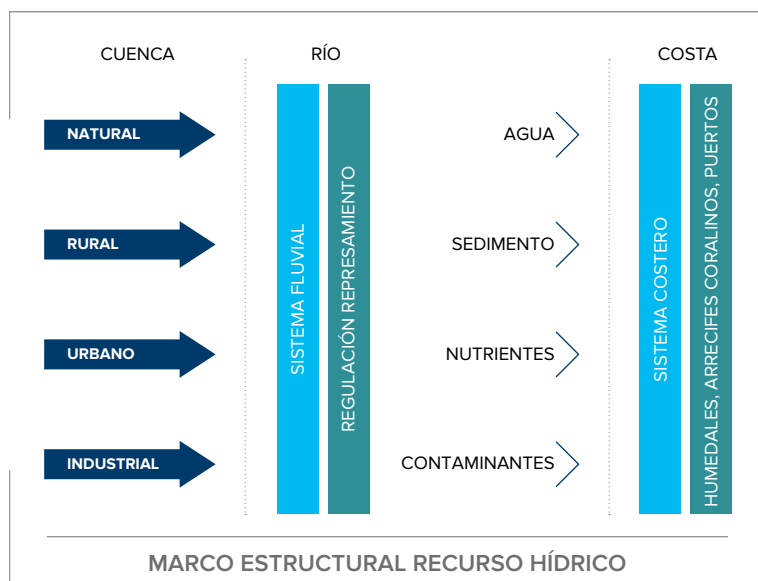
Desde los comienzos de la era industrial y el crecimiento de los grandes centros de desarrollo urbano, los ríos han sido la fuente de generación de energía y abastecimiento de agua potable. Actualmente existen más de 45 000 represas de origen fluvial alrededor del mundo y se calcula que más de 400 embalses se terminan de construir cada año. Es evidente y crítica la dependencia que tiene la sociedad humana en los recursos fluviales, y además, la presión a nivel global que se ejerce sobre ellos. De otro lado, los ríos representan amenazas para los asentamientos humanos mediante eventos de origen natural como flujos e inundaciones, sequías y deslizamientos, y otros de carácter antrópico como la contaminación y la erosión. Ya sea como un recurso o amenaza, los sistemas fluviales son un componente estratégico en la política, economía y aspecto social de las naciones. La mayoría de los países dependen del manejo sostenible que se les dé a los recursos hídricos.



Agenda del Mar

Los ríos son también uno de los mecanismos físicos para la evolución del paisaje terrestre al ser agentes de erosión y transporte, removiendo agua y sedimentos desde los continentes hacia los océanos. Estas cantidades, expresadas como elementos de la descarga fluvial, son el resultado de procesos físicos que ocurren en el continente como precipitación (lluvias), erosión natural, lavado de los suelos, y de otros factores producto de las actividades humanas como el aporte de aguas contaminadas de desechos urbanos, industriales y fertilizantes, e incremento en las tasas de erosión resultado de prácticas como la deforestación, la minería y la adecuación de tierras para ganadería y agricultura.

En cuanto al ciclo hidrológico global, los ríos proveen las rutas para transportar el exceso de agua en los continentes. En el balance hídrico total de la tierra, 36 000 km³ de agua fluyen anualmente desde el interior de los continentes hacia los océanos. También se ha calculado, con base en datos numéricos de descargas fluviales, que los ríos del mundo transportan hacia el mar cerca de 19 000 millones de toneladas de material, de las cuales el 80% representa el transporte o carga en suspensión (sedimentos) y el 20% restante comprende la carga disuelta de elementos químicos y orgánicos en solución, ya sea producto del lavado de las rocas y suelos o como aporte de nutrientes, fertilizantes y contaminantes de origen humano.



Marco estructural del recurso hídrico desde las montañas hacia el mar mostrando los procesos que controlan los aportes continentales (izquierda) y la transferencia de los aportes fluviales a las zonas costeras (modificado de LOICZ y cortesía de Basic).

Los ríos y el Antropoceno



Existe amplia evidencia de cómo el sistema Tierra ha estado bajo la presión humana, principalmente durante el Holoceno (últimos 8000 años), cuando comienza en muchas regiones del mundo la conversión de los suelos para agricultura. De hecho, la segunda mitad del siglo XX ha sido seleccionada como el inicio del Antropoceno, una nueva época geológica de la historia de la Tierra bajo el impacto del hombre.

Existe gran discusión sobre el inicio del Antropoceno. Unos estudios lo sitúan prácticamente en los comienzos del Holoceno y posterior sedentarización de las comunidades humanas y otros lo localizan desde los inicios de la industrialización en 1850. La determinación del comienzo del Antropoceno requiere de un marcador estratigráfico o señal continua del

impacto humano guardada en los espesores de los sedimentos antiguos. No obstante el debate actual de los comienzos del Antropoceno, se ha podido comprobar que el evento de “gran aceleración” del impacto humano en los ríos y cuencas hidrográficas comienza posterior al fin de la Segunda Guerra Mundial. El registro crono-estratigráfico y las señales observadas en los ciclos biogeoquímicos de las cuencas globales muestran que el punto de inflexión brusco se presenta a comienzos de la segunda mitad del siglo XX.

El impacto humano en los ríos, con los incrementos asociados en la erosión de los suelos continentales y en el transporte de sedimentos a las zonas costeras, comienza hace 3000 años pero se acelera en los últimos 1000 años. Hacia el siglo XVI, las sociedades comienzan la mecanización



del ambiente. Ya para comienzos del siglo XX, la introducción de la ingeniería en la transformación de las cuencas hidrográficas genera señales marcadas del incremento en los sedimentos transportados por los ríos desde las montañas. Además, los datos globales indican aumentos acelerados del transporte de sedimentos, nitrógeno, fósforo y otros elementos desde las montañas hacia las costas y océanos. En conclusión, la huella antrópica en los ríos globales y la transferencia de impactos hacia las zonas litorales y ecosistemas marinos comienza después de la Segunda Guerra Mundial, cuando los sedimentos transportados desde las montañas al mar se incrementan en 2300 ± 600 millones de toneladas.

Durante los últimos setenta años los ríos han estado bajo constante impacto ambiental. En los países en desarrollo, en donde están presentes la mayoría de los grandes sistemas fluviales, ha habido un incremento considerable en los tensores de origen antrópico, incluyendo minería, deforestación, proyectos de ingeniería, agricultura, cambios de usos del suelo, entre otros. El factor común en muchas cuencas hidrográficas ha sido la acelerada demanda en la utilización y control de los recursos hídricos. Además, descargas fluviales de sedimentos y componentes bioquímicos activos como pesticidas y metales han aumentado varios órdenes de magnitud desde el comienzo de la era industrial. Todos estos impactos y tendencias han alterado dramáticamente los sistemas hidrográficos y el transporte de materiales en suspensión, además de la pérdida potencial y crítica de hábitats y biodiversidad.



El sistema continuo desde las montañas hasta el mar

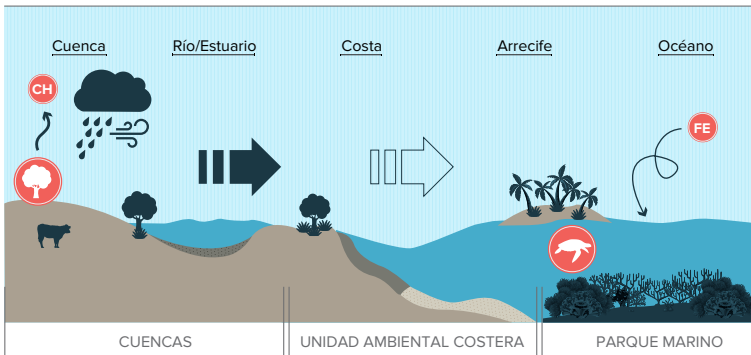


Agenda del Mar

Hasta solo los inicios de la década de los noventa, en la educación superior en ciencias naturales, como por ejemplo en disciplinas como geología, biología, oceanografía y ecología, no se enseñaba la interacción entre diferentes componentes del sistema Tierra. Quienes eran geólogos debían ocuparse del sistema continental y sus montañas y los oceanógrafos estaban destinados solo para las partes litorales y marinas. No era aceptado un oceanógrafo en las zonas internas y ríos, y mucho menos geólogos actuando en la parte marina. No éramos enseñados acerca de las conexiones y flujos de energía entre atmósfera, océanos y continente, y analizábamos los procesos naturales por compartimientos o cajas separadas.

El gran cambio para entender que todo en la Tierra estaba conectado y que los ríos hacen parte de las costas y mares, por medio de la transferencia desde las montañas de agua, sedimentos, nutrientes y contaminantes, comenzó con el Programa Global de la Geosfera y la Biosfera, IGBP (por sus siglas en inglés). Redes de científicos de diferentes disciplinas en todo el mundo comenzaron a interactuar para entender las conexiones y flujos entre los diferentes sistemas de la Tierra. Y es aquí cuando a mediados de los noventa, el IGBP lanza su programa mundial del entendimiento en la conexión montañas-ríos y zonas litorales, el llamado LOICZ (por sus siglas en inglés, *Land Ocean Interaction in the Coastal Zone*), la interacción entre el continente y los océanos en la zona litoral.

Este programa LOICZ demostró a nivel global que las áreas costeras están conformadas por ríos, estuarios y mares litorales, que se extienden hasta la plataforma continental y que son el lugar donde ocurren importantes transformaciones biogeoquímicas debido a la depositación de nutrientes y sedimentos. En los litorales, los procesos continentales interactúan y se combinan con los procesos de origen oceánico. De hecho, los factores naturales y antrópicos en los ríos incrementan o disminuyen los flujos horizontales de materiales a las zonas costeras con sus respectivos impactos en la morfología (sedimentos) o en los ecosistemas (nutrientes y elementos tóxicos). Los ríos son, por lo tanto, el principal mecanismo del transporte de sedimentos, nutrientes y contaminantes hacia las costas y mares.



Perfil del sistema continuo desde las montañas y ríos hasta el mar (Cortesía Basic).

No obstante lo obvio de esta interconexión, ningún país a nivel mundial había adoptado este esquema de interconexión en los años noventa, para analizar la transferencia de los impactos terrestres desde el continente hacia las zonas costeras y ecosistemas marinos. Quizás el primer intento relevante en interiorizar la conexión entre montañas-ríos y zonas costeras lo hicieron varios países europeos en el marco del proyecto del IGBP “Cuencas de Europa” (*Euro Catchments*), en el cual hicieron la evaluación biogeoquímica de todos los elementos que transportaban los ríos europeos hacia las zonas costeras y deltas. A partir de aquí se establecieron los límites y umbrales de contaminación y los programas para

mitigar las fuentes de sustancias tóxicas y de erosión continental hacia las costas. Otros países siguieron la misma ruta de análisis y evaluación del impacto continental en sus litorales, incluyendo Estados Unidos, países africanos con el proyecto “African Catchments” y por último Suramérica con el programa científico Sambas (por sus siglas en inglés, *South American Basins*). En Colombia, un país de ríos y costas, de montañas que viajan hasta el mar, no existe un marco administrativo y técnico para comenzar una evaluación, a nivel de país, sobre las consecuencias y responsabilidades ambientales de las transferencias de impactos desde los ríos al mar. Sobre esto volveremos en la sección final de este capítulo.

La señal humana en la transferencia de impactos de las montañas al mar



Gran parte de los sedimentos transportados por los ríos representan los suelos erodados de las tierras deforestadas y adaptadas para la agricultura, minería y el crecimiento urbano. La cantidad de estos sedimentos provee una medida de la degradación y de la reducción global del recurso natural que son los suelos. Por lo tanto, los sedimentos, producto de la erosión en las montañas, representan la llamada “denudación tecnológica de los suelos”.

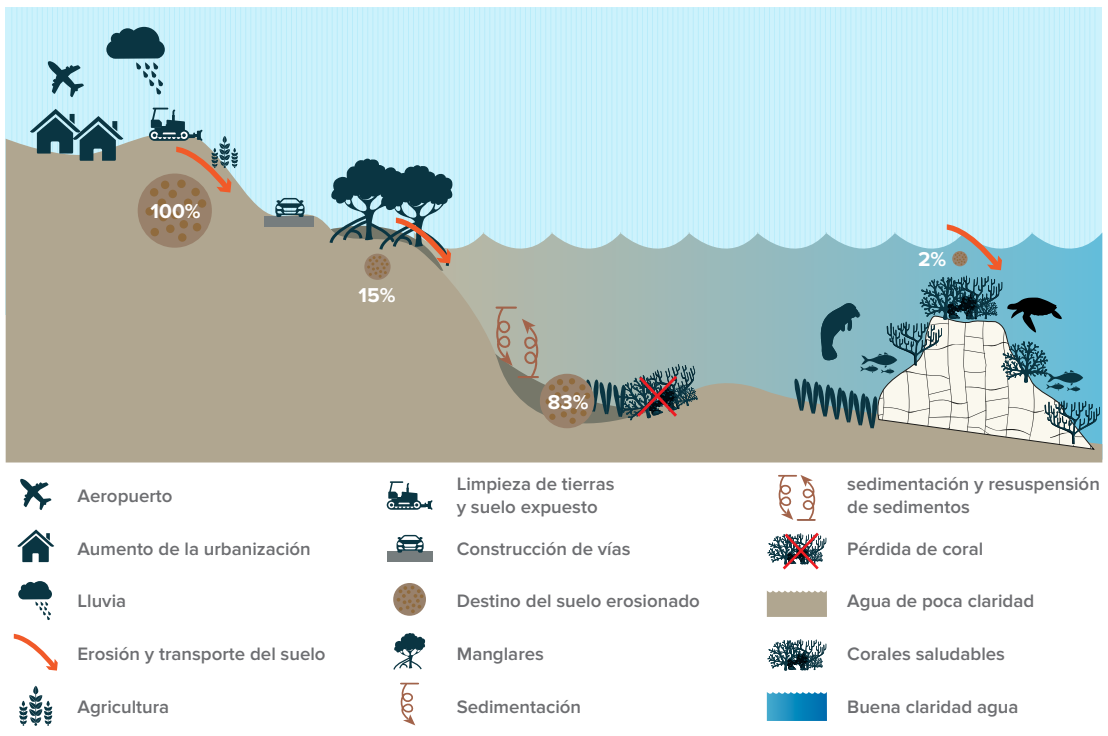
Durante la “ola invernal” que ocurrió en Colombia en los años 2010 y 2011, se inició la excusa del cambio climático por parte de las autoridades ambientales y tomadores de decisiones en general. Todos los desastres naturales de origen hidrogeológico como denudación de los suelos, generación de sedimentos, deslizamientos e inundaciones, colmatación de ríos y masas de agua y aumentos del nivel del mar, comenzaron a ser justificados con el cambio climático global. En otras palabras, los ríos, estuarios y costas colombianas se han inundado y colmatado de sedimentos por la acción de las chimeneas y quema de combustibles fósiles en China, Estados Unidos e India.

Diferentes opiniones se han generado en torno a las causas de la emergencia invernal 2010-2011. De un lado, algunos columnistas de importantes periódicos sostienen que este desastre invernal ha sido ocasionado por causas naturales. Otros expertos afirman que el cambio climático es el principal detonante de la tragedia. Contrario a estas dos tendencias de opinión, algunos científicos y columnistas aseguran que el impacto del hombre en la región andina, como producto de la transformación del paisaje por deforestación, minería, ganadería y agricultura, es el factor que ha influido en que este desastre haya superado en varios órdenes de magnitud la intensidad de los eventos invernales que se observan cada año en el país.

Visto de otra forma, la aceleración de los procesos hidrogeológicos superficiales en las cuencas hidrográficas pueden ser producto del cambio

climático o de la intervención humana, o de ambos factores. Este incremento en los procesos geológicos que afectan la superficie terrestre y que representan alto riesgo en las comunidades, ha sido evidente y comprobado a escala global. Todavía, la comunidad científica mundial trabaja para determinar si estamos ante un “cambio geomorfológico global” independiente del cambio climático y que se sumaría a este.

De lo que no cabe duda alguna es sobre la capacidad de regulación hídrica que tienen los suelos y los bosques. En zonas andinas montañosas con relieve muy pronunciado, los bosques y sus suelos son la esponja hídrica que almacena el exceso de precipitación, amortiguando de forma natural la escorrentía que fluye en el ciclo hidrológico hacia los ríos. En estos sistemas montañosos de altas pendientes, la remoción de la cobertura forestal deja expuestos los suelos a la acción de las lluvias y al lavado activo o erosión superficial. En otras palabras, al remover la vegetación los excesos hídricos en las cuencas fluviales no son filtrados y la escorrentía o caudal se presenta de forma errática o en pulsos, ocasionando las inundaciones de carácter extremo aguas abajo y el incremento en los sedimentos transportados desde las zonas activas de erosión hacia las áreas costeras y ecosistemas marinos.



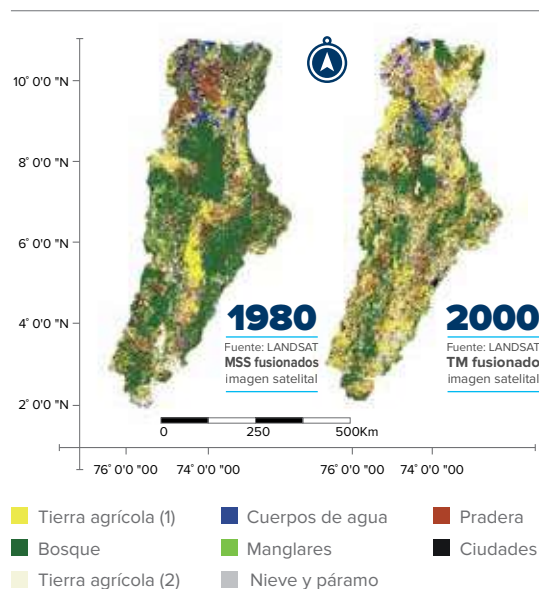
Perfil de la transferencia de impactos por erosión en las montañas hacia los ecosistemas marinos como manglares, lagunas y bancos arrecifales. Tomado y modificado de la plataforma de símbolos IAN, Universidad de Maryland, Estados Unidos.

Los indicadores de deforestación en Colombia son alarmantes. La última evaluación de deforestación realizada por el Ideam entre los años 2005 y 2010 muestran una tasa anual de deforestación de 340.000 hectáreas por año, un área de pérdida forestal similar al área del departamento del Atlántico. Al comparar este valor en Colombia con los datos de deforestación global publicados en el estudio de evaluación mundial de los bosques, de la Organización para la Alimentación y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO, por sus siglas en inglés), Colombia, que ocupa solo el 0.1% del área continental del mundo, ¡representa el 5% de la deforestación global! En otras palabras, nuestro país está en los primeros 10 lugares de deforestación a nivel mundial al año 2010. No cabe duda de que la descomposición de nuestros suelos andinos influye en la erosión y en el incremento del transporte de sedimentos de los ríos colombianos hacia las zonas costeras.

Uno de los principales activos ambientales del país es sin duda el río Magdalena y toda su cuenca hidrográfica. En términos socio-económicos, en la cuenca habita el 77% de la población del país, se genera el 80% del PIB y se produce 70% de la energía hidráulica, 95% de la termoelectricidad, 70% de las cosechas agrícolas, 90% del café y 50% de la pesca de agua dulce. En otras palabras, gran parte del desarrollo económico del país se ha generado a partir de activos ambientales del Magdalena como bosques, suelos, recursos hídricos y mineros. Sin embargo, el costo de este desarrollo ha sido evidente en la degradación ambiental. Más del 80% de los bosques originales fueron talados en las tres últimas décadas, la pesca se ha disminuido en más del 50% en el mismo periodo y la erosión se ha incrementado en más del 30% en la última década.

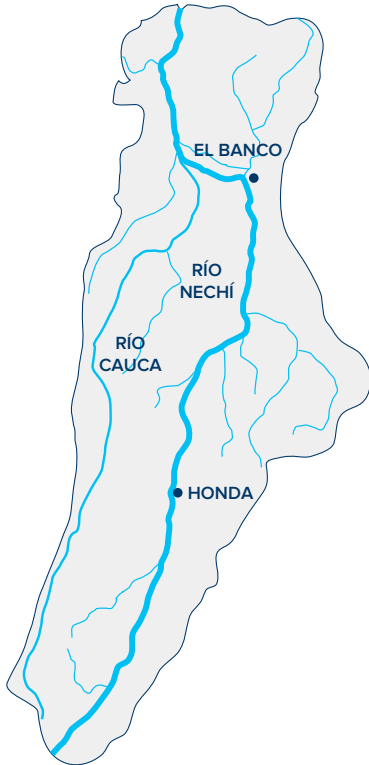
Con tan solo el 0.1% del
área continental del mundo,
Colombia representa el 5% de
la deforestación mundial.

Colombia deforesta cada
año un área similar al
departamento de Atlántico
(330.000 ha)



Mosaico de imágenes de satélite mostrando la cobertura de bosques y otros usos del suelo en la cuenca del río Magdalena desde 1980 hasta el año 2000. En este periodo más del 45% de los bosques originales fueron talados (Tomado de Restrepo y Syvitski, 2006, Ambio).

CUENCA DEL MAGDALENA



¿QUÉ TIENE LA CUENCA DEL MAGDALENA?

80% DEL PIB

77%
DE LA POBLACIÓN
COLOMBIANA

70%
DE LA PRODUCCIÓN DE
ENERGÍA HIDRÁULICA

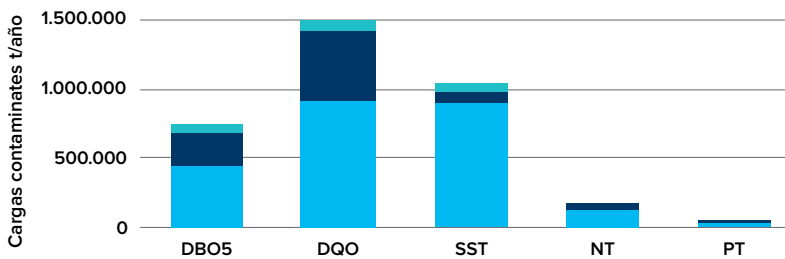
70% de las cosechas
agrícolas

90% DEL CAFÉ

50% DE LA PESCA
DE AGUA DULCE

95% de la producción
de termoelectricidad

CARGA CONTAMINANTE EN LA CUENCA MAGDALENA-CAUCA



DBO5:
Carga orgánica biodegradable

DQO:
Demanda química de oxígeno

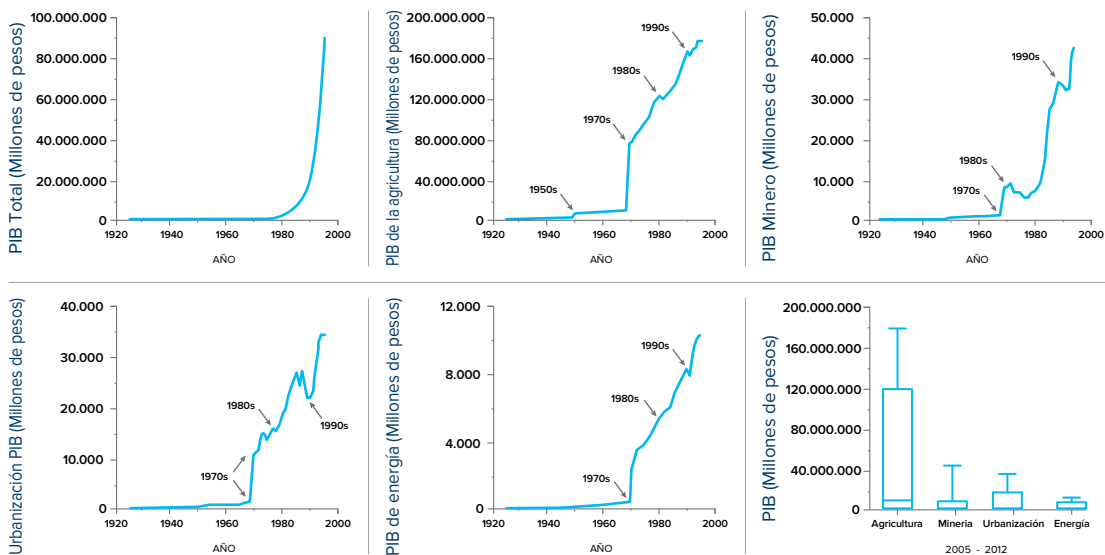
SST:
Sólidos suspendidos totales

NT:
Nitrógeno total

PT:
Fósforo

Colombia está en el puesto N° 2 de países con mayores conflictos ambientales, según el Atlas Global de Justicia Ambiental. India ocupa el primer puesto.

El desempeño ambiental de Colombia en los últimos 10 años ha sido medido por varias bases de datos globales en términos de índices de desempeño, cambios forestales y conflictos ambientales. El EPI por sus siglas en inglés *-Environmental Performance Index-* de la Universidad de Yale clasifica a Colombia en el puesto global 85 con una calificación general de 50.77 sobre 100. En las áreas de manejo y cambio en la coberturas de los bosques como también de los recursos hídricos, las calificaciones de 26.26 y 4.6, respectivamente, dan muestra de la degradación ambiental de las cuencas hidrográficas. Por su parte, la base global de deforestación, *Global Forest Watch* (GFW 2014), indica que solo queda el 14% de la cobertura forestal primaria en todo el país. El área total de deforestación al año 2012 fue de 197.000 hectáreas. Por último, el Atlas Global de Justicia Ambiental sitúa a Colombia en el puesto número dos de países con mayores conflictos ambientales. Los datos muestran que en el país han ocurrido 72 conflictos ambientales generados principalmente por actividades extractivas de recursos mineros, biomasa forestal y energía fósil.



Contribución al PIB nacional de las actividades de origen humano que generan cambios en el uso del suelo en el cuenca del Magdalena para el periodo 1935-2005 (Indicadores económicos del Banco de la República).

En cuanto a la señal humana en la erosión en las montañas de Colombia, identificada con el incremento en el transporte de sedimentos durante los últimos 40 años, es válido proponer que el Antropoceno en los ríos del país inicia en los años setenta. Por ejemplo, al observar los indicadores económicos en la cuenca del Magdalena que generan cambio en el uso de los suelos, incluyendo agricultura, minería, urbanización y electricidad, en términos de su contribución al PIB nacional, es evidente que la agricultura seguida por la urbanización, son las actividades de origen humano que han transformado en mayor escala los suelos de la cuenca del Magdalena. Incluso, estas transformaciones comienzan en la década de los setenta en el sector agrícola y en los años ochenta para la extracción minera. Estos cambios son visibles en el comportamiento interanual de la erosión.

En el ámbito global existe la certeza de que las tasas de sedimentación, deslizamientos, inundaciones y transporte de sedimentos a las zonas litorales se han incrementado diez veces en las últimas cinco décadas. Este incremento de forma exponencial desde inicios del Antropoceno en 1950, es muy similar al incremento mundial del PIB. La variación de las precipitaciones totales debida al cambio climático, uno de los principales agentes en la ocurrencia de desastres naturales, ha variado entre el 5% y 7% a escala global. La presión humana sobre la superficie terrestre ha aumentado en más de 40 veces la frecuencia y recurrencia de eventos extremos y de alto riesgo. De hecho, la llamada denudación tecnológica de los suelos explica las pérdidas superficiales de estos del orden de 1 mm/año, mientras que a los

procesos naturales se les asigna sólo 0.1 mm/año. En otras palabras, la influencia humana en la erosión superficial de los suelos es de un orden de magnitud mayor que la debida a las variables de origen natural.

En conclusión, bajo estos escenarios de intervención humana sobre los suelos de las montañas, es de esperar una importante reducción de la resiliencia de los sistemas naturales ante distintos agentes desestabilizadores (lluvias intensas y acciones humanas), así como una intensificación de los procesos geológicos superficiales causantes de los desastres. De confirmarse lo anterior, tendría importantes consecuencias para la formulación de estrategias de mitigación de los desastres, ya que el foco de las medidas a implantar no se debería dirigir solo hacia el cambio climático, sino hacia el control en la degradación de los suelos. El primero depende sobre todo de políticas internacionales, mientras que el segundo es mucho más fácil de abordar y gestionar a nivel nacional. La degradación ambiental de gran parte del país es arrastrada por los ríos aguas abajo y transferida a las zonas inundables, sistemas lagunares y marinos terminales, en términos de crecientes aportes de agua, sedimentos y contaminantes. No cabe duda alguna de que ante la alteración superficial de los suelos en las montañas, debida a las actividades humanas, la resiliencia de estos en la regulación hídrica o “amortiguación” de la escorrentía superficial disminuye. Por ende, es de esperar que ante eventos de precipitación promedio, los caudales se comporten más erráticamente o en “pulsos”, y como resultado, los pulsos de agua y sedimentos hacia las zonas litorales se incrementen.

La responsabilidad en la degradación de los activos ambientales de las zonas costeras a causa de los aportes continentales desde el centro del país, debe estar en el cálculo de futuras compensaciones ambientales, en las estimaciones de riesgo de proyectos de desarrollo y de restauración ambiental, y en las estrategias de sostenibilidad económica, social y ambiental de áreas litorales.



Agenda del Mar

¿De quién es la responsabilidad ambiental del impacto de la contaminación continental en los ecosistemas marinos?

En el contexto anterior, las cuencas hidrográficas del país, incluyendo su máximo exponente, el Magdalena, deberían ser analizadas ambientalmente a escala regional y con el planteamiento de hipótesis centrales en relación con la degradación de los suelos como: “el incremento en los procesos geológicos de alto riesgo como erosión, inundaciones y deslizamientos, además de la transferencia de mayores cantidades de agua, sedimentos, nutrientes y contaminantes a la zona costera se deben a la intervención humana en la cuenca, la cual ha alterado el ciclo hidrológico de los suelos y disminuido los niveles de resiliencia de las zonas hidrográficas ante el cambio climático”. Para resolver esta hipótesis se requieren proyectos

transdisciplinarios que conjuguen disciplinas como hidrología, geología, economía ambiental, evaluaciones de servicios ecosistémicos, biodiversidad, ingeniería ambiental, entre otras, y no solo ingeniería “gris” e hidráulica.

Durante las últimas décadas el desarrollo en infraestructura fluvial de los ríos colombianos se ha caracterizado por proyectos puntuales de “ingeniería gris”. Quienes han ejecutado estas obras civiles han visto nuestros ríos como un “tubo hidráulico” y no como la integralidad de una cuenca-región con interacción de diferentes ambientes geológicos, biológicos y sociales.

Este sesgo en el conocimiento de los ríos y de sus cuencas no ha permitido que los proyectos de desarrollo involucren en sus análisis de factibilidad estudios sobre la producción de sedimentos, de zonas críticas de aportes sedimentarios, del impacto de la deforestación y de cambios de uso

del suelo en la generación de sedimentos, y de las conectividades hídricas y biológicas. Además, los escenarios de erosión no son contemplados en las proyecciones futuras de las obras de infraestructura y del dragado de canales.

En Colombia, la inclusión de un marco de análisis interconectado entre montaña-ríos y mar no está dentro del ADN ni de la formación académica en ciencias naturales y menos en el del Sistema Nacional Ambiental SINA. Las cuencas hidrográficas del Caribe y del Pacífico colombiano, con sus complejidades geográficas en factores naturales, de impacto humano y del manejo político-administrativo, están completamente sectorizadas políticamente y responden a temas de manejo ambiental local y regional, más no al la conectividad de todo el sistema hídrico. No existe, al menos, un marco técnico-científico para evaluar cuánto de las transferencias de sedimentos, nutrientes y contaminantes a la zona litoral es debido a

impactos humanos en la parte continental. Y es aquí donde los tomadores de decisión y autoridades, con el apoyo de la academia, deberían comenzar a estructurar el marco legal ambiental de conectividad hídrica de nuestros ríos.

No obstante la carencia de estudios de conectividad hídrica en cuencas fluviales del país, unos pocos estudios han analizado cuánta responsabilidad en la degradación de activos ambientales de zonas costeras se le atribuye a los aportes continentales.

Por ejemplo, el proyecto BASIC sobre los impactos de los aportes del río Magdalena en la contaminación de la bahía de Cartagena (<http://www.basic-cartagena.org/>) ha confirmado que cerca de una tercera parte de la contaminación de la bahía es debida a los aportes de sedimentos y contaminantes desde el interior del país.



Shutterstock

LA EROSIÓN EN LAS MONTAÑAS: CAUSAS NATURALES Y HUMANAS

Juan D. Restrepo Ángel, Ph.D.

Profesor e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra y Director del Grupo de Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Eafit. Profesor y científico visitante en las Universidades de Colorado y Texas en Austin (Estados Unidos) y en el Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de Algarve, Portugal. Miembro Correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Los ríos de Colombia drenan los tres sistemas de cordilleras de los Andes, una cadena montañosa geológicamente joven que produce grandes cantidades de sedimentos. Sin embargo, para lo que no estaban preparados nuestros ríos, sus canales, lagunas, planos de inundación y zonas costeras, era para el incremento acelerado de la erosión y de los aportes de sedimentos debidos a la degradación ambiental de origen humano en sus montañas.



Cuando el naturalista Alexander von Humboldt arribó a América del Sur en 1800 quedó impresionado por la deforestación y erosión en la región del lago Valencia en Venezuela. Humboldt notó que al remover los bosques, los suelos quedaban desprovistos de protección ante las lluvias intensas, las cuales, posteriormente, lavaban los suelos y generaban grandes cantidades de sedimentos.

Fue aquí cuando Humboldt también relacionó la deforestación con la pérdida de la humedad atmosférica y posterior incremento de la temperatura del aire y la disminución de los niveles de agua en el lago. Quizá, fue la primera vez que un científico relacionó la conexión entre impacto humano y cambio climático.



Agenda del Mar

Estimando la erosión en las montañas y el transporte de sedimentos hacia el mar

El aporte de sedimentos en la desembocadura de un río en el mar refleja la sumatoria de todos los procesos de erosión y depositación que ocurren en la cuenca hidrográfica. El suministro de sedimentos desde las cuencas continentales hacia los océanos es determinado, en primera instancia, por la tasa a la cual las áreas fuente son erodadas.

Los factores que controlan estos procesos de aportes sedimentarios incluyen: área de la cuenca de drenaje (superficie del continente que drena el río, expresada en kilómetros cuadrados), clima (balance hidrológico entre precipitación y evaporación), geología (actividad tectónica, tipos de suelos y formaciones rocosas), topografía (relieve) e hidrología (escorrentía, velocidad de la corriente, descarga de agua en metros cúbicos por segundo). Otros procesos que alteran las tasas de transporte incluyen las actividades humanas como la construcción de embalses, cambios en el curso del río, dragado de canales, deforestación, minería y cambios en el uso de los suelos como resultado de prácticas de agricultura y ganadería.

Una forma de ilustrar la cantidad de materiales terrígenos que transportan los ríos al mar es el llamado cálculo de la producción de sedimentos. Este valor se obtiene al dividir la cantidad total de sedimentos en suspensión, -que salen por una sección del río en o cerca de su desembocadura-, por el área total y aguas arriba que drena el sistema hidrográfico. Este valor, expresado en toneladas de sedimentos anual y por unidad de área de drenaje ($t/km^2/año$), refleja cuánto sedimento en suspensión se erosiona por cada kilómetro cuadrado de área continental. Además, es un indicador de la evolución del paisaje, de la variabilidad y el cambio climático, de las variaciones en el uso del suelo y de la magnitud en la erosión continental. La producción de sedimentos o tasa de erosión ha sido reconocida a nivel mundial como un elemento de estudio necesario en todo análisis ambiental de áreas hidrográficas y en la formulación de modelos dinámicos, geológicos y ambientales de áreas continentales y litorales de influencia.

Para ríos de gran magnitud, con grandes áreas de drenaje, existe un aumento de los procesos de depositación de sedimentos. Es decir, hay más

zonas susceptibles para almacenar sedimentos como lagos, ciénagas y planos bajos de inundación en las riberas. En sistemas fluviales pequeños y a medida que el área se reduce, por ejemplo, ríos en zonas montañosas y escarpadas, son pocas las superficies planas y bajas para captar sedimentos. Por lo tanto, la mayoría de los productos derivados de la erosión continental salen al mar, esto como resultado de una pobre vocación para almacenar sedimentos en la cuenca. Como síntesis de lo anterior, algunos ríos que drenan cuencas de tamaño pequeño pueden aportar muchos más sedimentos al mar en comparación con ríos grandes que cubren áreas de mayor proporción en los continentes.

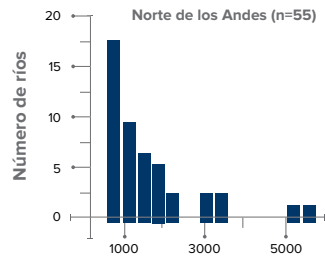
La erosión de la cordillera de los Andes

En el contexto mundial, los ríos con mayor producción de sedimentos a los océanos están situados en Asia, en mayor parte por drenar sistemas montañosos geológicamente jóvenes como los Himalayas, por la intensa erosión debida al uso de los suelos para agricultura, y también, en las islas de Oceanía como producto

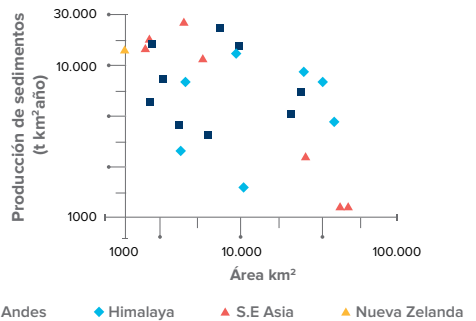


del tamaño reducido de las cuencas, lluvias intensas y alta actividad tectónica. Taiwán es, por ejemplo, uno de los casos más sobresalientes, con ríos que aportan anualmente al océano cantidades de hasta 14 000 toneladas por kilómetro cuadrado de área de drenaje continental.

Hasta hace poco, no se conocían los niveles de erosión de la cordillera de los Andes y cómo se comparaban estas magnitudes de pérdida de suelos en el contexto global y en comparación con los ríos de Asia. Un estudio reciente entre las universidades Eafit y Texas en Austin, publicado en *Geomorphology*, mostró que las cantidades de erosión de ríos en Bolivia y en el Chaco son de la misma magnitud de sistemas drenando los Himalayas, la parte insular de Asia y Nueva Zelandia. En síntesis, los Andes generan hasta 3.3 giga toneladas de sedimentos al año, cantidad que es transportada por los ríos Amazonas, Orinoco, Paraná y el Magdalena. En los Andes del Norte, incluyendo las cuencas de los ríos de Ecuador y Colombia, sus montañas generan un total de 2.25 gigatoneladas al año, para una producción de sedimentos de 2.045 t/km²/año.



PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS (t km²/año)



Estimaciones globales sobre la distribución espacial de los aportes de sedimentos permiten afirmar que las tasas de erosión en la cuenca del Magdalena, con valores máximos entre 1200 y 2200 t/km²/año, pueden catalogarse como muy altas en un contexto mundial (>1000 t/km²/año). Esta característica, la de altas tasas de erosión, puede ser explicada por las características tectónicas, climáticas, propiedades de las rocas y suelos, y de actividades de origen humano que transforman los suelos y ecosistemas. Por ejemplo, los ríos Carare, Opón, Negro y Lebrija drenan suelos derivados de rocas sedimentarias, con pendientes moderadas a fuertes y moderados niveles de precipitación entre 2600-3200 mm/año. Estas condiciones propician altas tasas de transporte de sedimentos ya que los suelos se erosionan con relativa facilidad, con una alta proporción de este material siendo transportado hasta la red drenaje por escorrentía superficial.

Las causas naturales de la erosión en Colombia

Los sedimentos transportados al mar desde las montañas proporcionan el balance para los ciclos biogeoquímicos globales y para la construcción de costas, playas, manglares y principalmente, los deltas.

Uno de los grandes interrogantes científicos al final de los años noventa era entender cómo los ríos cortos y pequeños como los del Pacífico colombiano, incluyendo San Juan, Patía y Mira, construyen los deltas más extensos de todo el Pacífico americano desde Vancouver en el norte hasta Chile en el sur. Uno de los elementos claves para responder esta pregunta estaba en analizar la capacidad de estos ríos para suministrar sedimentos y construir deltas, es decir, la cantidad de sedimentos que aportan al océano y así poder formar superficies planas que le ganan al mar.

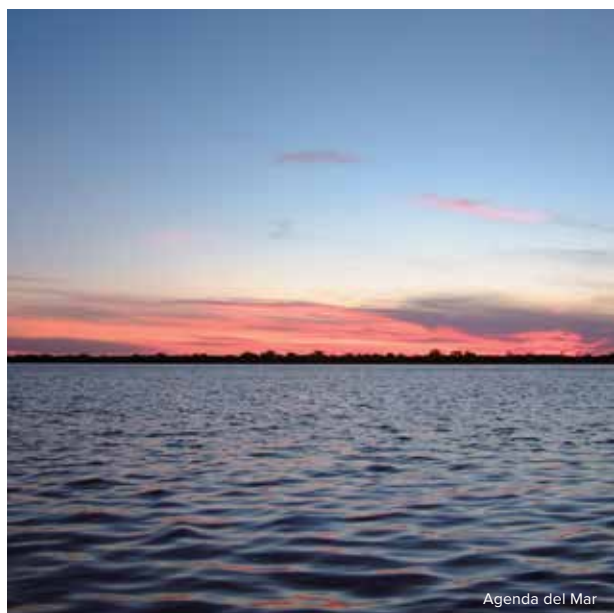
Los ríos de la costa Pacífica de Colombia y el Magdalena, que vierte sus aguas al Caribe, aportan la mayor producción de sedimentos a los océanos entre todos los ríos del continente documentados hasta el momento. Los ríos de la cuenca Pacífica tienen excesivas descargas de agua y sedimentos en relación con el tamaño de sus áreas hidrográficas. El total de descarga de sedimentos es de 110 millones de toneladas por año, valor que refleja una producción total de sedimentos de la cuenca Pacífica de 1434 toneladas por kilómetro cuadrado, anualmente. El río San Juan, con una producción de sedimentos de 1250 toneladas/km²/año representa el valor más alto de aporte de sedimentos al mar de cualquier río en Sudamérica (Amazonas, 190; Orinoco, 150; Paraná, 30 toneladas por kilómetro cuadrado, anualmente). La combinación de factores como pequeñas áreas hidrográficas, altas pendientes (relieve pronunciado) y tasas de precipitación (con valores de hasta 11,000 mm en el bajo San Juan), y la actividad tectónica, con una alta ocurrencia de temblores y terremotos, promueven altas tasas de erosión y aportes de sedimentos al océano Pacífico.

Desde hace más de diez años, científicos del Departamento de Geología de la Universidad Eafit con el apoyo de Colciencias, la Universidad de Colorado y NASA han estado analizando las causas y tendencias (1970-2002) de la erosión en el río Magdalena. Una de las principales preguntas de esta investigación era la de responder por qué las tasas de erosión del río Magdalena (710 ton km⁻² año⁻¹) son las más altas del continente en comparación con los grandes ríos suramericanos como Amazonas (167 ton km⁻² año⁻¹), Orinoco (158 ton km⁻² año⁻¹), Paraná (43 ton km⁻² año⁻¹) y Sao Francisco (10 ton km⁻² año⁻¹). En teoría, varios factores naturales en el Magdalena explicarían estos altos valores: el relieve, expresado en cuencas montañosas con altas pendientes; la gran actividad tectónica; las diferencias espaciales en la composición de los suelos; el clima con altas variaciones de temperatura y rangos de precipitación entre 500 y 6000 mm al año; y la capacidad de transporte de sedimentos de los ríos por los moderados y altos caudales.

El análisis de correlación estadística entre 30 variables hidrológicas, climáticas y morfométricas y la producción de sedimentos, calculadas para 32 sistemas tributarios del río Magdalena, incluyendo el río Cauca, indica que el 58% de la erosión es debida a la escorrentía y al caudal máximo. Además, los ríos colombianos, al ser comparados con ríos tropicales de diferentes partes del mundo, tienen la más baja variabilidad en los caudales promedio anual. En otras palabras, la erosión natural se debe en gran parte al agua disponible cada año para la erosión y el transporte de sedimentos.

La responsabilidad humana en la erosión y en la transferencia de sedimentos al mar

La remoción de la superficie forestal de las montañas colombianas, principalmente durante las últimas cinco décadas, ha generado mayor vulnerabilidad del territorio ante el cambio climático. Y es aquí en donde es fundamental responder la pregunta central: ¿El aumento en la transferencia de agua y sedimentos desde las montañas al mar se debe al cambio climático global o más bien a un impacto regional en la cobertura de los suelos, el cual hace menos resilientes las cuencas y sus ríos ante las variaciones climáticas e hidrológicas?

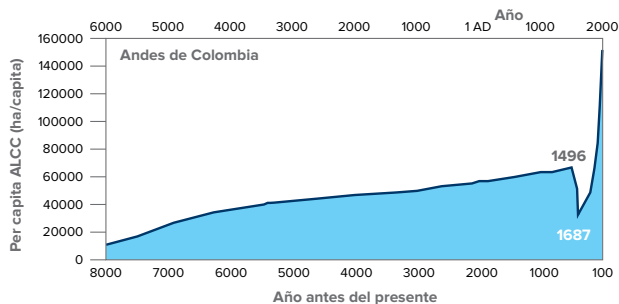


Agenda del Mar

Antes de explorar cómo se relacionan las tasas de erosión históricas en los ríos de Colombia con el cambio en el uso de los suelos, este último expresado en actividades humanas como deforestación, agricultura, minería, urbanización, entre otras, es necesario explorar cuándo comenzamos a transformar el paisaje de nuestras montañas.

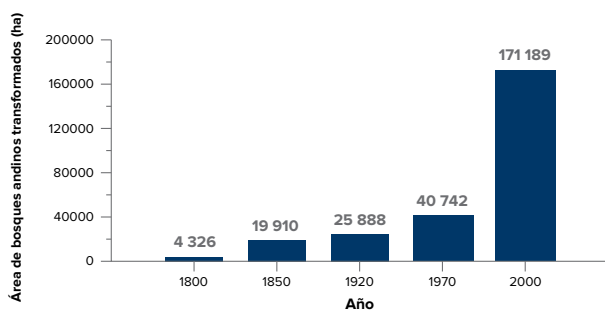
Modelos sobre el comportamiento dinámico de la vegetación en la cuenca del río Magdalena desde el Holoceno (últimos 8000 años) hasta el año 2000, generados por Jed Kaplan del Instituto

Politécnico de Lausana en Suiza, indican que las montañas del país eran un sistema prístino hasta hace aproximadamente 3000 años. Dos mil años más tarde se aprecia un aumento leve en las zonas deforestadas. Sin embargo, entre 1500 y 1600, cuando las poblaciones indígenas sucumbieron al exterminio por parte de los conquistadores españoles, se nota una disminución apreciable en la intervención de los suelos. Hacia el año 1687, el uso humano de los suelos y la deforestación asociada se acelera en los Andes con el aumento de las colonias y ciudades fundadas por los colonizadores españoles.



Áreas de bosques (hectáreas) transformadas por efecto humano en los Andes de Colombia desde el Holoceno (últimos 8000 años) hasta el año 2000 (datos de Kaplan et al., 2010).

Otros estudios confirman esta tendencia sobre la transformación de las cuencas en Colombia hace 500 años (Andrés Etter, Universidad Javeriana). Las áreas deforestadas se incrementaron de 15 millones de hectáreas en 1500 a 42 millones de ha hacia el año 2000. Durante los últimos dos siglos, el área de bosques transformada anualmente se incrementó en dos órdenes de magnitud, de 4330 ha en 1800 a 171 189 ha en el año 2000. Hacia este año, 80% de la vegetación original de los Andes ya había sido deforestada, con un 20% restante en áreas remanentes. En síntesis, 30% de los bosques primarios fueron transformados a un paisaje agrícola en la época de la pre-conquista, aumentando a un 80% de áreas intervenidas en el 2000. El impacto demográfico de la colonización y la introducción de ganado de pastoreo fueron los dos principales agentes del cambio antrópico.



Áreas de bosques (hectáreas) transformadas en Colombia desde 1800 hasta el año 2000 (datos de Etter et al., 2008).

Con base en un estudio reciente entre la Universidad Eafit y la Universidad de Colorado, con fondos NASA para el programa de erosión en cuencas continentales, y publicado en el año 2010 en Journal of Geology, el área de la cuenca del Magdalena con valores críticos de erosión es del 78%. En síntesis, tres cuartas partes de la cuenca andina más grande de los Andes del norte están en estado de erosión, incluso, algunos investigadores lo llaman estado de desertificación.

Los indicadores de deforestación en Colombia son alarmantes. El análisis del cambio en la cobertura forestal de la cuenca del Magdalena entre finales de las décadas de los setenta y noventa indica que aproximadamente el 43% del área de bosques fue talada. Gran parte de estos suelos fueron transformados en áreas de agricultura y ganadería. Igualmente, la evaluación de deforestación realizada por el Ideam entre los años 2005 y 2010 muestran una tasa anual de deforestación de 340 000 hectáreas por año, un área de pérdida forestal similar al área del Departamento del Atlántico.

De acuerdo con el estudio global de cuencas fluviales del Instituto Mundial de los Recursos (WRI, por sus siglas en inglés), la cobertura de bosques en la cuenca del Magdalena era del 90% antes de los asentamientos humanos. Otras evaluaciones sobre la deforestación en el Magdalena han mostrado que las áreas naturales de bosques al año 2000 son del orden del 23% (evaluación de deforestación de TNC *The Nature Conservancy* 2012) y de al menos 10% al año 2005, este último valor basado en el mapa de ecosistemas presentes en la cuenca del Magdalena por el Instituto Humboldt y la Universidad Eafit.

En general, y desde las décadas de los setenta y ochenta, las tasas de deforestación se han incrementado casi exponencialmente sin mostrar ninguna desaceleración en las tres últimas décadas.

Mediante la aplicación del modelo numérico BQART, que combina variables climáticas, hidrológicas, litológicas, morfométricas y del impacto humano por deforestación entre los años 1980 y 2010 –modelo ya implementado para la cuenca del río Magdalena mediante un proyecto entre las universidades Eafit y Colorado-Estados Unidos, con fondos NASA

para la modelación de la erosión continental–, se logró estimar con alta confiabilidad estadística el porcentaje del transporte de sedimentos del río Magdalena debido a la deforestación. El análisis interdecadal de la sumatoria de los aportes simulados de sedimentos indica que durante las tres últimas décadas, un total de hasta 60 millones de toneladas anuales de sedimentos fueron generados por las actividades de tala de bosques. Para las últimas tres décadas 1980-2010, la producción combinada de sedimentos de la cuenca por deforestación es de 1690 millones de toneladas.

En las últimas tres décadas, cerca del 35% de los sedimentos del río Magdalena transportados hacia el mar son debidos a la deforestación. Cada año, el Magdalena transporta 16 millones de toneladas de sedimentos hacia las zonas costeras por deforestación. En otras palabras, el Magdalena lleva en sus “hombros” un río Patía por los efectos del impacto humano.

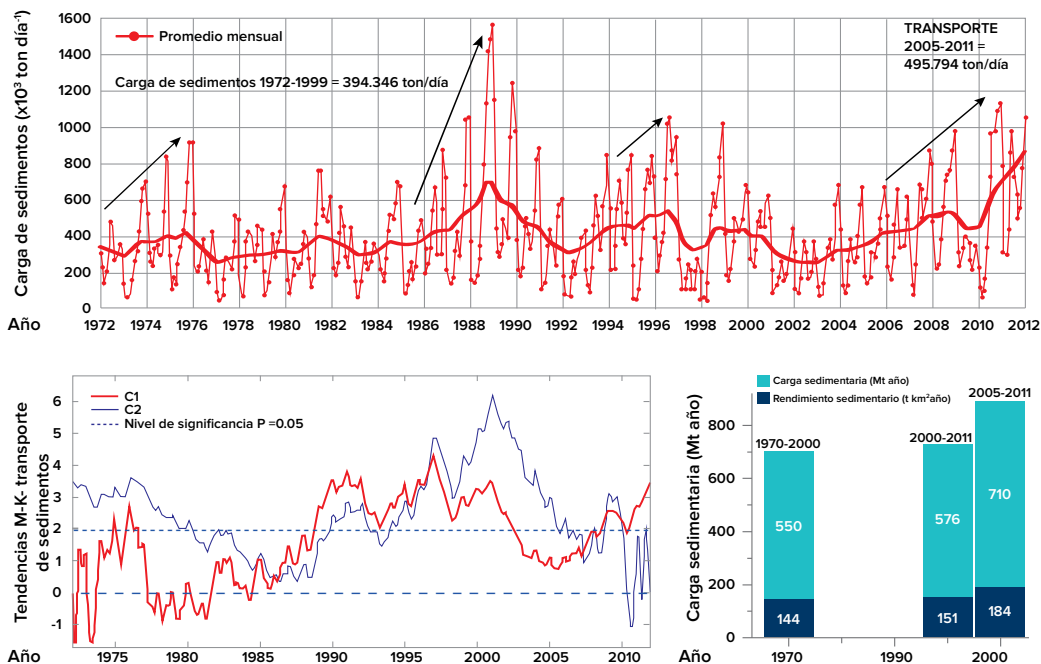
¿En cuánto se ha aumentado la transferencia de sedimentos al mar?

No cabe duda de que la descomposición de nuestros suelos andinos influye en la erosión y en el incremento del transporte de sedimentos de los ríos colombianos hacia el mar, incluyendo su máximo exponente, el Magdalena.

Antes del comienzo del Antropoceno en 1950, el río Magdalena transportaba al mar Caribe menos sedimentos en un orden de magnitud. Cerca de 100 y 150 millones de toneladas no eran transferidas a los ecosistemas litorales, en los cuales existían, hasta hace solo 70 años, condiciones cuasiprístinas.



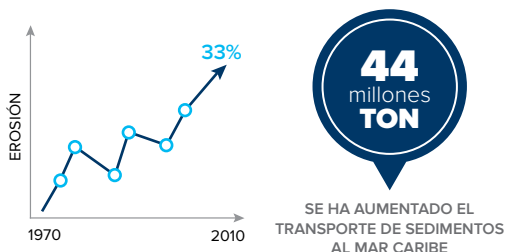
Agenda del Mar



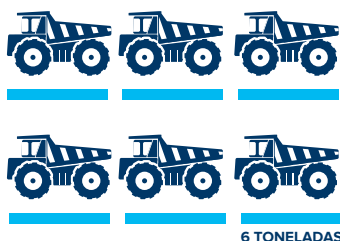
Tendencias del transporte de sedimentos desde las montañas del Magdalena hacia el mar Caribe en las últimas cuatro décadas en donde se observan pulsos interdecadales.

Análisis estadísticos de series interanuales de caudal y sedimentos en el río Magdalena durante los últimos 30 años, visto en su estación aguas abajo, en Calamar, muestran que las tendencias ascendentes en los aportes fluviales, caudal y sedimentos, fueron todas estadísticamente representativas. De hecho, las tendencias de los aportes fueron mucho más pronunciadas para el periodo 2005-2011. Por ejemplo, el caudal promedio de 7.156 m³/s para el periodo 1940-1999, se incrementó a 8.833 m³/s entre los años 2005 y 2011, un aumento de 1.677 m³/s o del 24% con respecto al promedio interanual de la serie completa 1940-2011. En relación con el transporte de sedimentos, estas tendencias ascendentes fueron igualmente representativas, mostrando un aumento de 100 000 toneladas/día para el periodo 2005-2011 en relación con el promedio 1972-2000. Entre 2005 y 2011, el transporte anual del Magdalena hacia las zonas litorales y ecosistemas marinos se ha

incrementado en un 33% con respecto al promedio 1970-2000, es decir, un aumento de 44 millones de toneladas/año. Este ascenso en el transporte coincide con las tendencias ascendentes de deforestación en Colombia para los años 2005-2010.



Incrementos de la erosión en las montañas ha causado aumentos en el transporte de sedimentos hacia el mar Caribe del orden de 44 millones de toneladas cada año (cortesía proyecto Basic).



Al convertir el transporte de sedimentos anual del Magdalena en Calamar en número de volquetas de seis toneladas, dado un valor específico de densidad de los sedimentos, el Magdalena transporta en Calamar **15 MILLONES DE VOLQUETAS ANUALES O 40.000 VOLQUETAS/DÍA, PARA UN PROMEDIO DE 1650 VOLQUETAS/HORA.**



DEFORESTACIÓN >70%



**10-30% INCREMENTO
DE SEDIMENTOS**



La deforestación en las montañas es responsable de hasta un 30% del total de sedimentos que llegan hasta los ecosistemas marinos (cortesía Basic).

Análisis con ciencia de alto nivel, en los ecosistemas marinos de la región de Cartagena, indican que cerca de una tercera parte de la degradación de los activos ambientales de la bahía y de ecosistemas cercanos es debida a los aportes de sedimentos, caudal, nutrientes y contaminantes desde las montañas y ciudades del centro del país, a través del río Magdalena y el Canal del Dique.

LA DEFORESTACIÓN DE LAS MONTAÑAS DE COLOMBIA: ¿ES MÁS GRAVE DE LO QUE CREEMOS?

Juan D. Restrepo Ángel, Ph.D.

Profesor e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra y Director del Grupo de Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Eafit. Profesor y científico visitante en las Universidades de Colorado y Texas en Austin (Estados Unidos) y en el Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de Algarve, Portugal. Miembro Correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Las tasas de deforestación oficiales podrían ser solo una pequeña fracción de la deforestación real. Análisis basados en imágenes satelitales Landsat revelan que, en lugar de disminuir, lo que está ocurriendo es una preocupante aceleración de la tala de bosques tropicales.



Un informe sobre deforestación publicado por la Revista The Economist en el año 2014 concluye que los bosques son más valiosos muertos que vivos. Dicho de otro modo, las tierras son más rentables en pastos y cultivos que en bosques vírgenes. En la Amazonia, una hectárea de soya es más rentable que un bosque prístino. El cálculo de los beneficios económicos de los bosques en términos de captura de carbón, control del ciclo hidrológico, limpieza del agua y zonas de biodiversidad es todavía un reto de la ciencia económica ambiental.

Las montañas de los Andes colombianos eran un sistema prístino hace 3000 años. Hacia finales del siglo XVII, el uso humano de los suelos y la deforestación asociada se acelera en los Andes con el aumento de las colonias y ciudades fundadas por los colonizadores españoles (Jed Kaplan, Instituto Politécnico de Lausana en Suiza). Desde hace 500 años, las áreas deforestadas se incrementaron de 15 millones de hectáreas en 1500 a 42 millones de hectáreas hacia el año 2000 (Andres Etter, Universidad Javeriana).

La transformación de los suelos montañosos de Colombia ha sido exponencial en las últimas tres décadas. Para la cuenca del río Magdalena, donde se concentra el desarrollo económico del país, más del 80% de los bosques primarios ya habían sido transformados hacia el año 2000. De hecho, en un periodo de dos décadas entre 1980 y 2000, más del 43% de los bosques fueron talados en los Andes centrales del país.

Quizás, el periodo más crítico que ha vivido el país en términos de deforestación es en los últimos 15 años. Las tasas de deforestación con las cuales ha contado el país se han obtenido con grandes esfuerzos tecnológicos por parte del Ideam, dentro del programa global RED (Reducing Emissions due to Deforestation). El cálculo de deforestación está basado en imágenes satelitales Modis, que cuentan con una resolución temporal diaria pero con una resolución espacial de 200, 500 y 1000 metros, dependiendo de la banda espectral. Esta última condición hace que el pixel de estimación sea menos preciso espacialmente.



Agenda del Mar

La evaluación de deforestación realizada por el Ideam entre 1990 y 2010 muestra una tasa anual de deforestación de 310 000 hectáreas, un área de pérdida forestal similar al departamento del Atlántico. El 40% de esta deforestación ocurrió en la Amazonia y el 32% en la región andina. La pérdida total de bosque para las dos décadas fue de 6 200 000 hectáreas, aproximadamente el 5,4% de la superficie continental del país. Cerca del 56% del área de bosques fue transformada en pastos para ganadería mientras que otro 10% fue ocupado por cultivos agrícolas. Según el Ideam, la ganadería ocupa el 38% de la superficie del país, con menos de una cabeza de ganado por hectárea. La expansión del área ganadera en los Andes colombianos durante los últimos 50 años ha sido de 15 millones a 40 millones de hectáreas. Debido a las limitaciones de medir deforestación a partir de imágenes satelitales Modis, las mencionadas tasas de deforestación del Ideam

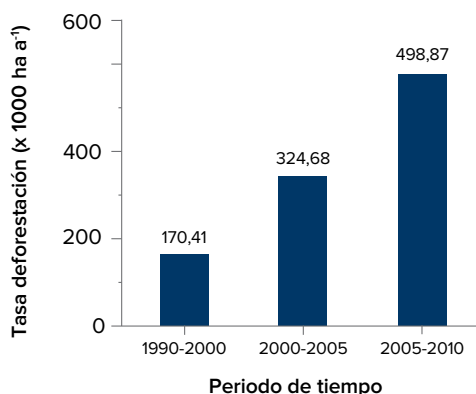
entre 1990-2010 podrían ser solo una pequeña fracción de la deforestación real. Y esta hipótesis está basada en el estudio de Do-Hyung Kim y colaboradores en un convenio entre la Universidad de Maryland (Global Land Cover Facility-GLCF) (www.landcover.org) y el Centro Espacial Goddard de NASA. El estudio, publicado en la prestigiosa revista científica *Geophysical Research Letters*, estima el área forestal y sus cambios espaciales en 34 países tropicales que albergan el 80% de los bosques húmedos tropicales del planeta. El análisis para un periodo de 20 años entre 1990 y 2010, basado en más de 5000 imágenes satelitales Landsat con un pixel de resolución espacial de 30 metros, indica que al contrario de los que muestran las estadísticas de los países y los informes de la FAO-Naciones Unidas, de que la deforestación de bosques tropicales disminuyó, los resultados muestran una aceleración preocupante de la tala de bosques tropicales entre 2000 y 2005.

Al analizar detenidamente los datos para Colombia en el periodo 1990-2000 (Kim et al., 2015), la deforestación pasó de 170 000 hectáreas en la década 1990-2000 a 325 000 hectáreas en el periodo 2000-2005, y posteriormente a 500 000 hectáreas entre 2005 y 2010. De hecho, de todos los países latinoamericanos, Colombia, después de Brasil, es el segundo país con mayor deforestación de la región.

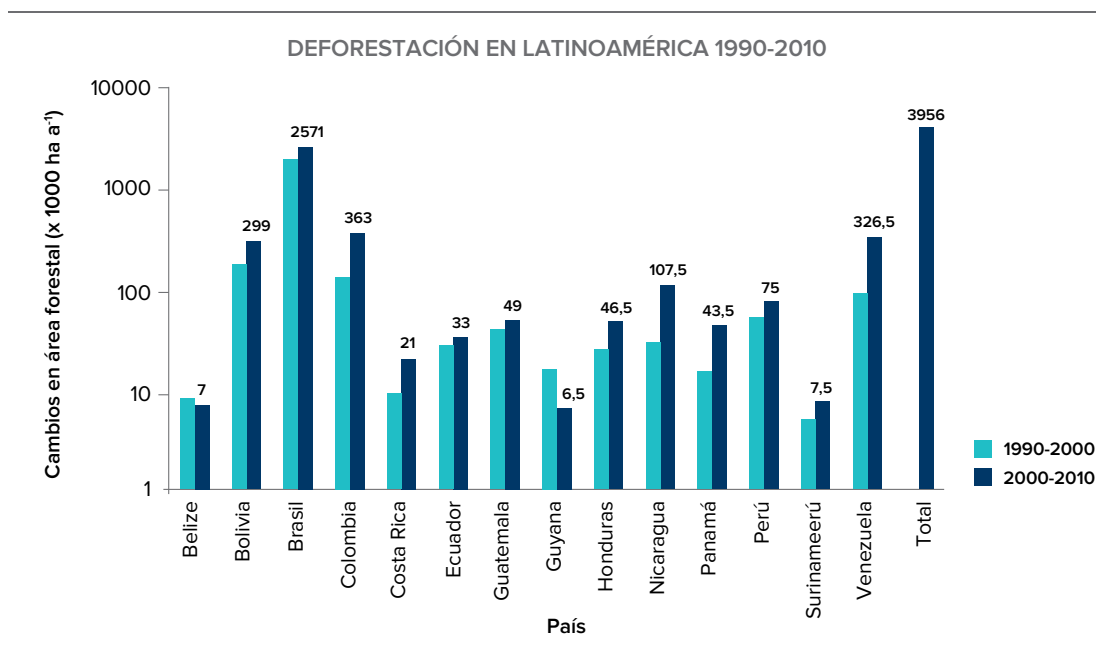


Agenda del Mar

DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA 1990-2010



Tasas de deforestación para Colombia entre 1990 y 2010.



Tasas de deforestación para países latinoamericanos (datos del estudio de Kim et al., 2015, Geophysical Research Letters).

Este breve análisis muestra que la magnitud de la deforestación en Colombia durante la última década es más preocupante de lo pensado y que las cifras estimadas en el país son muy conservadoras.

Un estudio de deforestación con tecnología de “punta” en los 34 países tropicales que albergan el 80% de los bosques húmedos indican que Colombia está en los primeros cinco lugares con mayor deforestación. Al comparar las cifras nacionales con las de este estudio (Kim et al., 2015), la deforestación del país estaría en un 145% más que lo estimado a nivel nacional por las autoridades ambientales (Restrepo et al., 2015).

En este enlace usted puede observar la magnitud de la deforestación en Colombia entre 2000 y 2014: <https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest>



Diez millones de árboles con el proyecto ReverdeC

ReverdeC es un gran proyecto de restauración de cuencas hidrográficas realizado por Celsia y Epsa, con el apoyo de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), con el cual se busca sembrar árboles nativos en los municipios de ese departamento. A través de ReverdeC se busca compensar la huella de carbono, generada por los gases de efecto invernadero emitidos por el consumo de energía de los hogares y los clientes institucionales atendidos por Epsa. De igual manera, se busca proteger las cuencas abastecedoras de agua potable y mejorar las condiciones socioeconómicas de las comunidades beneficiarias del proyecto.

Ya se cumplió la promesa del primer año: llegar a un millón de árboles sembrados en 1.407 hectáreas de 19 municipios del Valle del Cauca. Gracias a estas siembras, se pudieron proteger 20 cuencas hidrográficas, que son las principales fuentes de agua dulce de la mayoría de los municipios y las que mantienen la biodiversidad e integridad de los suelos.

Cumplir esta meta de sembrar un millón de árboles en 2017 fue posible gracias a las comunidades de la región, quienes participan en las siembras y en los mantenimientos de las zonas reforestadas y también a un grupo que aliados que se unieron a este proyecto: el Sena, el Comité de Cafeteros, el Fondo del Agua por la Vida, el proyecto Ganadería Colombiana Sostenible Fedegan y la Gobernación del Valle.

“Estamos orgullosos y felices de cumplir con el primer millón de árboles y continuaremos trabajando para que en 9 años cumplamos con la gran meta de los 10 millones de árboles. Pero lo más importante es que cada árbol que sembramos pertenece a una especie nativa de la región y siete de estas especies que sembramos son especies amenazadas, por lo que estamos haciendo un gran aporte a la conservación de los bosques”, afirmó Ricardo Sierra, líder de Celsia, empresa de Energía de Grupo Argos.



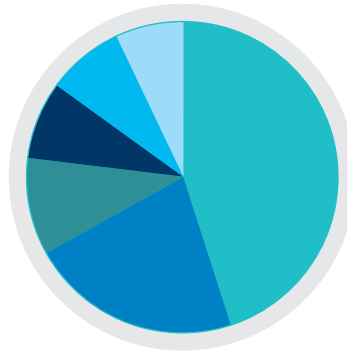
Tatiana Solórzano Amaya

Datos complementarios de deforestación en Colombia

44%

aumentó la deforestación en Colombia entre 2015 y 2016, al pasar de 124.035 hectáreas en 2015 a 178.597 hectáreas en 2016.

CAUSAS DE LA DEFORESTACIÓN EN COLOMBIA



- Acaparamiento de tierras
- Cultivos ilícitos
- Infraestructura
- Incendios forestales
- Ganadería extensiva
- Minería

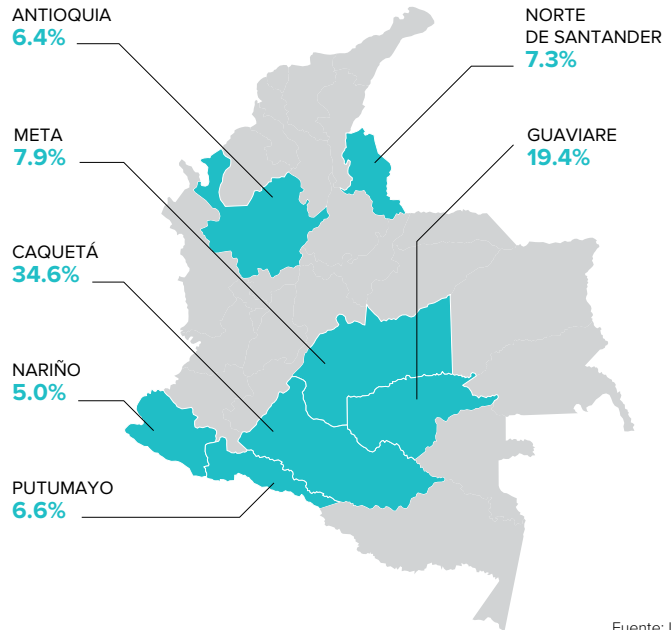
Departamentos más afectados por la deforestación (primer trimestre de 2017)

CADA HORA

se deforestan en Colombia 20 hectáreas, un área similar a 40 canchas de fútbol (de 100 m por 50 m).

68%

En total estos siete departamentos concentran el 68% de las alertas de deforestación.



Fuente: Ideam

MERCURIO: EL METAL QUE PUSO AL MUNDO DE ACUERDO

Paula A. Rodríguez Vargas

Ingeniera Ambiental de la Universidad de los Andes con Maestría en Calidad del Aire de la misma universidad. Especialista en Impactos sectoriales de WWF, donde trabaja en temas de contaminación con mercurio en zonas mineras y en temas de sostenibilidad urbana.

Carolina Escallón Wey

Comunicadora Social y Periodista de la Universidad de La Sabana. Consultora en Comunicaciones de WWF para proyectos relacionados con conservación de biodiversidad en el Pacífico y la Orinoquía.

Usado para la extracción de oro y presente en termómetros y bombillos fluorescentes, el mercurio es un enemigo mortal y silencioso. Así opera esta amenaza global que acarrea negativas consecuencias para la salud y el ambiente.



El 29 de abril de 2017 la Corte Constitucional falló la Sentencia T-622 de 2016 que insta al Gobierno Nacional a proteger el río Atrato frente a amenazas como la contaminación por mercurio, convirtiéndolo en el tercer río a nivel global en ser sujeto de derechos.



Río Atrato-Agenda del Mar

La bahía de Minamata en Japón es tristemente célebre por ser el lugar donde por primera vez se evidenciaron las graves consecuencias para la salud que genera el mercurio y cómo su contaminación se da a través de la cadena alimenticia. Se trató de un problema de salud pública nunca antes documentado. El mercurio es ampliamente reconocido como un contaminante global que no tiene ninguna función fisiológica para el cuerpo humano y en cualquiera de sus formas es tóxico para los organismos vivos y el ambiente. Es el único metal que se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente y ha sido utilizado por el hombre durante siglos en procesos industriales.

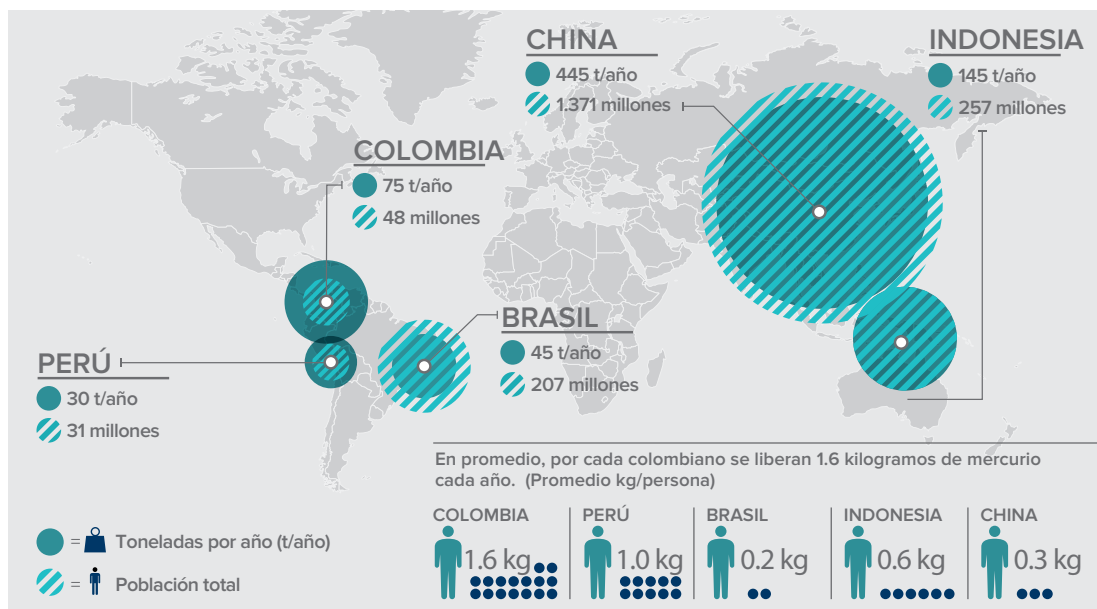
Sin embargo, fue en los años setenta cuando en Japón comenzó a evidenciarse una enfermedad que causaba desórdenes motrices y afectaba especialmente a mujeres embarazadas y niños. Se denominó la enfermedad de Minamata y su origen fue la contaminación con metilmercurio (forma orgánica del mercurio) realizada por la empresa Chisso entre 1932 y 1969. Según el gobierno japonés, a 2013 sufrían de esta enfermedad 2.977 personas y más de 11.000 recibieron compensaciones por afecciones a su salud.

Hoy, Minamata es también el nombre del convenio internacional a través del cual se busca la eliminación del uso del mercurio, al entender que este metal representa una amenaza global por sus consecuencias devastadoras para la salud y el ambiente. Más de 80 países ya lo han ratificado, incluyendo a China, el país que más libera este metal al ambiente: 445 toneladas anuales. Colombia, por su parte, libera 75 toneladas anuales, siendo el país que más mercurio libera per cápita, lo cual equivale a que por cada colombiano se descargan al ambiente 1,6 kg de mercurio anualmente. Este mismo cálculo en el caso chino equivale a 0,3 kg.

Si bien este elemento seguirá estando presente en el planeta como parte de las erupciones volcánicas, como un componente del carbón y en otros procesos naturales, se busca que no haga parte de las actividades humanas como la extracción de oro, ni se produzcan elementos con mercurio añadido, como los termómetros o los bombillos fluorescentes.

Aunque en sí mismo es un gran logro que los países decidan hacer frente al mercurio de manera coordinada y colaborativa, apalancados con un fondo específico de recursos que prevé el Convenio, el camino por recorrer es desafiante. No solo se trata de las reglamentaciones internas que cada país debe tramitar, las reconversiones tecnológicas que deberán incorporar las industrias, sino también hacer frente a los sitios contaminados, tratar a quienes

ya están afectados en su salud e incluso luchar contra economías ilegales como las asociadas a la extracción del oro. Este último es uno de los desafíos más relevantes, pues se trata de evitar que toneladas de mercurio sean vertidas a los ríos, afectando la flora, la fauna y en general todos los ecosistemas a su paso hasta llegar al mar, y con esto a todas las comunidades ribereñas de pescadores y a todos aquellos que consumimos pescado de río y de mar.



Cálculos propios, basados en información del libro: Mercury fate and transport (2009), capítulo 6, Veiga, Marcello y Telmer, Kevin H. Nota: Los autores calculan las liberaciones de mercurio, asumiendo que el total del mercurio empleado en la minería de oro a pequeña escala equivale al mercurio liberado al ambiente. Datos de población consultados en datos.bancomundial.org

La situación en el Pacífico colombiano

Basta con llegar a cualquier municipio del Pacífico para darse cuenta de que los ríos son un elemento indispensable para sus habitantes. Aunque en cualquier territorio dependemos del agua para subsistir, en esta zona los afluentes son además el eje estructurante de uno de los ecosistemas con mayor biodiversidad por hectárea del planeta, sirven como medio de transporte y tienen una relevancia

cultural indiscutible. Es fácil estar en Bogotá y jamás ver el río que lleva su nombre, pero es imposible llegar a Quibdó sin ver el alucinante río Atrato.

Sin embargo, el Atrato y muchos de sus afluentes están amenazados: además de las masacres y tragedias que sus aguas han presenciado, ahora enfrentan los estragos de un enemigo mortal y silencioso, el mercurio utilizado en la extracción de oro.

En el Chocó más del 90% de la minería del oro no cuenta con título minero ni licencia ambiental y la mayoría es extraído sin tener ningún criterio sobre sus repercusiones al ambiente. Para su extracción se utiliza el mercurio, que se mezcla con los sedimentos de los ríos buscando crear una amalgama mercurio-oro. Este metal tóxico se utiliza de forma indiscriminada, sin ningún cálculo certero del oro presente, ni tampoco del mercurio necesario; existe la falsa creencia de “entre más mercurio, más oro”. Posteriormente, la amalgama es llevada a lugares de fundición donde se somete a altas temperaturas para evaporar el mercurio y recuperar el oro.

La minería artesanal que se hacía para la subsistencia de las comunidades del Pacífico colombiano ha sido reemplazada por la extracción descontrolada con maquinaria pesada como retroexcavadoras y dragas de gran calado. Este último modo de explotación se ha incrementado en la última década debido principalmente al aumento de los precios del oro a nivel internacional y a la falta de control de esta actividad.

Las llamadas dragas son construcciones hechas que navegan por los ríos succionando los sedimentos para ser mezclados con el mercurio. Este proceso es ineficiente y gran parte del mercurio que se utiliza termina en el fondo del río. Allí, bacterias especializadas transforman el mercurio metálico en metilmercurio, la forma que puede ser bioacumulada en los organismos vivos. El zooplancton y fitoplancton capturan este metilmercurio dejándolo disponible para ingresar en la cadena alimenticia. En este proceso, los peces más pequeños consumen el metilmercurio del plancton y los sedimentos y, luego, los peces carnívoros consumen peces pequeños bioacumulando el mercurio consumido con anterioridad por estos y así sucesivamente. Este proceso se conoce como biomagnificación. En el tope de la cadena están los humanos, lo cual implica que a nuestro cuerpo ingresa todo el mercurio que se ha consumido a través de la cadena, dando como resultado posibles concentraciones elevadas del metal.

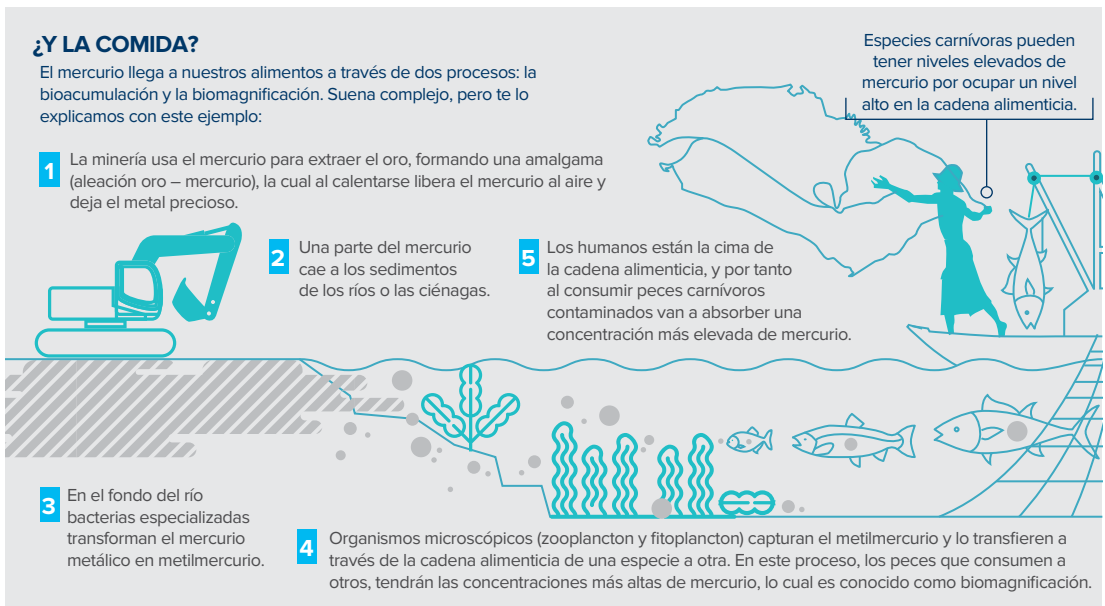


Diagrama de la bioacumulación y biomagnificación del mercurio en ambientes acuáticos.

Esta es una de las vías a través de las cuales el mercurio llega al cuerpo humano, pero no la única. Cuando el mercurio es evaporado en el proceso de fundición, este queda en el aire y es respirado, lo cual afecta no sólo a las personas que están en la fundidora o cerca de ella, sino que el vapor de mercurio puede viajar libremente por todo el planeta y caer junto con la lluvia en cualquier otro lugar del globo.

La magnitud del problema

En una zona donde lo que abunda, además de la biodiversidad, es la falta de oportunidades laborales y con un precio del oro cercano a los 40.000 dólares por kilo (precio según el Banco de la República en octubre de 2017), muchos mineros foráneos han llegado al Chocó con promesas de enormes riquezas. Sin embargo, lo que han dejado a su paso es a la población más vulnerable que antes: el cauce de algunos ríos casi ha desaparecido como ocurre en el río Quito, y la principal fuente de proteína, el pescado, escasea por la alta sedimentación y adicionalmente puede estar contaminado con mercurio. En algunos casos, la extracción se hace con apoyo de las comunidades, pero en otros, estas estructuras llegan a sacar el oro sin pedir permiso.

El uso de dragas ha devastado varios ríos en el Chocó, entre ellos, el río Quito. Para ejercer un control adecuado de la minería de oro, y el uso de mercurio, se requiere una acción integral, efectiva y coordinada de la institucionalidad, tanto nacional como regional y local, y acciones internacionales como las que propone el Convenio de Minamata.



Jesús Oliveros

Teniendo en cuenta que la minería de oro es el proceso que más mercurio emplea y que el Pacífico colombiano es una zona de alta importancia para la biodiversidad, en 2016 se realizó una evaluación del estado de la contaminación por mercurio en diversas matrices ambientales en la cuenca del río Atrato. Esto, en el marco del Proyecto GEF Conservación de la biodiversidad en paisajes impactados por la minería en el Chocó biogeográfico, con participación de WWF Colombia, la Universidad de Cartagena y el Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico-IIAP. Los datos del estudio buscan ser un insumo para la toma de decisiones por parte de las autoridades respecto a esta problemática que amenaza los bosques, los cuerpos de agua y al ecosistema en general, así como a los habitantes de la región.

Se tomaron 261 muestras de peces en el río Atrato, 50 muestras de sedimentos en el mismo río, se hicieron 14 mediciones del aire en distintos lugares de Quibdó y fueron analizadas 357 muestras en cabello humano: 245 en habitantes de Quibdó y 112 en Paimadó.

Si bien este estudio no es representativo poblacionalmente y, por tanto, no debe entenderse como un análisis exhaustivo de la contaminación por mercurio en el río Atrato, es un insumo valioso para que las autoridades competentes realicen análisis de mayor alcance y profundidad. Otras entidades públicas y universidades han llevado a cabo estudios similares en varias regiones del país, que también sirven como referente.

Los resultados revelan que la población de Quibdó está expuesta a la contaminación por mercurio a través del consumo del pescado contaminado y al respirar aire con altas concentraciones de este metal. Debe tenerse en cuenta que la magnitud de los efectos tóxicos del mercurio dependen de varios factores: la dosis recibida, la forma química del metal, la vía y el tipo de exposición (aguda o crónica). Para cada caso, las autoridades ambientales y de salud deben ofrecer respuestas oportunas para los casos donde se

ha identificado una medición que sobrepasa los límites recomendados como seguros por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

Las muestras de cabello recolectadas en los sitios de muestreo fueron totalmente aleatorias e involucraron personas de distinto género, edad y ocupación. Los participantes se vincularon de manera voluntaria, firmando previamente un consentimiento informado. El proceso de toma de las muestras fue realizado siguiendo las pautas nacionales e internacionales de bioética.

Los resultados de los análisis de mercurio total en muestras de cabello humano en Quibdó y Paimadó fueron de 6,72 partes por millón (media), y 0,87 partes por millón (media), respectivamente. Según la Environmental Protection Agency (EPA) de Estados Unidos, la concentración máxima segura de mercurio para humanos es de 1 parte por millón (ppm) y ninguna persona debería tener una concentración superior a esta. Por su parte la OMS establece que la concentración máxima permisible de mercurio en cabello no debe superar 2 ppm.



Carolina Escallón

Teniendo como referencia la concentración de 1 ppm, el 53% de las personas muestreadas en Quibdó sobrepasaron el límite aceptado a nivel internacional como seguro, el 19,3% presentaron niveles de mercurio superiores a 10 ppm y el 3% presentaron niveles mayores de 40 ppm. Los resultados encontrados en Quibdó pueden ser considerados como altos en comparación con los reportados en otras áreas mineras del país.

En cuanto a los peces, se realizaron muestreos en diferentes ubicaciones sobre el río Atrato en 11 puntos desde Negua hasta Marriaga, abarcando sitios de tradición pesquera, ciénagas y afluentes cercanos a poblaciones ribereñas. Se recolectaron un total de 261 especímenes con la ayuda de pescadores locales.

En músculo de pescado fueron encontradas concentraciones elevadas de mercurio en cinco especies carnívoras consumidas frecuentemente por la población (bagre sapo, doncella, beringo, barbudo y quicharo). Estas sobrepasan el límite máximo recomendado para mercurio (0,5 ppm de acuerdo con la EPA), lo que podría

representar un riesgo a través de su ingesta. También se identificaron especies con niveles bajos de mercurio como el boquipompo, el guacuco, el dentón y el bocachico.

Respecto a las muestras de aire, fueron tomadas mediciones en 14 lugares en Quibdó, incluyendo sitios de venta de oro donde realizan el proceso de fundición y en donde se presentaron las concentraciones más altas. Debe tenerse en cuenta que en el momento de la medición del mercurio en aire, ningún horno estaba en actividad. Se registraron concentraciones superiores a los 22.000 ng/m³, que resulta en exceso elevada si se tiene como referencia la recomendación de la OMS de no sobrepasar los 1.000 ng/m³. En cuanto a las muestras de sedimentos tomadas en diferentes puntos del río Atrato, se identificaron bajos niveles de mercurio, con muy poca variabilidad entre puntos de muestreo. Las concentraciones más altas (>0,10 ppm) en sedimentos fueron encontradas en la desembocadura del río Quito, en el río Puné y sobre el río Atrato a la altura de la población de Buchadó y antes del municipio de San José.



Lo que viene

El reto es grande y la urgencia, innegable. Por ello, se requieren medidas integrales y cuya velocidad de implementación sea consistente con los daños. En primer lugar, Colombia debe ratificar el Convenio de Minamata e implementarlo junto con las demás leyes y regulaciones que ya se han expedido, como la Ley 1658 de 2013 que establece la prohibición del uso de mercurio a partir del 2018 en la minería y en 2023 en la industria.

Con la ratificación, el país podrá obtener ayuda financiera y técnica para enfrentar la contaminación por mercurio, asegurar controles a la importación de este metal y de productos con mercurio añadido, y tener veeduría internacional para eliminar su uso, entre otros beneficios.

Además, es necesario realizar inversiones para estudiar cómo se está moviendo el mercurio, pues su comportamiento y efectos aún no han sido dimensionados ni cuantificados, y definir cuál será la mejor forma de extraerlo de los ríos. También es urgente encontrar alternativas económicas distintas a la minería en zonas cuya vocación debería ser el uso sostenible de la biodiversidad. Todo esto sin analizar aun, el efecto del río contaminado al llegar a zonas costeras o su efecto en los peces migratorios y también el impacto en asentamientos humanos.

Teniendo en cuenta que la ingesta de peces contaminados constituye una vía importante para la introducción del metilmercurio en el organismo humano, aunque no la única, se recomienda a la población estar informada sobre las alertas sanitarias que realicen las autoridades de vigilancia y control para prevenir y evitar consumir pescado contaminado.

El llamado es a actuar con efectividad ante un problema global que tiene expresión local en nuestro país. Una visión de largo plazo nos permitirá comprender que el verdadero oro de zonas biodiversas como el Pacífico, son sus servicios ecosistémicos y el potencial de hacer un aprovechamiento sostenible de productos forestales no maderables como frutos, semillas o raíces que son anhelados por la industria y la ciencia. En definitiva, la naturaleza es la única riqueza que garantiza nuestra supervivencia en el planeta.

Desde que aumentó el precio del oro en 2009, la minería ilegal de este metal se multiplicó en el país, de modo que 52 de las 60 toneladas de oro producidas en 2016 se extrajeron sin título minero ni licencia ambiental, utilizando muchas veces maquinaria pesada como la que se observa en la foto.



Jesús Oliveros

¿CUÁNTA CONTAMINACIÓN HAY EN EL PESCADO QUE COMEMOS?

Andrea Luna Acosta, Ph.D.

Profesora e investigadora del Departamento de Ecología y Territorio de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales y Directora del Semillero de Investigación Aquasistemas de la Pontificia Universidad Javeriana. Profesora y científica visitante en la Universidad de La Rochelle (Francia), la Universidad de Bordeaux (Francia), el Centro de Documentación, Investigación y Experimentación sobre la Contaminación Accidental de las aguas (CEDRE, Francia), la Universidad del País Vasco (España) y el Smithsonian Tropical Research Institute -STRI (Panamá). Miembro de la Sociedad Iberoamericana de Contaminación y Toxicología Ambiental -SICTA- y de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental -SETAC.

Susana Caballero, Ph.D.

Profesora e investigadora del Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias y Directora del Laboratorio de Ecología Molecular de Vertebrados Acuáticos -LEMVA. Profesora y científica visitante en University of Auckland (Nueva Zelanda), University of California (Estados Unidos), Edith Cowan University (Australia), University of Waikato (Nueva Zelanda), Ohio State University (Estados Unidos), Hatfield Marine Science Center (Estados Unidos), San Francisco State University (Estados Unidos) y Universidade Federal do Amazonas (Brasil).



Actualmente, la calidad de la pesca se está viendo afectada por la contaminación en el mar y las causas principales son la mala disposición de residuos o de vertidos y la falta de tratamiento de muchos compuestos químicos que pueden no solo afectar la salud de los ecosistemas sino también terminar en nuestros platos, lo que puede llegar a afectar a largo plazo nuestra salud y la de nuestros seres queridos.

Los océanos se han visto cada vez más afectados por problemáticas ambientales como la sobrepesca, la contaminación, la introducción de especies exóticas y el cambio climático que ponen en riesgo la sostenibilidad de los seres vivos y de los ecosistemas marinos. El crecimiento poblacional, y en consecuencia, el incremento de la demanda tanto en agua como en productos alimenticios extraídos de los mares han generado también una grave crisis a nivel mundial dada la falta de recursos y políticas de control en la explotación de los mares, que regulen actividades como la pesca y el consumo del agua para actividades industriales, agrícolas y domésticas. Se hace urgente tomar medidas al respecto si no queremos que se vea afectada nuestra salud.

El origen de la contaminación marina

El 80% de la contaminación marina proviene de actividades humanas en tierra (UNEP, 2000).

Actividades industriales, agropecuarias y domésticas contribuyen fuertemente a la presencia de metales pesados y de otros contaminantes químicos y biológicos en el mar. Dentro de las actividades industriales, las que más contribuyen a la presencia de metales pesados en el mar son: la metalurgia, la electroquímica, el uso de combustibles fósiles, la fabricación de baterías, la fabricación y uso de pinturas, la combustión del carbón, entre otras. En las agropecuarias, el uso de abonos, fertilizantes y plaguicidas que contienen metales pesados también influyen en la presencia de estos compuestos en el mar. Incluso en nuestras actividades domésticas, el uso de tuberías de plomo, de balines, o la disposición inadecuada de desechos orgánicos participan en la presencia de metales pesados y de otros contaminantes químicos y biológicos en el mar.



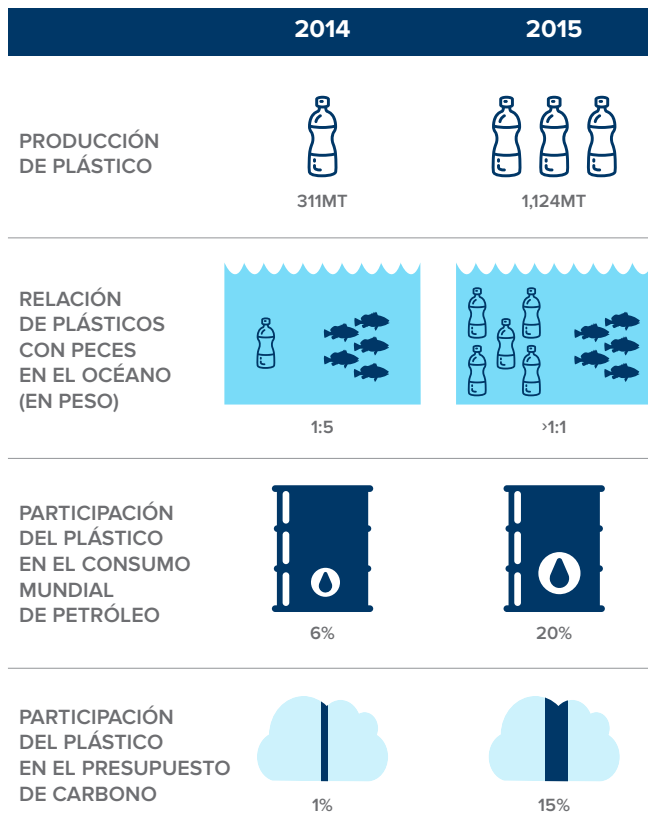
Robinson Henao

¿Cómo los seres humanos afectan la salud de los ecosistemas marinos?

De las bolsas de plástico a los pesticidas, la mayoría de los desechos que producimos en la tierra finalmente son liberados en el ambiente. De ahí, pueden viajar por largas distancias en el aire y el agua, incluyendo las corrientes oceánicas. Esto incluye el petróleo, las grasas y aceites, los fertilizantes, los plásticos y otras basuras sólidas, las aguas residuales y los químicos tóxicos.

El petróleo puede llegar a sofocar la vida marina hasta asfixiarla por completo, y ha llevado a cambios en el comportamiento y a una falla en el aislamiento térmico de aquellos organismos que sobreviven. En términos generales, puede llegar a cambiar todo el ecosistema de un área afectada, ya sea una costa o un océano profundo.

Aunque los derrames de petróleo sean responsables de un 12% del petróleo que entra en los mares cada año, una gran parte (el 36%) viene de desechos y escorrentías de las ciudades y de la industria (TRB & NRC, 2003). Los nutrientes de los fertilizantes están provocando la aparición de “zonas muertas” en los océanos. El plástico se ha convertido en la fuente principal de contaminación en los océanos y el Foro Económico Mundial estima que para el 2050 habrá más plástico que peces en el mar si no se hace algo al respecto (WEF, 2014). Por otro lado, cada vez hay más pruebas de que una serie de sustancias químicas hechas por el hombre pueden afectar la salud de los ecosistemas marinos, llegando a provocar una pérdida importante de su biodiversidad.



Estimación de la cantidad de plástico que habrá para el 2050. Fuente: World Economic Forum, 2014

El escurrimiento de fertilizantes de las granjas y céspedes es un problema enorme para las áreas costeras. Los nutrientes que llegan de esta manera provocan un desarrollo descontrolado de algas, lo que agota el oxígeno disuelto en el agua y termina sofocando otra vida marina. A este fenómeno se le llama eutrofización. La eutrofización ha creado en varias partes del mundo, incluyendo el golfo de México y el mar Báltico, enormes “zonas muertas”, llamadas así debido a sus muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua.

La basura plástica, que se descompone muy lentamente, es a menudo confundida con comida por los animales marinos. Se han encontrado altas concentraciones de material plástico, sobre todo bolsas de plástico, bloqueando las vías respiratorias y digestivas de muchas especies marinas, incluidas ballenas, delfines, focas, aves y tortugas. Debido a las corrientes marinas, se han generado incluso islas de plástico en los océanos que llegan a ser dos veces el tamaño del estado de Texas o del tamaño de la Península Ibérica. En esas islas de plástico y sus alrededores, el volumen de residuos es hasta seis veces mayor al de la vida marina. Además se ha observado que los plásticos no se degradan por completo, sino que se descomponen en plásticos microscópicos, llamados microplásticos, que siguen contaminando el medio ambiente pero que ya no vemos a simple vista (Islam & Tanaka, 2004). Estos problemas no deberían estar ocurriendo teniendo en cuenta que el plástico

se puede reciclar y reutilizar. Hay un potencial económico que se está desaprovechando con estos residuos como lo presenta Gunter Pauli en su libro *La Economía Azul* (Pauli, 2010). Además, así mucha de la basura y de los desechos se liberan en el océano, a cientos de millas de distancia de la tierra, estos terminan llegando a la costa, donde contaminan las playas y otros hábitats costeros, afectando actividades económicas como el turismo.

Por otro lado, en muchas partes del mundo no se les hace tratamiento a las aguas residuales, las cuales contaminan nuestros ríos, mares y océanos. Hacen falta más sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas ya que las aguas residuales también pueden conducir a la eutrofización de los océanos. Además, pueden causar enfermedades humanas y llevar a los cierres de playas debido a la presencia de altas concentraciones de bacterias y de otros microorganismos en el agua. Los productos químicos también entran en el mar a partir de actividades terrestres. Estos pueden escapar al agua, al suelo y al aire durante su fabricación, uso o eliminación, también a través de fugas accidentales o incendios en productos que contienen estos compuestos químicos que en ciertos casos son tóxicos y pueden destruir la bioquímica, el comportamiento, la reproducción y el crecimiento de la vida marina. Además, las personas se contaminan directamente de los productos del hogar o por comer mariscos contaminados y grasas animales.

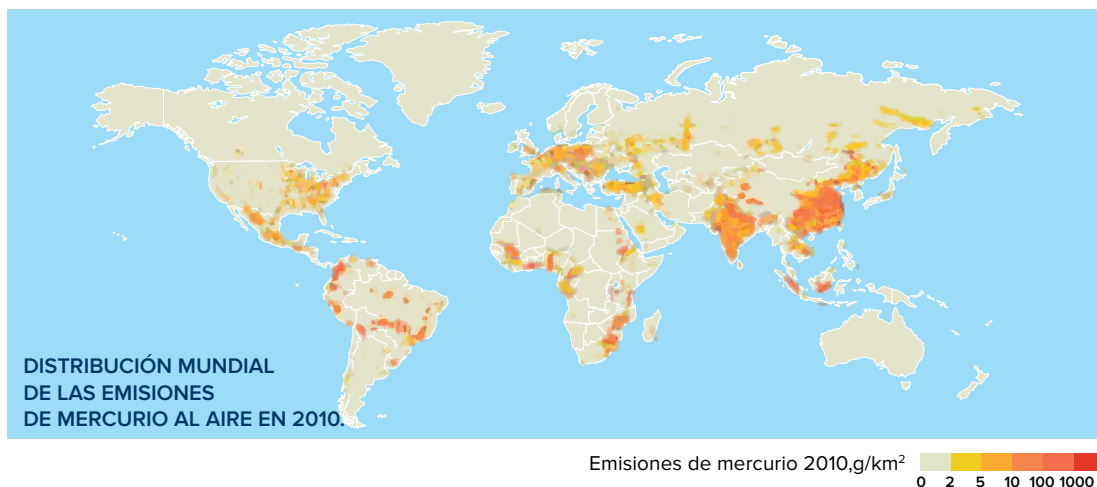


¿Cómo la contaminación marina afecta la salud de los seres humanos?

Hasta los años setenta, los químicos y los residuos fueron botados de manera deliberada en los océanos y se convirtieron en una práctica común para toda clase de residuos, incluidos los plaguicidas y los desechos radioactivos. En vista de que el 70% de la Tierra está cubierta de agua, se asumía que estos vertimientos y residuos se disolverían a concentraciones inofensivas para el ambiente y la salud humana y terminarían por desaparecer por completo. Pero en realidad, estos no han desaparecido y sus efectos pueden verse fácilmente ya que han entrado en la cadena alimenticia.

Actualmente, los contaminantes que más están afectando a los seres humanos son los metales pesados como el mercurio, el plomo, el cromo y el arsénico, y los pesticidas. Una vez los metales pesados son liberados en el medio ambiente, llegan a los suelos y con la llegada de las lluvias son lavados de los suelos y llegan a los ríos. Como los ríos terminan desembocando en los mares y océanos, estos compuestos químicos terminan llegando a los ecosistemas marinos. Otros compuestos químicos se evaporan en la atmósfera y terminan acumulándose en las nubes hasta ser liberados con las lluvias en los ríos, mares y océanos.

Una vez en el agua, estos compuestos se precipitan en el fondo del mar. Ahí hay bacterias que transforman compuestos como el mercurio en compuestos aún más tóxicos como el metilmercurio. Los animales marinos se encuentran en distintos niveles en la cadena alimenticia. Los que están más abajo de la cadena, se alimentan de plantas y algas. Los que están más arriba se alimentan de peces que a su vez se han alimentado de peces y otros animales marinos más pequeños.



Distribución global de emisiones de mercurio por el ser humano en el aire en el 2010. Fuente: United Nations Environment Programme (UNEP), Global Mercury Assessment, 2013.

Los pequeños animales en el fondo de la cadena alimenticia, como el plancton en los océanos, absorben los productos químicos mientras se alimentan. Debido a que no se descomponen fácilmente, los productos químicos se acumulan en estos organismos, en concentraciones más altas que en el agua o el suelo circundante. Estos organismos son comidos por animales pequeños y la concentración aumenta de nuevo. Estos animales son a su vez comidos por animales más grandes, que pueden recorrer grandes distancias con su carga química aún mayor. Los animales más arriba de la cadena alimenticia, como las focas, pueden tener niveles de contaminación millones de veces más altos que el agua en la que viven. Y los osos polares, que se alimentan

de focas, pueden tener niveles de contaminación de hasta 3.000 millones de veces más que las concentraciones que se encuentran en el ambiente. A este proceso se le llama biomagnificación.

Hay otros contaminantes cuyas concentraciones no aumentan en la cadena alimenticia. Esto puede pasar con metales como el cromo o el plomo. Sin embargo, con los años, las concentraciones de estos compuestos van siendo cada vez más altas dentro del organismo. A este proceso se le llama bioacumulación. El metilmercurio se biomagnifica y se bioacumula (Luna-Acosta, 2016). Debido a todos estos procesos, estos compuestos terminan entonces en el pescado que comemos, es decir en nuestros platos, y pueden afectar nuestra salud.

BIOACUMULACIÓN



■ Niveles de contaminación

TIEMPO

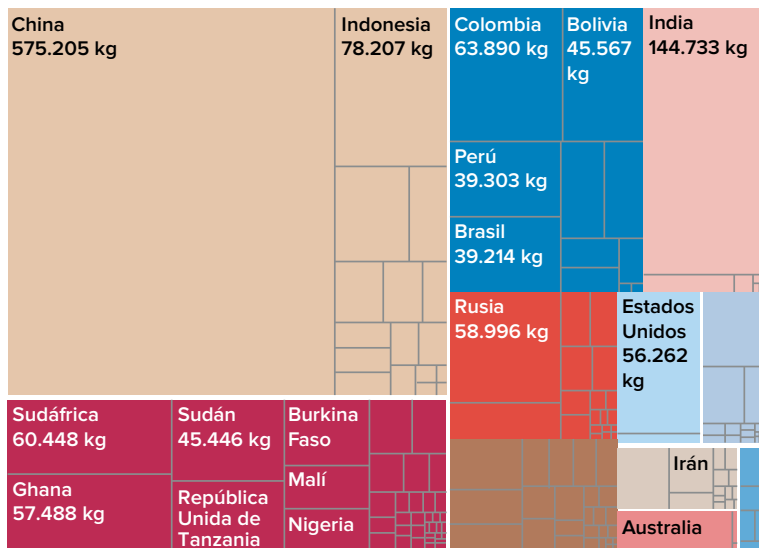
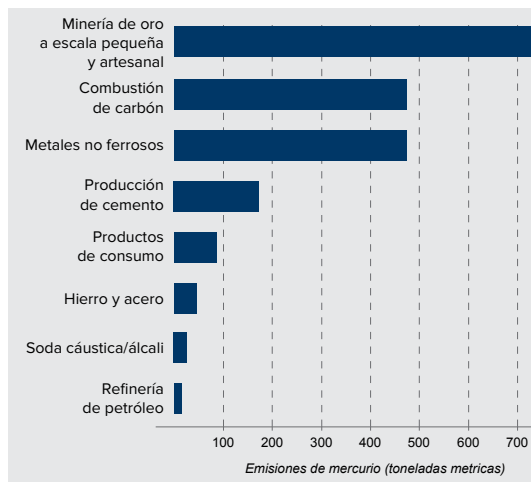
BIOMAGNIFICACIÓN



■ Niveles de contaminación

Las consecuencias que pueden tener los metales pesados en el organismo son difíciles de predecir ya que muchos factores entran en juego tales como la toxicidad del metal, el tiempo de exposición, la dosis de exposición y la sensibilidad del organismo, que difiere entre cada individuo. Además hay muchos otros factores en el ambiente que pueden incrementar o disminuir los efectos de estos compuestos en el organismo.

Como ejemplo puntual de contaminación química está el mercurio, un metal que actualmente se utiliza en diversas actividades tales como la minería del oro. La forma más tóxica del mercurio es el metilmercurio el cual se puede incorporar fácilmente en el cuerpo por consumo de peces que están en aguas contaminadas, y puede causar daños en los seres humanos, tales como ceguera, sordera, problemas de crecimiento, deterioro pulmonar, efectos en el sistema nervioso, etc. Estos impactos en la salud humana se evidenciaron claramente en la bahía de Minamata en Japón, donde en los años setenta una empresa liberó mercurio directamente en el mar lo que provocó graves casos de intoxicación y de enfermedades neurológicas.



Sectores que más contribuyen a la liberación de mercurio en la atmósfera (ASGM: Artisanal and small-scale gold mining). Fuente: United Nations Environment Programme (UNEP), Global Mercury Assessment, 2013.

Países que más contribuyen a las emisiones de mercurio en el mundo. Fuente: United Nations Environment Programme (UNEP), Global Mercury Assessment, 2013.

Contaminación de los recursos pesqueros de la bahía de Cartagena y Barú

La bahía de Cartagena es uno de los sistemas estuarinos más importantes del Caribe colombiano. Según un estudio sobre pesca artesanal y de condiciones ambientales, la población no tiene sentido de pertenencia de sus recursos naturales, lo que hace difícil implementar una gestión sostenible de los recursos marinos (Guzmán, 2006). La FAO muestra efectivamente que en tan

solo 15 años se ha pasado de un desembarco de casi 16 000 toneladas a uno de casi 4.000 toneladas para el Caribe colombiano (FAO, 2014). Adicionalmente, se han detectado concentraciones de mercurio en peces del Canal del Dique y de la bahía de Cartagena (Olivero et al., 2009; Cogua et al., 2012) y de metales como el cadmio, el cobalto, el mercurio y el plomo en sedimentos

del río Magdalena que en parte terminan en el Canal del Dique (Tejada-Benítez et al., 2016). Los sedimentos que arrastra el Canal del Dique tienen una influencia en la bahía de Cartagena que llega hasta los corales de las Islas del Rosario (Moreno-Madriñán et al., 2015). Se han evidenciado recientemente efectos de esta contaminación en el área y en animales marinos de la zona.

Basic es el primer estudio que ha analizado y encontrado concentraciones de plomo y cromo en los peces de la bahía de Cartagena. Adicional al mercurio, otros contaminantes se están acumulando en el recurso pesquero.

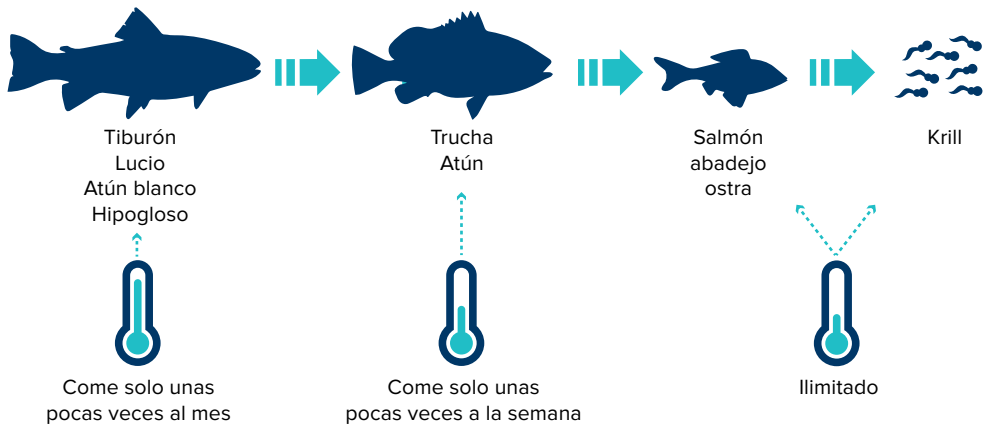
Las concentraciones de cromo y de mercurio en los peces de la bahía de Cartagena llegaron a ser hasta dos veces más altas que las concentraciones límite establecidas por organismos internacionales de 1,000 µg de cromo/kg de pescado, y tres veces más altas que concentraciones que han mostrado un efecto de toxicidad en niños de 100 µg de mercurio/kg de pescado, especialmente en época seca. En cuanto al

plomo, las concentraciones fueron hasta ocho veces más altas que la concentración límite definida para niños por la Unión Europea de 50 µg de Plomo/kg de pescado, especialmente durante la época de lluvias.

Estos resultados muestran que existen riesgos para la salud humana y que pueden incrementarse si se tiene en cuenta que las comunidades locales consumen pescado prácticamente todos los días e incluso varias veces al día. Adicionalmente, los resultados sugieren que se trata de procesos recientes de acumulación de estos metales en los peces (<6 meses).

Sin embargo, es muy importante no llegar a la conclusión que la solución se encuentra dejando de comer pescado. El consumo de pescado presenta unos beneficios nutricionales que no deberían ser ignorados, especialmente para las comunidades locales que dependen altamente de esta fuente de alimentación y, según la FAO y la OMS, el riesgo en la salud humana puede llegar a ser mayor si se deja de comer pescado.

CADENA ALIMENTICIA



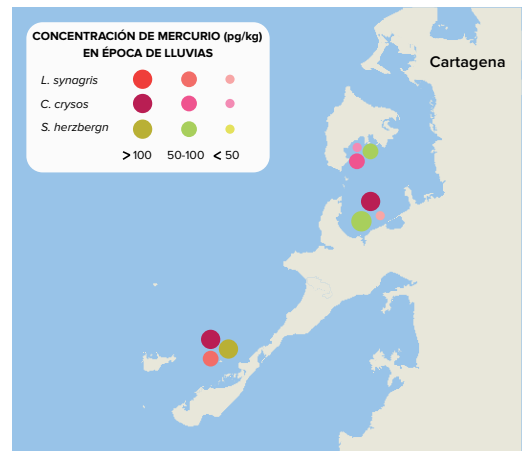
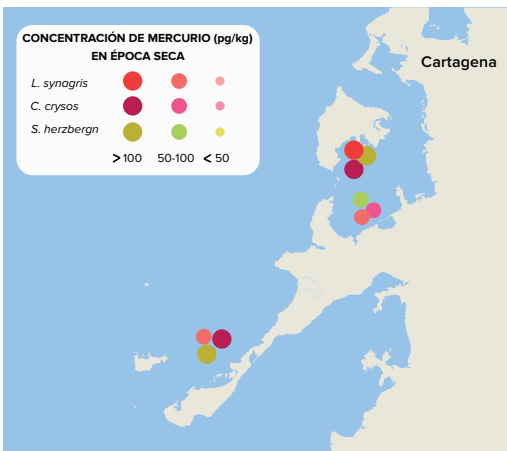
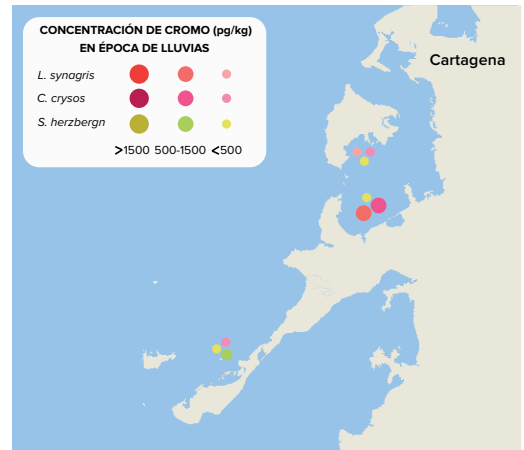
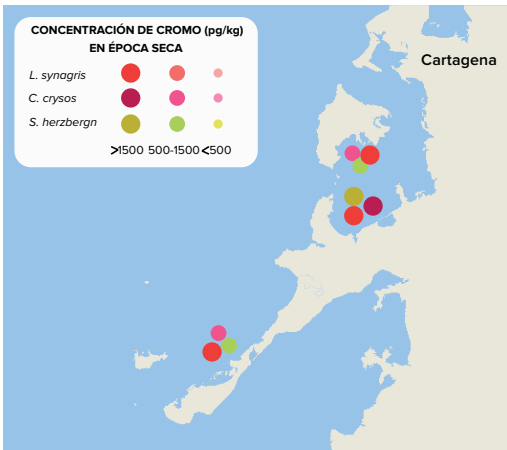
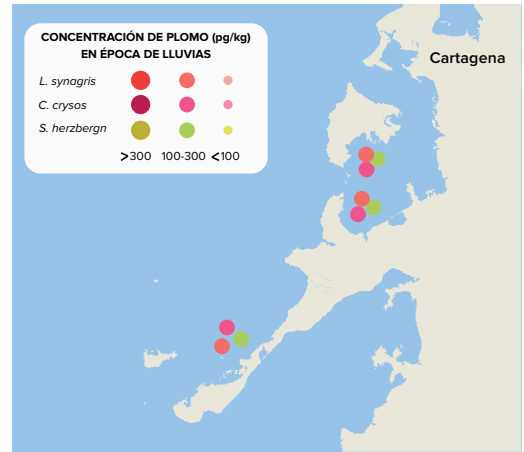
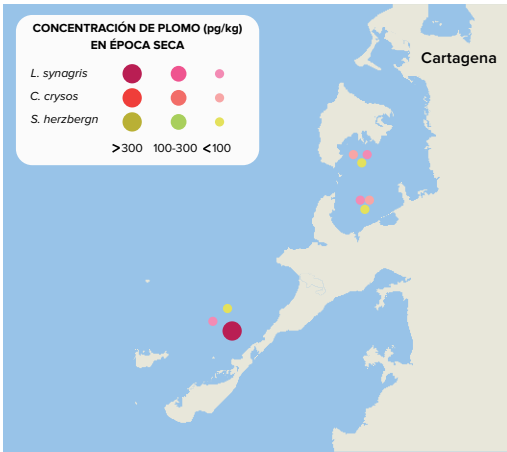
Nivel de mercurio (Consejo de la EPA para el consumo)

La solución no está en dejar de comer pescado sino en seleccionar el pescado adecuado. Fuente: EPA (Environmental Protection Agency, USA).

Por otro lado, los patrones de migración podrían afectar a los peces que viven en el área marina protegida cerca de la Bahía de Cartagena (Parque Nacional Natural Corales del Rosario y de San Bernardo), que podrían verse afectados por la pesca de peces inmaduros y por la acumulación de contaminantes en sus tejidos, lo que podría ir en contra de las medidas de protección llevadas a cabo por las instituciones.



Los resultados del proyecto Basic pueden ayudar a generar conciencia sobre el estado de la pesca y de la contaminación actual en la bahía de Cartagena, en los riesgos que esto representa, y en las regulaciones que hacen falta para la sostenibilidad del uso de los recursos naturales y de la seguridad alimentaria. Estos riesgos pueden incrementarse en el contexto del cambio climático global, que aumentará la acidez y la temperatura del agua, lo que favorecerá la biodisponibilidad de los metales pesados y su capacidad de acumularse en la cadena alimenticia.



Mapas de concentración de plomo, cromo y mercurio en peces de la región de Cartagena y Barú durante épocas secas y húmedas (cortesía proyecto Basic).

LA BAHÍA DE CARTAGENA: UN DESTINO FINAL DE LA CONTAMINACIÓN EN COLOMBIA

Marko Tasic

Científico ambiental e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra en la Universidad Eafit. Candidato doctoral en el programa de Gestión Marino Costera de Erasmus Mundus en el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Cádiz, España, y el Instituto Superior de Ingeniería de la Universidad de Algarve, Portugal. Tiene una maestría en Ingeniería de Biorrecursos de la Universidad de McGill (Montreal, Canadá).

La bahía de Cartagena tiene una problemática de contaminación que es compleja y multifactorial. Las aguas y sedimentos se encuentran contaminadas por los grandes aportes de aguas terrestres, junto con los sedimentos, nutrientes, materia orgánica y metales que llevan consigo, además de la contaminación por fuentes locales. Esto contribuye a la degradación de los ecosistemas marinos e implica impactos socioeconómicos sobre las



comunidades costeras y el sector turístico de Cartagena. Investigaciones muestran que el proceso natural de recambio de las aguas de la bahía no es suficiente para asimilar tanta contaminación y es necesario mitigarla con la reducción de sus fuentes.



Agenda del Mar

Cuando el explorador español Rodrigo de Bastidas descubrió la bahía de Cartagena de Indias en el año 1501, encontró un puerto natural con todas las características de albergue, ancladero y acceso terrestre para ser uno de los principales del Caribe en los siglos venideros. Debajo del agua vio un paraíso prístino de arrecifes coralinos, pastos marinos y bosques de manglares extendiéndose desde la bahía misma hasta el horizonte mar adentro. Lo que no sabía sobre la zona, silvestre y novedosa en sus ojos de conquistador, era que esos ecosistemas habían coexistido por varios milenios con algunas de las civilizaciones indígenas más antiguas de las Américas.

La coexistencia entre los seres humanos y los ecosistemas marinos de la bahía no continuaría tan bien en los siglos subsecuentes. Los ecosistemas de pastos marinos y varios bajos arrecifales fueron erradicados entre los años 1940-1960 con las obras hidráulicas del Canal del Dique y el ascenso de la era industrial. Hoy en día, la bahía de Cartagena se caracteriza como un estuario donde confluyen grandes cantidades de aguas terrestres, sedimentos, nutrientes y otros múltiples compuestos que la dejan con una sobrecarga de contaminación.

La sedimentación del mar

En la costa, el Canal del Dique transfiere a la bahía de Cartagena las aguas dulces que fluyen a través del río Magdalena desde su nacimiento en las montañas andinas. Estas aguas traen consigo los sedimentos arrastrados de los terrenos de la cuenca del Magdalena, la cual cubre un área de 260 000 km², el 25% del país y algunas de las zonas más desforestadas e industrializadas de Colombia. Consecuentemente, la cantidad de sedimentos descargada en el mar a través del Canal del Dique es significativa. Este flujo varía en las temporadas de lluvia y sequía, pero en promedio cerca de 2000 toneladas de sedimentos son descargadas del canal a la bahía de Cartagena diariamente. Más preocupante todavía es que a lo largo de la última década, el flujo de sedimentos en el canal se ha incrementado en un 48% y se proyecta aumentar hasta un 260% en el año 2020 (proyecto Basic).



Agenda del Mar

La bahía de Cartagena ha recibido unas 52 millones de toneladas en los últimos 26 años y se proyecta un aumento de hasta 8 millones de toneladas de sedimentos para el año 2020.



DE SEDIMENTOS
HA RECIBIDO
LA BAHÍA EN
26 AÑOS



DE SEDIMENTOS
PODRÍAN LLEGAR
A LA BAHÍA

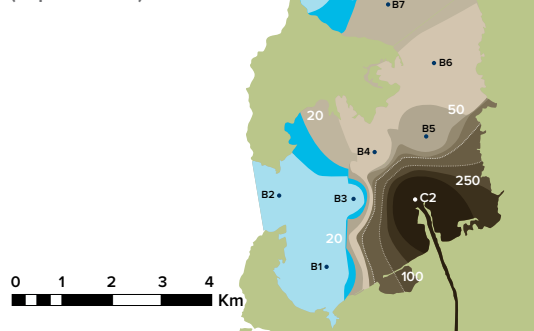
Por medio de grandes plumas turbidas, las aguas dulces y los sedimentos del Canal del Dique se dispersan a través de la bahía de Cartagena. Los sedimentos más gruesos gravitan hasta el fondo de ella, donde se acumulan en grandes cantidades que requieren remoción frecuente por dragado para permitir el tránsito de buques.

Mientras tanto, los sedimentos menos gruesos se quedan suspendidos en las aguas superficiales de la bahía debido al fuerte gradiente de densidad que mantiene las aguas dulces por encima de las más densas aguas salinas. Las plumas de aguas turbidas se extienden en diferentes patrones, según las condiciones de vientos y caudal del canal. Entre enero y abril, el bajo caudal y viento fuerte del norte empujan las plumas hacia el suroeste de la bahía, donde salen mar afuera por el estrecho de Bocachica; mientras que, entre septiembre y diciembre, el viento débil y el impulso fuerte del caudal las dirigen a la parte central de la bahía, desde donde se dispersan hasta cubrir la bahía completa. Durante el pico del caudal, las concentraciones de sedimentos suspendidos alcanzan hasta 50 mg/l en el sector de Bocagrande.

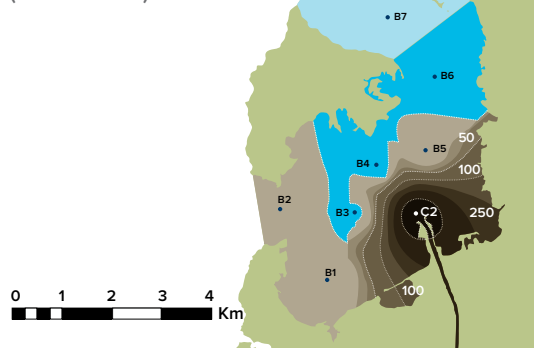
Concentración promedio de sedimentos suspendidos en la época lluviosa y en la época de vientos.

Los números indican concentraciones en mg x lt. Alrededor de la desembocadura del Canal del Dique están las concentraciones más altas (cortesía proyecto Basic).

SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LA ÉPOCA LLUVIOSA (sep-dic 2014)



SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LA ÉPOCA DE VIENTOS (ene-abr 2015)



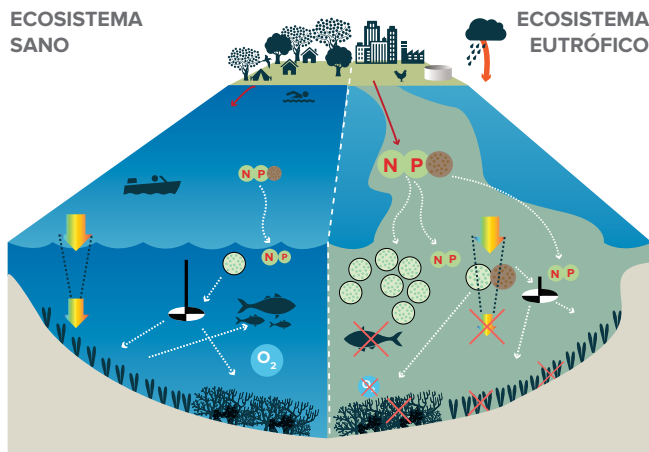
El exceso de sedimentos presenta impactos directos sobre los ecosistemas marinos. En tanto los sedimentos bajan por la columna del agua, caen sobre los ecosistemas del fondo como los arrecifes de coral y los pastos marinos. Por su baja altura, los corales pueden estar cubiertos y ahogados prontamente por la sedimentación. Aunque los pastos son menos vulnerables a la sedimentación, también tienen un límite de resistencia. En el caso de la bahía de Cartagena, este límite fue sobrepasado, trayendo como consecuencia la erradicación de sus corales y

pastos marinos. Los sedimentos suspendidos en las aguas superficiales también impactan indirectamente los ecosistemas marinos al reducir la claridad del agua. Las plumas del Canal del Dique tienen un efecto enorme en la bahía de Cartagena, donde reducen la transparencia en 80% aproximadamente. Los organismos fotosintéticos, como los corales y pastos, dependen de la luz para su alimentación y representan la base del ecosistema marino. Pero cuando las plumas turbidas limitan el sustento y crecimiento de estos organismos, el ecosistema se degrada.

Excesos de nutrientes y materia orgánica asfixian el ecosistema

El Canal del Dique también transfiere a la bahía de Cartagena una gran carga de nutrientes, como nitrógeno y fósforo. Estos nutrientes provienen de fuentes diversas de la cuenca del Magdalena, como las aguas residuales domésticas e industriales, además de los fertilizantes agregados al suelo en las zonas de agricultura que se han expandido significativamente en las últimas décadas. De forma similar a los sedimentos, los nutrientes son compuestos naturales siempre presentes en ambientes acuáticos. Pero cuando se encuentran en concentraciones excesivas, se consideran contaminantes por el impacto perjudicial que tienen sobre el ecosistema marino derivado de un proceso llamado “eutroficación”.

verde que reduce su claridad. En otras palabras, los nutrientes contribuyen a la turbidez del agua por el florecimiento que producen. En la bahía de Cartagena, las mediciones del pigmento verde de fitoplancton (la clorofila-a) muestran que los florecimientos son más pronunciados entre enero y abril debido al menor tamaño de las plumas turbidas en esta época, que permite llegar más luz a la columna de agua donde el fitoplancton realiza la fotosíntesis.



Las diferencias entre un ecosistema saludable y un ecosistema eutrófico donde el enriquecimiento de nutrientes y materia orgánica oscurece el agua con algas y termina en la disminución del oxígeno (símbolos de la plataforma IAN, Universidad de Maryland).

Las concentraciones promedio de nitrato-nitrógeno (118.2 $\mu\text{g/l}$), fosfato-fósforo (38.1 $\mu\text{g/l}$) y clorofila-a (4.4 $\mu\text{g/l}$) en las aguas superficiales de la bahía de Cartagena entre 2014-2016 la clasificarían en “mala condición” según los criterios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para aguas del Caribe.

Por una parte, el aumento de nutrientes perturba el equilibrio natural de los corales que están acostumbrados a bajas concentraciones de estos. De otro lado, las aguas enriquecidas por nutrientes favorecen las macroalgas que compiten con los corales por espacio y luz, y en casos extremos, los nutrientes pueden causar la muerte de los corales. Por otra parte, las concentraciones excesivas de nutrientes resultan en el florecimiento del fitoplancton. Estas algas microscópicas viven en la columna de agua y cuando florecen, generan un pigmento

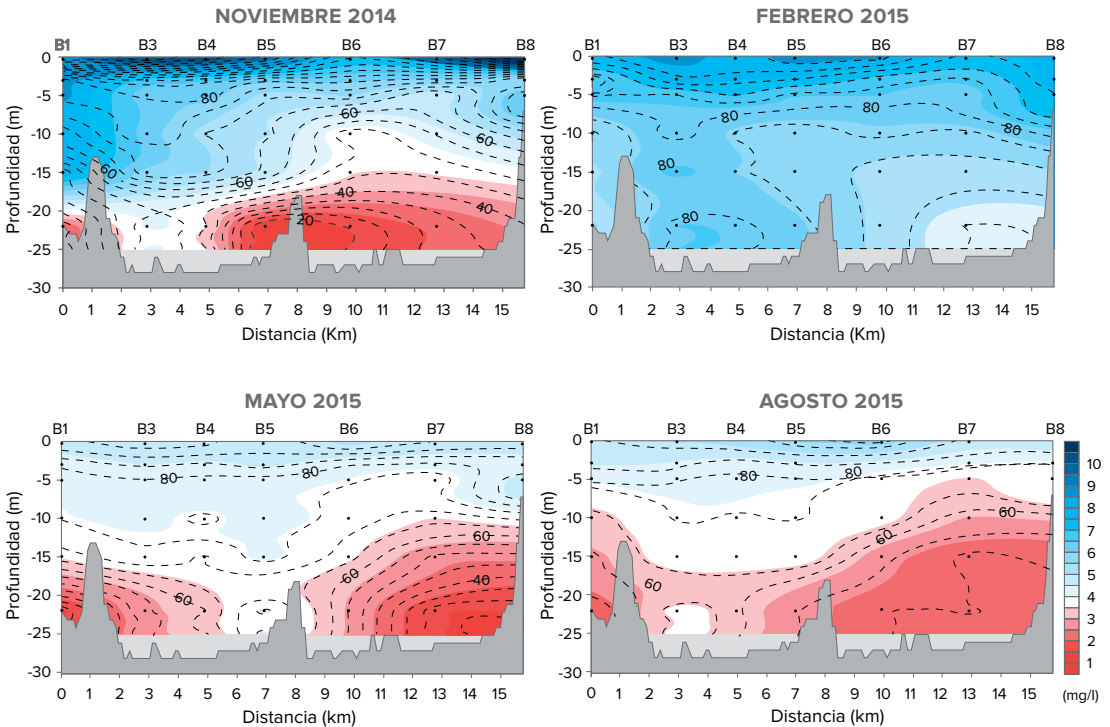
Al final del proceso de eutroficación, el fitoplancton muere y el agua se queda con una abundancia de materia orgánica que requiere descomposición. Además del fitoplancton, la bahía recibe un aporte de entre 4.2 y 27.6 toneladas diarias de materia orgánica provenientes del Canal del Dique, las aguas residuales de

la zona industrial Mamonal y de las zonas urbanas sin tratamiento alrededor de la bahía. El proceso natural de descomposición consume oxígeno del agua, sin embargo, una carga de materia orgánica tan grande implica una deficiencia de oxígeno para el ecosistema marino.

Bajos niveles de oxígeno disuelto son comunes en las aguas de la bahía de Cartagena donde se han observado concentraciones por debajo de la norma nacional (<4 mg/l) a partir de los cinco metros desde la superficie hasta el fondo de la bahía.

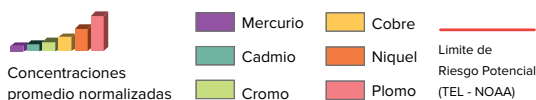
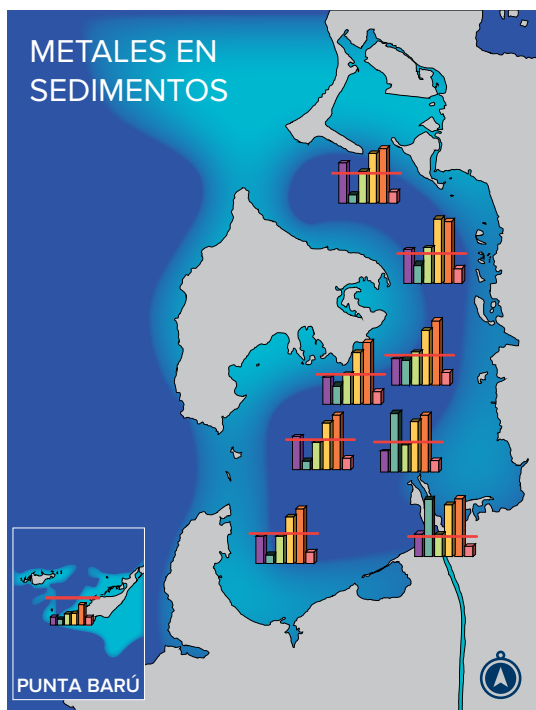
La limitación de oxígeno, o condición hipóxica, puede ser aliviada gracias a la circulación generada por los vientos, sin embargo, entre los meses de mayo y diciembre, cuando los vientos son débiles, la bahía carece de suficiente circulación para

compensar la pérdida de oxígeno por la descomposición de materia orgánica. El oxígeno es un elemento esencial y su ausencia limita el crecimiento y reproducción de los organismos marinos. Dadas las condiciones hipóxicas observadas en la bahía de Cartagena, es probable que la falta de oxígeno sea uno de los factores involucrados en la disminución del recurso pesquero en los años recientes, en adición a otros factores como derrames químicos y petrolíferos, la sobrepesca, así como el alcantarillado de la ciudad.



Oxígeno en la bahía de Cartagena en distintos meses entre 2014-2015. Los colores representan las concentraciones de oxígeno por encima (en azul) y por debajo (blanco y rojo) de la norma nacional de 4 mg/l, el umbral mínimo para la vida marina.

En febrero se observa una bahía oxigenada y con buen recambio de aguas debido a la alta energía de los vientos alisios de comienzo de año, que hacen que la bahía recambie sus aguas. La saturación de oxígeno (%) es presentada como líneas de contorno. Las mediciones fueron tomadas como perfiles (representados por los puntos ●) en estaciones (B1-B8) desde el lado sur de la bahía (B1) hasta Bocagrande en el lado norte (B8) e interpolados a lo largo del área (cortesía proyecto Basic).



Concentraciones promedio de varios metales medidos en los sedimentos de la bahía de Cartagena y Punta Barú en marzo, junio, octubre y diciembre del 2015. La línea roja indica el umbral máximo de concentraciones aceptado por la NOAA de Estados Unidos (cortesía proyecto Basic).

Varios metales se encuentran en los sedimentos de la parte central de la bahía con concentraciones promedio superiores a los niveles de impacto potencial (TEL), incluyendo el cromo (54.2 mg/kg), cobre (33 mg/kg), níquel (30 mg/kg) y mercurio (0.19 mg/kg).

La transferencia de los metales al ecosistema marino

El flujo de sedimentos del río Magdalena arrastra al mar los metales presentes en la tierra de las cordilleras de los Andes. Estas montañas son abundantes en metales, así como en oro y esmeraldas, lo que ha motivado una industria ávida de minería en Colombia. Esta industria supone dos riesgos de contaminación acuática por metales. Por una parte, la actividad minera expone los sedimentos y metales excavados a la lluvia que los transporta a los ríos. Por otra parte, las actividades ilegales de minería comúnmente usan mercurio en un proceso prohibido de extracción de oro. Cuando el mercurio y otros metales llegan finalmente al mar en cantidades excesivas, la presencia de estos elementos en el ecosistema presenta un riesgo para los organismos marinos y las personas que los consumen.

En la bahía de Cartagena, la contaminación por mercurio ha sido identificada en los sedimentos, organismos marinos, aves y poblaciones humanas a través de muchos estudios. Investigaciones recientes encontraron varios metales en altas concentraciones en los sedimentos de la bahía, incluyendo no solo el mercurio, sino también el cromo, cobre y níquel. En la figura se observan a lo largo de la bahía las concentraciones de estos metales, superiores a los niveles de impacto potencial (TEL) utilizados como criterio por la Agencia para la Administración de Océanos y Atmósfera de los EE. UU. (por sus siglas en inglés, NOAA).

Es razonable considerar la cuenca del río Magdalena como la fuente de estos metales, dado que concentraciones similares fueron encontradas en los sedimentos del Canal del Dique en este estudio. Concentraciones comparables de mercurio (entre 0.01 y 0.12 mg/kg) también fueron encontradas en los sedimentos del Magdalena en otro estudio reciente de Tejada-Benítez et al.

Sin embargo, la contaminación por metales en la bahía de Cartagena es una problemática compleja y multifactorial. Además del Canal del Dique, otra posible fuente de los metales podría ser las industrias de la zona de Mamonal alrededor de la bahía, no obstante, actualmente no hay suficiente información sobre los vertimientos industriales para determinarlo. Aun así, existe un referente de un caso histórico de contaminación por mercurio causado por una planta de cloralkali que operaba en la bahía entre 1967 y 1978, dejando concentraciones peligrosas de 33.2 mg/kg en los sedimentos. La línea de tiempo del mercurio en la bahía durante el periodo 1964-2009 fue analizado en una investigación de Parra et al. utilizando técnicas de datación y confirmó que altas concentraciones de mercurio (18.8 mg/kg) del periodo operacional de la planta aún se encuentran en los sedimentos de 55-65 cm debajo del fondo de la bahía. Asimismo, algunos hallazgos recientes de concentraciones muy mayores sugieren que estos sedimentos antiguos podrían estar ocasionalmente expuestos al ecosistema de la bahía. Estos resultados de investigación llaman la atención sobre la necesidad de mejorar el control ambiental de las actividades de dragado que podrían levantar los sedimentos peligrosos de la profundidad y arriesgar el ecosistema gravemente.

La importancia de reducir la contaminación

La confluencia de múltiples formas de contaminación en un solo lugar presenta un reto excepcional para la gestión ambiental. En adición a los sedimentos, nutrientes, materia orgánica y metales, la bahía de Cartagena también tiene problemas de bacterias, hidrocarburos y plaguicidas. La contaminación bacteriana se observa durante las temporadas de lluvia cuando la calidad sanitaria de las aguas de la bahía no cumple con los estándares nacionales e internacionales para recreación, incluyendo normas colombianas (coliformes fecales: >200 NMP/100 ml) y de la Organización Mundial de Salud (enterococos: >40 UFC/100 ml). Esto se debe a las aguas residuales domésticas de las poblaciones costeras sin servicio de alcantarillado tratado, las cuales aportan entre 2.8 y 10.6 x10¹⁵ NMP de coliformes totales por día, además del sistema de alcantarillado de la ciudad que desborda a la bahía bajo condiciones de lluvia. Mientras tanto, investigaciones han demostrado el impacto de hidrocarburos y plaguicidas sobre organismos marinos en la bahía, que podría esperarse en consideración de la gran cantidad de agricultura en la cuenca del Magdalena y las actividades perpetuas de tráfico marino.



Agenda del Mar

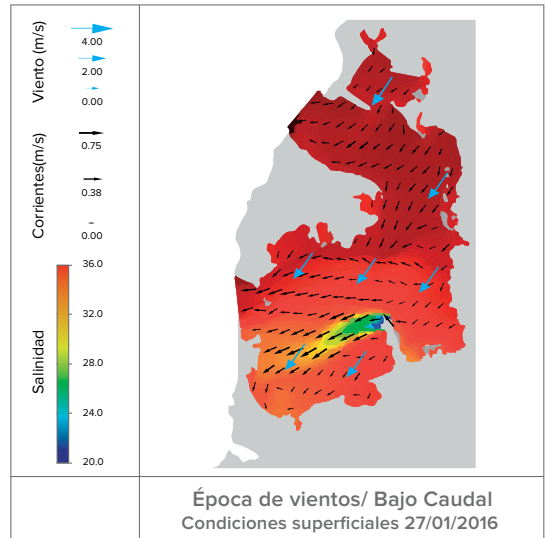
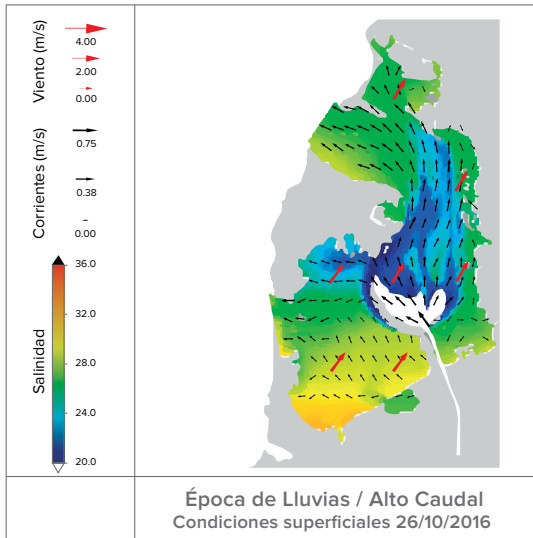
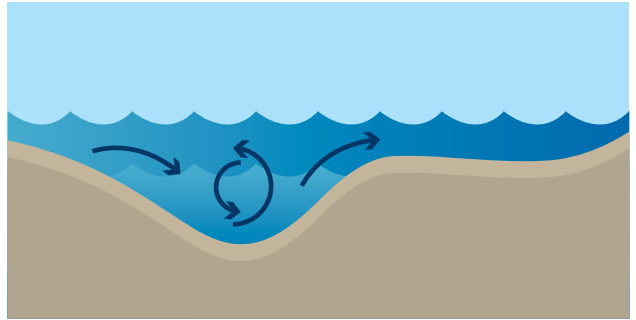
Para poder asimilar tanta contaminación, las aguas de la bahía requerirían de una enorme circulación que promoviera su recambio por las aguas del mar. Sin embargo, los modelos hidrodinámicos muestran que la bahía se caracteriza por la baja frecuencia de recambio de las aguas. Durante la época de vientos, se genera bastante circulación y las aguas pueden renovarse en un tiempo entre uno y dos meses. No obstante, en el resto del año, la renovación demora entre tres y nueve meses. Este bajo recambio de las aguas implica un limitante para la bahía ya que la renovación natural no es suficiente para contrarrestar los altos aportes de contaminación.



**COLIFORMES
FECALES
LLEGAN A
LA BAHÍA**



**REQUIERE
LA BAHÍA
PARA RENOVAR
SUS AGUAS**



Condiciones superficiales de corrientes, vientos y salinidad en la Bahía de Cartagena en las épocas de lluvias (izquierda) y vientos (derecha) con base en el modelo hidrodinámico MOHID calibrado con mediciones fisicoquímicas mensuales 2014-2016.



Dado que estos impactos no pueden ser resueltos por procesos naturales, la única solución debe ser la reducción de descargas contaminantes de la zona costera y el Canal del Dique. Sin embargo, la bahía de Cartagena carece de estándares ambientales para la calidad de las aguas y los sedimentos costeros. Por este motivo, el primer paso hacia la mitigación del riesgo sería definir normas y umbrales actualizados, tanto para la bahía como para los ecosistemas próximos y playas. Igualmente, se necesita establecer los niveles y límites espaciales para los vertimientos domésticos e industriales, con el fin de reducir su impacto a zonas restringidas.

En Cartagena, la bahía es el escenario donde confluyen todos los actores e intereses de cuatro componentes definidos por los Objetivos de Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas.

Estos incluyen: la prosperidad económica, la inclusión social, la sostenibilidad ambiental y la buena gobernanza por parte de los actores principales, incluyendo el gobierno y las empresas. En estos términos, la justificación de salvar la bahía, por consiguiente, se queda en el reconocimiento de los múltiples actores e intereses impactados, tanto como en el medio ambiente marino, las comunidades costeras, los pescadores artesanales y el sector turístico. Si ellos pueden influenciar la gobernanza hacia un desarrollo sostenible aún está por determinar. Algunos esfuerzos público-privados para la conservación y protección de los recursos hídricos ya están en marcha, como la iniciativa de los Fondos de Agua, que ya se puso en marcha en Cartagena. Los alcances y beneficios de este proyecto se explican en las páginas siguientes.

FONDOS DE AGUA:

ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN DE CUENCAS A LARGO PLAZO

Los Fondos de Agua son iniciativas que utilizan herramientas del mercado financiero, diseñadas para que los usuarios privados y públicos del recurso hídrico financien los esfuerzos de conservación y protección.

Son una forma innovadora de pagar y compensar por los servicios que provee la naturaleza al hombre: atraen contribuciones en capital de los grandes usuarios del agua de una forma organizada, transparente e invierten adecuadamente estos recursos en la conservación de los ecosistemas maximizando el retorno en la inversión.

Los Fondos de Agua están inmersos dentro de una estrategia mayor de conservación de grandes ríos a nivel mundial elaborada por The Nature Conservancy.

Ventajas de los Fondos de Agua

- ▶ Une a los diversos usuarios del agua en una sola visión de manejo integral de la cuenca.
- ▶ Tienen impacto directo en la conservación de la biodiversidad

- ▶ Generan recursos financieros que disminuyen el déficit de los entes de conservación
- ▶ Garantizan resultados visibles a largo plazo
- ▶ Se adaptan a las condiciones del entorno y a condiciones ambientales y económicas variables
- ▶ Disminuyen costos de tratamiento del agua
- ▶ Promueven la participación y mejora de condiciones sociales de comunidades locales

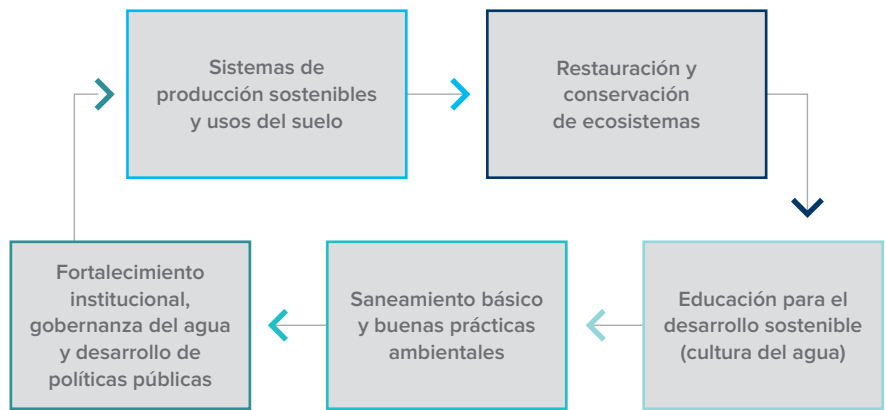
¿Qué hace un Fondo de Agua para mantener los servicios ambientales?

- ▶ Apoyo a las áreas protegidas y conservación de ecosistemas
- ▶ Manejo sostenible de recursos naturales
- ▶ Aislamiento y protección de caudales
- ▶ Investigación y monitoreo
- ▶ Educación ambiental



En septiembre de 2016 se lanzó el Fondo de Agua de Cartagena, como una de las soluciones para canalizar las acciones requeridas de infraestructura verde para asegurar cantidad y calidad del recurso hídrico de la cuenca abastecedora del acueducto de la ciudad.

LÍNEAS ESTRATÉGICAS



LOS SOCIOS SON:
Cardique,
The Nature Conservancy,
Fundación Promotora Canal del Dique,
Aunap, Aguas de Cartagena, Fundación Grupo Argos, Alcaldía de San Antero, Asocaimán-Proyecto Basic, Sirap Caribe, Alcaldía de Cartagena, Ecoral, Gobernación de Bolívar y Cámara de Comercio.



Agenda del Mar

ARRASTRANDO LA MONTAÑA HASTA LOS ARRECIFES CORALINOS

Juan D. Restrepo Ángel, Ph.D.

Profesor e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra y Director del Grupo de Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Eafit. Profesor y científico visitante en las Universidades de Colorado y Texas en Austin (Estados Unidos) y en el Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de Algarve, Portugal. Miembro Correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Los arrecifes coralinos cercanos a las zonas litorales de los Andes del norte, en donde desembocan ríos con grandes cantidades de sedimentos, están siendo afectados por diferentes tensores como el calentamiento de los océanos, enfermedades y eventos de alta energía. Sin embargo, uno de los principales agentes de la pérdida de la cobertura arrecifal costera es el de los aportes de agua, nutrientes y sedimentos desde las montañas, flujos que se han incrementado dramáticamente durante las últimas décadas por la degradación ambiental de origen humano de los ríos y cuencas.



El sistema continuo entre las montañas y los arrecifes coralinos

Las áreas costeras están conformadas por ríos, estuarios y mares litorales, se extienden hasta la plataforma continental y son el lugar donde ocurren importantes transformaciones biogeoquímicas debido a la depositación de nutrientes y sedimentos. En los litorales, los procesos continentales interactúan y se combinan con los procesos de origen oceánico. De hecho, los factores naturales y antrópicos en los ríos incrementan o disminuyen los flujos horizontales de materiales a las zonas costeras con sus respectivos impactos en la morfología (sedimentos) o en los ecosistemas (nutrientes y elementos tóxicos). Los ríos son, por lo tanto, el principal mecanismo del transporte de sedimentos, nutrientes y contaminantes hacia las costas, mares y arrecifes costeros.

El control que los sedimentos y la escorrentía continentales ejercen sobre la presencia de arrecifes coralinos ha sido ampliamente estudiado en el mundo. Los sedimentos tienen efectos inhibitorios sobre las comunidades coralinas. La turbidez implica descensos significativos en los niveles de luz que llegan a los corales, interrumpe los procesos de fotosíntesis en algas simbiotas y disminuye las tasas de calcificación. Estudios recientes indican que los arrecifes coralinos están fuertemente degradados a escala global y que no existen arrecifes prístinos en ningún lugar del mundo. Algunos países han visto cómo el 50% de sus arrecifes coralinos ha sido destruido durante los últimos 15 años a causa de las actividades humanas. Los arrecifes coralinos del mar Caribe y parte del sudeste asiático son los que presentan mayores tasas de degradación en el contexto mundial.





Sistema continuo cuenca hidrográfica-zona litoral y ecosistemas marinos proximales
(Gráfica basada en los símbolos de la plataforma IAN, Universidad de Maryland).

Las montañas en los arrecifes costeros de Colombia

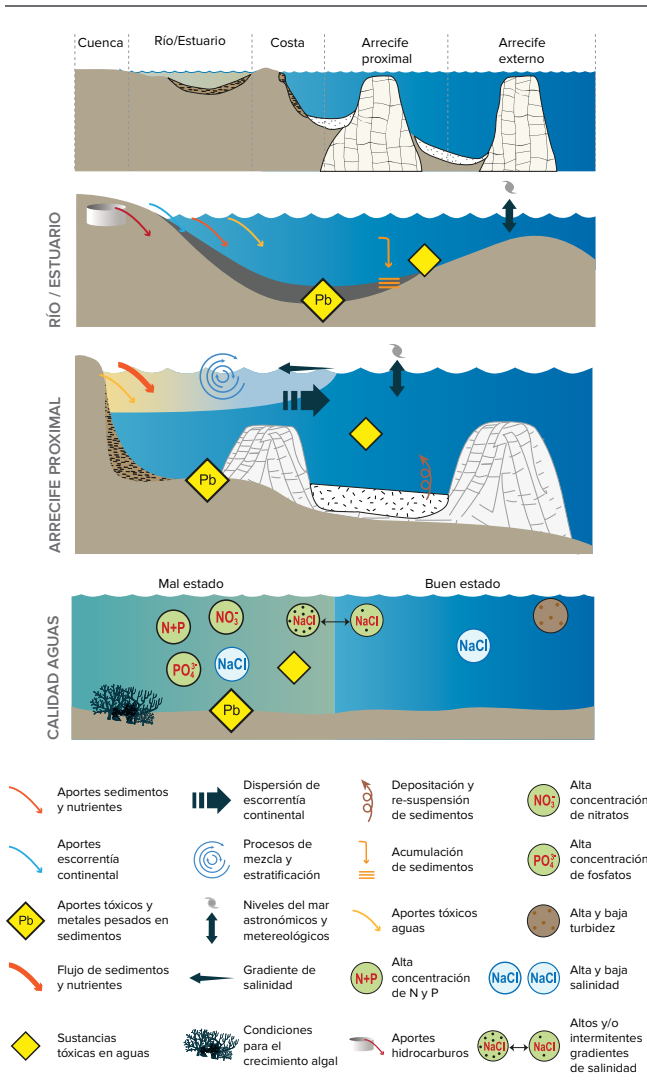
En Colombia se ha discutido durante los últimos quince años en qué forma y hasta qué punto los flujos de agua y sedimentos del Magdalena han afectado los ecosistemas costeros adyacentes, incluyendo el conjunto de arrecifes coralinos de 145 km² de extensión en las Islas del Rosario, el cual conforma actualmente un área marina protegida. Algunos estudios han mostrado que la cobertura actual de coral vivo en las Islas del Rosario es de sólo el 33% con respecto a su valor inicial. Esta situación ha sido atribuida a diferentes factores, incluyendo: (1) flujos de agua dulce que inducen el blanqueamiento de los corales; (2) incrementos en las cargas de nutrientes y sedimentos, los cuales fortalecen la capacidad de las macroalgas

para competir por el sustrato bentónico; (3) incremento de la contaminación antrópica en áreas urbanas (aguas residuales y sustancias tóxicas); y (4) turismo y sobreexplotación de las estructuras coralinas para emplearlas en construcción.

Durante los últimos cincuenta años, la cuenca del río Magdalena ha estado bajo impacto ambiental. Los cambios en los patrones de uso del suelo y en la explotación de los recursos en los Andes se han incrementado en los últimos 20 años. Las tendencias actuales en esta cuenca incluyen: (1) un ascenso en la densidad de población. Las principales ciudades de Colombia, incluyendo Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, están localizadas dentro de la cuenca. Cerca del 80% de la población colombiana vive en la cuenca a una densidad de hasta ~500 hab km⁻², valor alto si se compara por ejemplo con la

densidad de 0.24 hab km⁻² en la cuenca del Amazonas; (2) aceleración en los procesos erosivos, debido al aumento en la deforestación, agricultura y a la aplicación de prácticas mineras sin control ambiental. Más del 90% de la cobertura de bosques primarios ha sido talada durante los últimos 50 años. Se considera que la tasa de deforestación de la cuenca del Magdalena se encuentra entre las mayores de todos los países tropicales; y (3) un aumento en los niveles de contaminación del agua como producto de las malas prácticas ambientales en la cuenca, incluyendo incrementos en aguas residuales de origen

urbano e industrial, más los niveles de metales pesados como el mercurio, este último producto del incremento de la minería ilegal. Como resultado de estas tendencias, los impactos inducidos sobre los ríos que drenan al mar Caribe han incidido en la pérdida de ecosistemas vulnerables, biodiversidad, y en la alteración del material transportado hacia las costas y arrecifes coralinos proximales.



Cerca de 100 millones de toneladas de mercurio son depositadas cada año en el río Magdalena como producto de la minería ilegal del oro. Evidencias del proyecto científico IDRC-Basic, sobre la contaminación de la bahía de Cartagena y áreas costeras, muestran que la bahía presenta niveles preocupantes de mercurio y que incluso, los sedimentos en los arrecifes coralinos cercanos, ya muestran niveles de presencia de este contaminante.

Procesos y flujos desde el continente, de origen natural y humano, que ejercen impacto sobre los arrecifes coralinos de Islas del Rosario (Gráficos tomados de la plataforma IAN de la Universidad de Maryland).



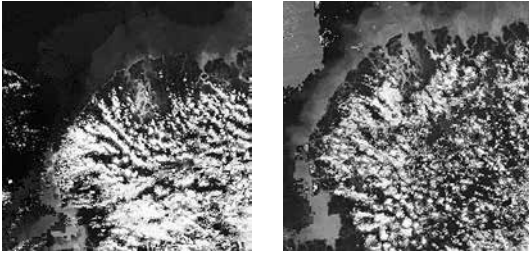
Imagen Landsat del Canal del Dique, bahías de Cartagena y Barbacoas, e islas Barú y el Rosario. Se observan en color blanco las plumas de sedimentos provenientes del Canal del Dique dentro de las bahías de Cartagena y Barbacoas.



Hacia el Pacífico la situación ambiental tampoco es diferente. Lo que ocurrió en los manglares de la Ciénaga Grande de Santa Marta y en los arrecifes del Rosario, por cambios en el río Magdalena, se está repitiendo en la costa Pacífica con los manglares del Parque Nacional Natural Sanquianga y con los corales de la isla Gorgona, esta vez por alteraciones de origen humano en el río Patía.

El desvío del río Patía hacia el río Sanquianga, a través del Canal Naranjo, ha ocasionado que el delta del Patía, antes en el sector sur cerca de Tumaco, haya migrado hacia el norte a la región de la reserva de manglares de Sanquianga. Este canal fue construido en 1973 por la compañía de Maderas Naranjo para facilitar la salida de las maderas más directamente hacia los aserríos en el Sanquianga. Un canal que comenzó de 1.5 metros de amplitud se convirtió después de 30 años en un río de 400 metros de ancho. Hoy, más del 80% del caudal del río Patía, que antes fluía hacia el sur, está capturado por el río Sanquianga y desemboca al norte en el Parque Nacional Natural Sanquianga, a todo el frente de la isla Gorgona y sus arrecifes coralinos.

Actualmente, toda esta parte del litoral del Patía, del Parque Sanquianga y de la zona marina y arrecifal de Gorgona recibe la degradación ambiental de las montañas y planicies forestales de la cuenca del Patía. Se estima que cerca del 70% de toda la demanda maderera de Colombia en los años setenta provenía de la cuenca baja del río Patía. Más del 80% de los bosques de guandales del Patía fue talado entre 1960 y 1980. Después de agotarse el recurso forestal, la deforestación debida a los cultivos ilícitos comenzó su expansión en la región del río Telembí, tributario de la parte baja del río Patía. Más del 60% de la cuenca del Telembí ha sido talada desde hace 20 años y el incremento en el transporte de sedimentos del Patía hacia el mar se ha acelerado en más de un 40% durante la última década. Nada diferente con lo que está ocurriendo en el río Magdalena hacia el mar Caribe.



Imágenes MODIS de las plumas de turbidez del río Patía hacia la Isla Gorgona.

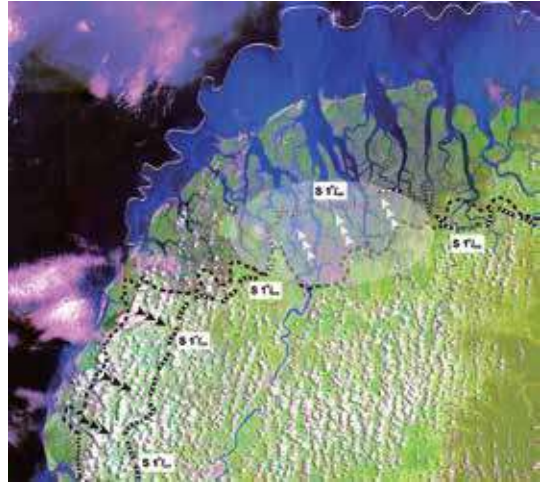


Imagen satelital Landsat del delta del río Patía en la parte frontal de la Isla Gorgona. En colores azul turquesa se observan las aguas turbias del Patía abrazando la isla Gorgona y sus arrecifes coralinos.

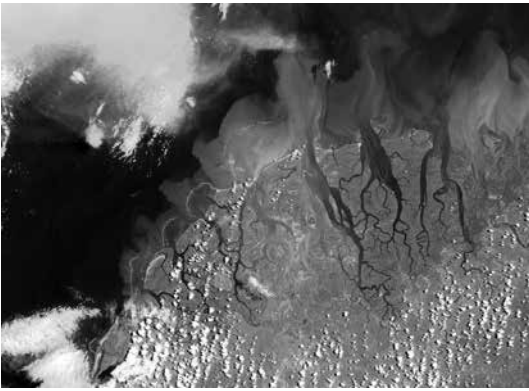


Imagen del satélite SPOT que muestra en color blanco las plumas de turbidez del río Patía al frente de la isla Gorgona.



Isla Gorgona-Juan Esteban Hincapié

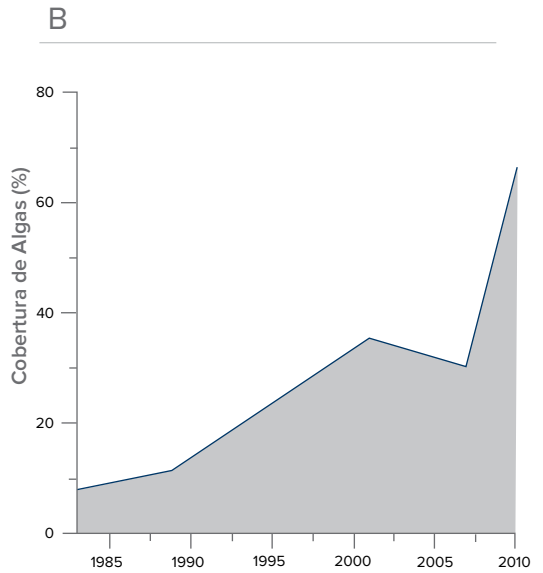
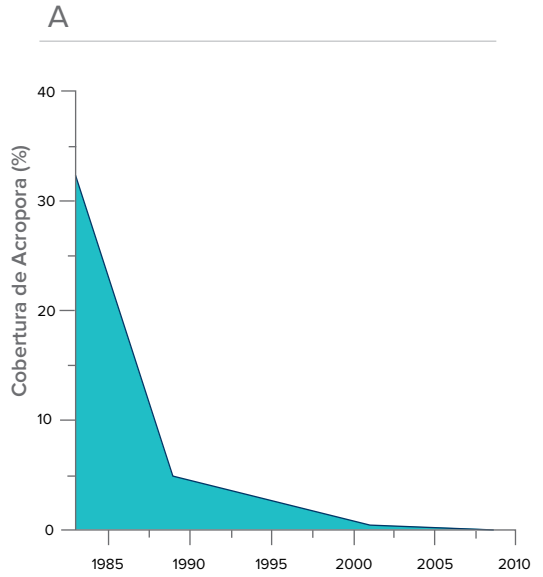
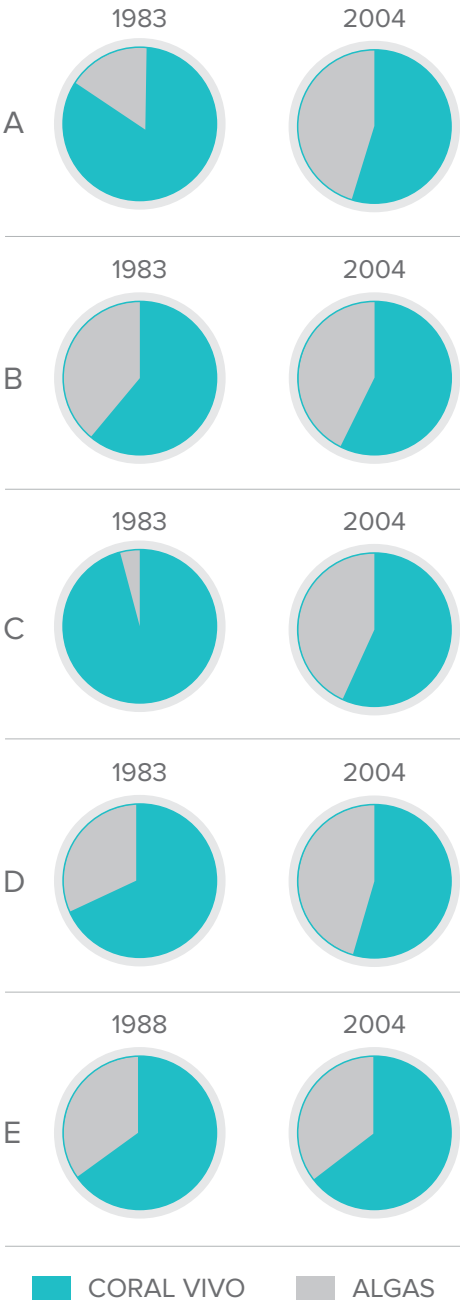
Evidencias científicas de la presencia de las montañas en los arrecifes coralinos

Por diferentes intereses políticos, económicos y de infraestructura fluvial y portuaria, diferentes autoridades ambientales han argumentado que no existe un impacto evidente y comprobado de las descargas de agua y sedimentos del río Magdalena en los arrecifes coralinos de Islas del Rosario. Y una de las razones de tal negación es que si tal conexión, la de río-arrecife, es comprobada, los planes de expansión de obras civiles y portuarias (ejemplo, arrecifes de Varadero en Cartagena) se verían limitados o en entredicho ambiental. Además, gran parte de estos proyectos deberían incluir en su ADN logístico y financiero la recuperación y monitoreo ambientales de los arrecifes en el largo plazo. ¿Estarían dispuestos los tomadores de decisiones y sus proyectos en incluir tales costos ambientales?



Santiago Estrada

Basados en un estudio entre la Universidad Eafit y el Invemar, los análisis sobre el desarrollo y estructura de la comunidad de corales en las Islas del Rosario, incluyendo Barú, Grande, Rosario y Tesoro, y utilizando la cobertura de algas como indicador del estado arrecifal, indican que en el archipiélago se han presentado cambios significativos en el desarrollo de los corales, con una marcada reducción de la cobertura de coral vivo y un incremento muy significativo en la cobertura de algas. Por ejemplo, en Isla Grande, la cobertura de coral vivo pasó de 95% en 1983 a 41% en 2004, mientras que la cobertura de algas aumentó del 5% en 1983 al 59% en el 2004. En general, y para el período analizado entre 1983 y 2004, los resultados muestran que han ocurrido cambios dramáticos en la estructura y cobertura de los corales de las Islas del Rosario. Esta descomposición ambiental de los arrecifes concuerda con las tendencias temporales del transporte de sedimentos; el incremento en los flujos de sedimento del Magdalena comenzó hacia mediados de la década del ochenta, época desde la cual este aumento ha sido progresivo y más marcado. Los resultados preliminares permiten señalar que ante el incremento de la actividad humana en la cuenca del Magdalena, la destrucción de ecosistemas coralinos aumentará significativamente en cuanto a extensión e intensidad.



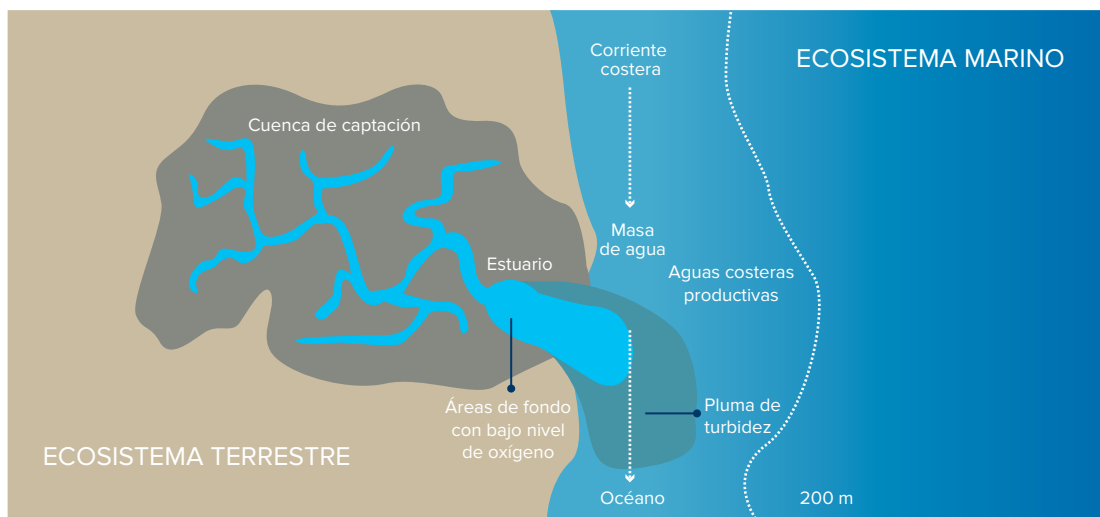
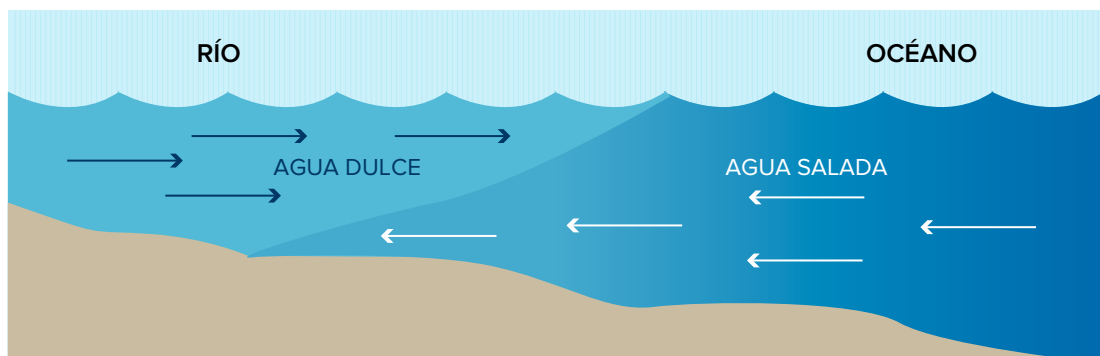
Cambios en las coberturas de coral vivo y algas en los arrecifes de islas del Rosario entre los años 1988 y 2004 (tomado de Restrepo et al., 2006; *Global and Planetary Change*).

Coberturas de corales cuerno del género *Acropora* y algas en los arrecifes de islas del Rosario (datos cortesía Julio Andrade).

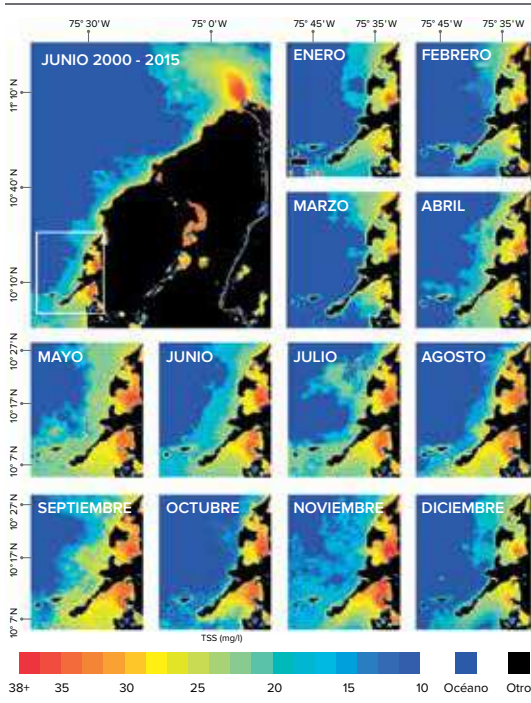
¿Cómo comprobar científicamente la presencia de escorrentía y sedimentos de origen continental en los arrecifes coralinos?

Además de las técnicas paleoambientales que analizan la presencia de aguas dulces y de sedimentos continentales en los arrecifes de coral desde hace cientos y miles de años, por medio de datación geoquímica, otra forma de reconocer el impacto de los ríos y sus montañas en los ecosistemas coralinos es el análisis de la calidad de las aguas arrecifales en el presente. Dicho de otra forma, reconocer mediante técnicas de monitoreo en campo más tecnología satelital, la dispersión espacial de aguas turbias, denominadas “plumas de turbidez”, que contrastan visiblemente con las

aguas marinas y azules, tanto por los niveles de concentración de sedimentos como también por la diferencia de densidad entre las dos masas de aguas. En términos de la geomorfología litoral, los ríos, deltas y estuarios se extienden hacia los mares y sus plataformas continentales hasta donde sean medibles cambios apreciables en la salinidad y/o turbidez de las aguas. Aquí está la prueba sobre si los ríos como el Magdalena y el Patía llegan hasta los arrecifes coralinos. En otras palabras, ¿la evidencia científica de si los arrecifes viven ya dentro de los ríos y sus deltas!



Recientemente, un estudio de las universidades Eafit y Texas en Austin publicado en la revista científica *Science of the Total Environment*, reconstruyó, mediante modelos de calibración en campo de más de 4000 imágenes satelitales Modis desde el año 2000, los niveles de turbidez de los arrecifes de Islas del Rosario desde hace 15 años. Los resultados indican que los corales del principal parque nacional marino del país han estado en niveles de turbidez característicos de desembocaduras de ríos. De hecho, máximos valores de turbidez o sedimentos en suspensión, expresados en miligramos de sedimentos por volumen de agua (mg/l) fueron de cerca de 62 mg/l, más del doble de la concentración de turbidez en las bocas del Canal del Dique, 28 m/l.



*Imágenes de satélite Modis de la región de Cartagena e Islas del Rosario, calibradas en términos de turbidez (mg/l) en donde los colores diferentes al azul oscuro son aguas turbias, en gran medida a causa del río Magdalena y del Canal del Dique (tomado de Restrepo et al., 2016, *Science of the Total Environment*; cortesía de Edward Park, Universidad de Texas Austin).*

El umbral de turbidez aceptado para aguas coralinas cristalinas es de 5 mg/l. Para la última década, las aguas arrecifales de las Islas del Rosario han estado en condiciones turbias en un 48% del total del tiempo de 10 años. Estos arrecifes rara vez tuvieron condiciones de turbidez de menos de 10 mg/l.

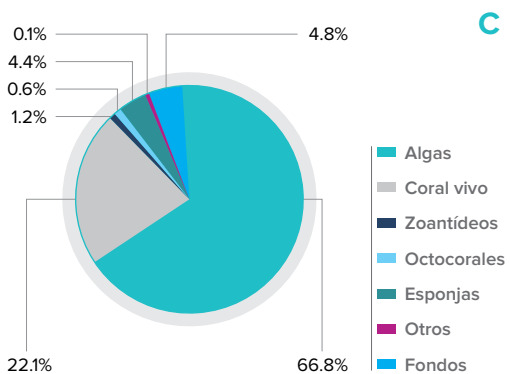
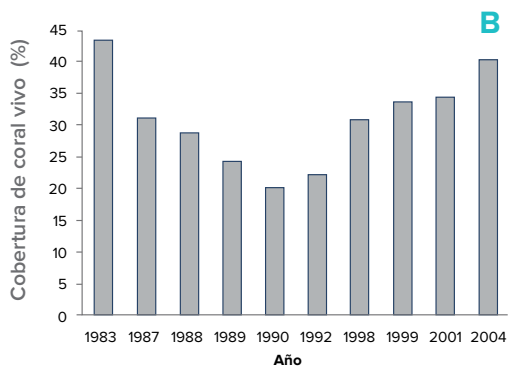
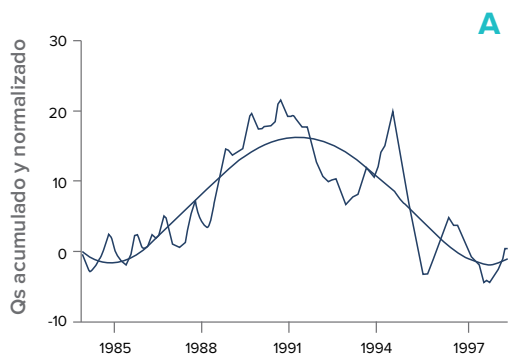
La misma investigación mostró que las tasas de depositación de sedimentos fluviales sobre los sedimentos de carbonato de calcio de la plataforma arrecifal fue de 0.75 cm/año, valor alto de sedimentación continental sobre un arrecife coralino. Estos sedimentos mostraron concentraciones preocupantes de metales pesados como zinc, cobre, níquel, manganeso y hierro. Además, se pudo comprobar que la fuente de estos metales contaminantes no es la zona industrial de la bahía de Cartagena sino los aportes continentales desde el río Magdalena.

Por todos los impactos ambientales, incluyendo calentamiento, enfermedades y los aportes comprobados de aguas y sedimentos continentales, los ecosistemas coralinos de las islas del Rosario están en una fase de “algarización”. Es decir, por las condiciones de baja calidad de las aguas, la plataforma del coral vivo está siendo reemplazada por algas. ¿Estamos ante un futuro arrecife de algas?

En cuanto a los corales de la isla Gorgona, localizados al frente de la desembocadura del río Patía en el Pacífico, científicos de Eafit y del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico de la Dirección Nacional Marítima-Dimar, han trazado y reportado por primera vez aguas dulces provenientes del Sanquianga en los arrecifes de Gorgona. Salinidades de 18 y 22 partes por mil, que indican condiciones salobre-dulces de escorrentía continental, fueron medidas en diferentes cruceros oceanográficos, siguiendo las plumas de turbidez del Patía hacia mar abierto. Análisis de imágenes de satélite MODIS durante los mismos días de los muestreos en campo permitieron comprobar estos niveles de turbidez sobre los arrecifes de Gorgona. Como comparación válida, imaginemos los corales de las Islas del Rosario hace 32 años antes de la rectificación y apertura de nuevas bocanas del Canal del Dique en las bahías de Barbacoas y Cartagena. El porcentaje de coral vivo era del 80% en ese entonces. ¿Quién imaginaba el colapso de los arrecifes del Rosario hace tres décadas? Hoy no existe más del 22% de coral vivo. A este paso, ¿es de esperar condiciones de deterioro arrecifal en Gorgona de las mismas proporciones?



Canal del Dique-Agenda del Mar



Serie de transporte de sedimentos del Canal del Dique (A), porcentaje de coral vivo (B) y coberturas del sistema arrecifal de islas del Rosario (C). Tomado de Restrepo y Alvarado, 2011, Treatise of Estuarine, Coastal and Shelf Science.

Si existe evidencia científica de la transferencia de sedimentos y contaminantes desde las montañas hacia los arrecifes coralinos, ¿cuáles estrategias de manejo ambiental se deberían adoptar?

► **Los arrecifes coralinos costeros de Colombia, los que están más expuestos en toda la región Caribe a los flujos naturales y de origen humano de aportes continentales, deben ser estudiados y monitoreados con técnicas de “punta” y en el largo plazo para establecer si las medidas de mitigación de obras de desarrollo e infraestructura civil y ecosistémica, sí están mejorando las condiciones de las aguas arrecifales.** Para citar un ejemplo, es urgente este tipo de programas científicos (no de consultoría) para evaluar si el proyecto hidrosedimentológico del Canal del Dique, por parte del Fondo de Adaptación, sí está generando mejoría en la calidad ambiental de la bahía de Cartagena y de los arrecifes de Islas del Rosario.

► **No se puede continuar basando en proyectos de consultoría la toma de decisiones sobre proyectos de desarrollo que comprometen la supervivencia futura de los ecosistemas arrecifales.**

► Las montañas, sus cuencas hidrográficas, los ríos y los ecosistemas marinos, incluyendo los arrecifes coralinos, son sistemas naturales que responden a variabilidades diarias, mensuales, intranuales e interdecadales, para no mencionar escalas más antiguas como el Holoceno reciente. Los proyectos de consultoría y estudios de impacto ambiental, estilo “copy-paste”, no pueden (¿por costos?) analizar estas variabilidades temporales de origen natural y antrópico.

En muchos casos, estamos tomando decisiones que comprometen activos ambientales con base en consultorías de pocos meses, resultado de intereses económicos, lobby de proyectos de desarrollo y rapidez en las conclusiones ambientales necesarias para dichos proyectos.

► **No tenemos líneas base ambientales sólidas y con ciencia de buen nivel sobre las cuales tomar decisiones y aplicar modelos numéricos actuales y de escenarios futuros.**

Gran parte de la información disponible ha sido tomada con estándares muy diferentes de calidad, está dispersa, y muchos de los datos no permiten conclusiones estadísticas y científicas sólidas. Necesitamos retroceder 30 años en Colombia y aceptar que, para muchos sistemas naturales, se requiere del levantamiento de información ambiental con niveles internacionales de calidad científica.

► **El sistema continuo montañas-zona costera-ecosistemas marinos no ha sido interiorizado en el ADN de las autoridades ambientales del país.** De hecho, en sus planes de monitoreo y estándares técnicos para los análisis de calidad de aguas, no está la ciencia para estimar la magnitud y variabilidad de los aportes continentales en las áreas litorales, con protocolos internacionales.

► **Al igual que la ley de compensación ambiental, gran logro del país, la inclusión del marco de sistema continuo cuenca-río-zona litoral, permitiría sentar las bases hacia una ley sobre responsabilidad ambiental, en donde las autoridades ambientales de zonas costeras cobren un cargo por la degradación ambiental originada desde otras regiones en las cuencas hidrográficas.** Por supuesto, definir cuánta contaminación o impacto ambiental de un estuario, bahía, manglar y arrecife coralino es debido a las actividades humanas aguas arriba, requiere de ciencia de buen nivel. **¿Estaríamos dispuestos a hacer dicha ciencia, no solo desde los grupos de investigación de las universidades, que trabajan con “las uñas”, sino desde una política de Estado?**

LAS MONTAÑAS CONSTRUYEN LAS COSTAS Y LOS DELTAS

Juan Camilo Restrepo L.

Profesor del Departamento de Física y Geociencias de la Universidad del Norte. Doctor en Ciencias del Mar de la Universidad del Norte, magíster en Ciencias de la Tierra de la Universidad Eafit e Ingeniero Ambiental de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Investigador del Grupo de Investigación en Geociencias de la Universidad del Norte.

¿Los ríos tienen que ver “algo” con las costas y los mares? ¡Tienen todo que ver! Son la fuente principal de los sedimentos y nutrientes que constituyen el sustento principal de las costas y de los ecosistemas marino-costeros.





Golfo de Tribuga-Agenda del Mar

A pesar de que es un aspecto poco conocido y difundido, las cuencas, los ríos y las costas forman un sistema continuo. Tienen un vínculo vital, a través del cual se realiza la transferencia de materia y energía. Es así como los ríos no solo definen una de las principales características del agua de mar, su salinidad, también aportan sedimentos y nutrientes; elementos claves para la formación de las costas y el sustento de la vida marina.

Se ha estimado que los ríos transportan 25 Gigatoneladas/año de sedimentos hacia los océanos. Este aporte supera en varios órdenes de magnitud a la cantidad de sedimentos provenientes de otras fuentes. La evolución actual de las costas, y de los deltas en particular, está determinada por la interacción de tres factores fundamentales: la disponibilidad y propiedades del sedimento, el espacio disponible para su depositación y acumulación, y la capacidad de los agentes morfodinámicos para su movilización y distribución. El rango de combinaciones que ofrece la interacción de estos factores es muy amplio, por eso existen tipos tan variados de costas. Sin embargo, la acción del hombre puede afectar de manera sensible el balance sedimentario en las costas. El caso del río Magdalena constituye un ejemplo ilustrativo de los riesgos que se presentan cuando se altera la conexión del flujo de sedimentos entre un río, el delta y la zona costera. La cuenca, el río y la desembocadura son un sistema continuo. La calidad y estabilidad de las costas inicia con la salud de las cuencas.

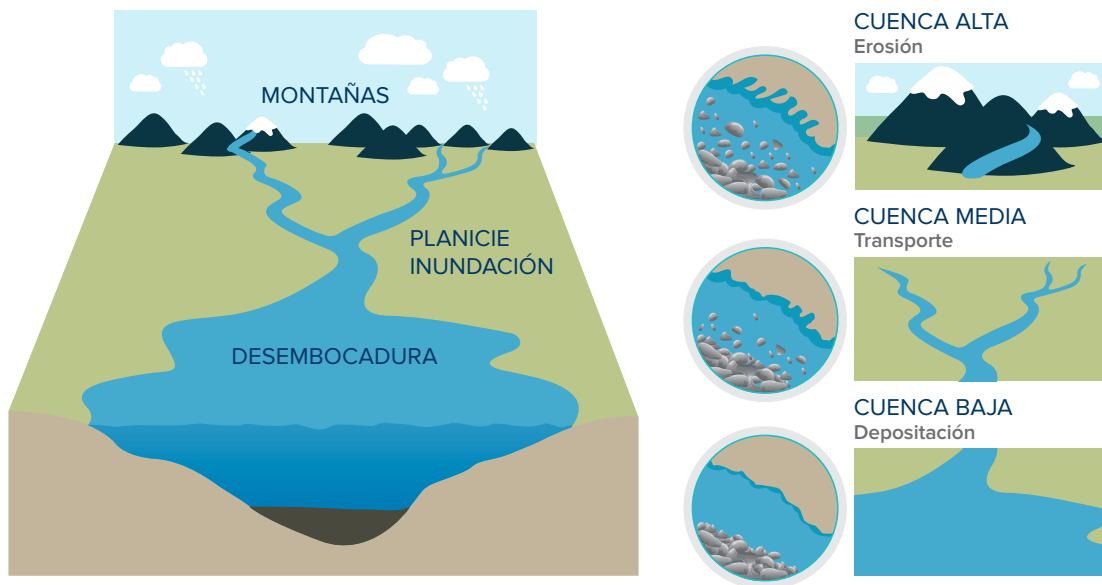


Figura 1. Representación esquemática de los procesos de transferencia de sedimentos: cuenca alta, media y baja (Tomado y adaptado de www.aquabook.agua.gob.ar)



Ríos, deltas y costas: ¿están relacionados?

No es común que la gente se haga este tipo de preguntas. Suelen parecernos ambientes diferentes, distantes y sin un vínculo determinante. No obstante, eventualmente, algunas personas se preguntan: ¿Los ríos tienen “algo” que ver con los mares y las costas? Para aquellos que nos dedicamos a la investigación de los estuarios, deltas y costas, la respuesta es tan sencilla que a veces la damos por sentada: ¡Tienen todo que ver! Las características de los deltas y las costas están determinadas por la presencia (o ausencia) y las propiedades de los ríos que desembocan en el mar. Estos ríos no solo son responsables de que el agua de mar sea salada, sino que también son la fuente principal de los sedimentos y nutrientes que constituyen el sustento primordial de las costas y de los ecosistemas marino-costeros, respectivamente. Los iones que resultan de los procesos de meteorización de las rocas se depositan en los ríos y son transportados hasta los océanos. Este fenómeno ha venido ocurriendo durante millones de años, por lo que la constante acumulación de estos iones ha llevado a que los océanos alcancen un índice medio de concentración de sales –salinidad– del 3,5% (35 g de sal por cada litro de agua). Además, los procesos de meteorización también marcan el origen de los sedimentos (gravas, arenas, limos y arcillas), uno de los insumos fundamentales del modelado de los paisajes fluviales y costeros.

“Las cosas siguen su curso, como el río Rin... el río no tiene fin... sigue su vida en el mar”: Manuel Moretti

Investigadores de la Universidad de Colorado (Estados Unidos) y Bordeaux (Francia) han estimado que a escala global se transportan 25 Gigatoneladas/año (Gigatoneladas = $GT \cdot 10^9$ Toneladas) de sedimentos fluviales hacia los océanos. De los cuales, 18 GT/año corresponden a transporte en suspensión (fracción fina), 2 GT/año (fracción gruesa) a transporte de fondo y 5 GT/año a carga disuelta (compuestos químicos y nutrientes). El aporte de los ríos supera en varios órdenes de magnitud a la cantidad de sedimentos que provienen de fuentes como el viento, la erosión costera, los icebergs y los glaciares, o los procesos biogénicos. Por lo tanto, una vez que son transportados hasta el mar, estos sedimentos se convierten en el insumo fundamental para que a través de la interacción de diferentes agentes (conocidos como agentes morfodinámicos) se defina la forma, estructura y evolución del paisaje costero. Por consiguiente, la transferencia de sedimentos y nutrientes desde los ríos hacia las costas es clave para la sostenibilidad de la mayor parte de los 1'634,701 km de costas localizados alrededor del mundo. Este vínculo ha servido para que los científicos del programa LOICZ (Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone) de la Unesco establecieran las bases del concepto cuenca-río-costa como sistema continuo, resaltando las complejas relaciones que existen entre estos ambientes, diferentes y distantes, pero con un vínculo insoluble y vital.



Golfo de Morrosquillo-Agenda del Mar

El viaje de los sedimentos: desde las montañas hasta las costas

La transferencia de sedimentos desde las montañas a las costas depende de procesos geológicos e hidrológicos. Los primeros determinan la tasa a la cual se presentan los procesos de denudación del terreno, particularmente en las zonas montañosas de las cuencas hidrográficas, conocidas como áreas fuente; mientras que los segundos, determinan la tasa a la cual se transportan los sedimentos, bien sea como carga en suspensión, fondo o disuelta.

Debido a las diferencias de escala que existen entre los procesos geológicos e hidrológicos, se ha demostrado que no existe continuidad en la transferencia de sedimentos desde las áreas fuentes hasta los sistemas fluviales; particularmente, en cuencas con grandes áreas de drenaje en donde la acumulación de sedimentos puede presentarse en diferentes escalas, espaciales y de tiempo.

La ausencia de continuidad conduce a rezagos en el flujo de sedimentos entre las áreas fuente y las áreas de depositación, localizadas principalmente en las grandes zonas de almacenamiento de depósitos fluviales, como planicies aluviales y sistemas lagunares. Estos rezagos generalmente constituyen la principal fuente de desbalance entre las tasas de denudación del terreno, calculadas a escala de cuenca como producción de sedimentos (expresada en $T/\text{km}^2/\text{año}$) y el transporte de sedimento medido en la desembocadura de un río.

Una estimación de esta continuidad es proporcionada por un índice conocido como Sediment Delivery Ratio (SDR), propuesto por investigadores de la Universidad de Exeter (Inglaterra), el cual representa el porcentaje de la erosión total de una cuenca que es transportada hasta el mar como transporte de sedimento.

La transferencia de sedimentos desde las montañas a las costas depende de la tasa a la cual se presentan los procesos de denudación del terreno –particularmente en las zonas montañosas de las cuencas hidrográficas, conocidas como áreas fuente– y de la tasa a la cual se transportan estos sedimentos.

Se ha mostrado que los ríos con grandes área de drenaje ($> 5000 \text{ km}^2$) presentan mayores tasas y una menor variabilidad en la producción y el transporte de sedimento, debido a la gran extensión de las áreas fuente y a un mayor número de zonas disponibles para la acumulación de sedimentos, respectivamente. Mientras que en ríos con una menor área de drenaje ($< 5000 \text{ km}^2$) se presenta el efecto contrario, debido al número relativamente bajo de áreas fuente y de zonas de depositación de sedimentos. A su vez, se ha encontrado que el Sediment Delivery Ratio y el área de drenaje tienen una relación inversamente proporcional, en donde el primero tiende a disminuir a medida que el área de captación se incrementa. En consecuencia, las cuencas con áreas de drenaje pequeñas ($< 5000 \text{ km}^2$) y altos relieves, generalmente tienen una respuesta más rápida frente a los cambios ambientales, y por lo tanto, la variabilidad de la producción y transporte de sedimentos es mayor.



Golfo de Tribuga-Agenda del Mar

Diversos estudios se han concentrado en evaluar el efecto de factores individuales como la escorrentía, el clima, el nivel del mar, la tectónica, la construcción de embalses y los cambios en el uso del suelo, entre otros, sobre la variabilidad de la producción y el transporte de sedimentos. Por ejemplo, un estudio desarrollado por la Universidad Eafit indicó que la escorrentía y el caudal máximo pueden explicar hasta el 58% de la variabilidad en la producción de sedimentos de la cuenca del río Magdalena. Sin embargo, estos forzadores están interrelacionados, por lo que el transporte y la depositación de sedimentos responden simultáneamente a todos estos

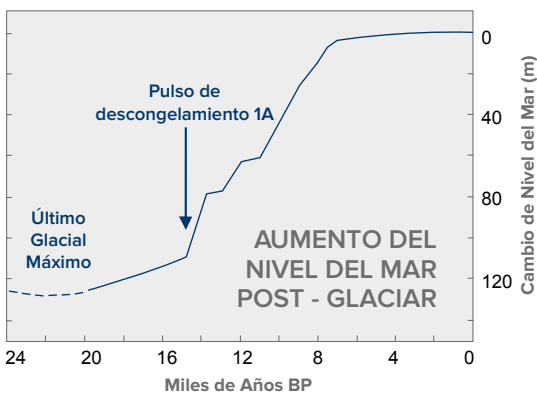
procesos. Además, la respuesta de una cuenca suele estar condicionada por factores geológicos y litológicos. Un estudio desarrollado por el Grupo de Investigación en Geociencias de la Universidad del Norte, mostró que la variabilidad de largo-mediano plazo del transporte de sedimentos de los principales ríos del Caribe colombiano está controlada por las condiciones climáticas generales del Caribe, mientras que las características fisiográficas, litológicas y ambientales de estas cuencas determinan su capacidad para magnificar, atenuar o desplazar temporalmente (variabilidad de corto plazo) los cambios inducidos por la variabilidad climática y los procesos de intervención antrópica.



Agenda del Mar

La importancia del sedimento en la formación de las costas

En primera instancia, la forma actual de las costas fue definida por los procesos geológicos, principalmente tectónicos, y las fluctuaciones del nivel del mar que ocurrieron durante el periodo geológico conocido como Holoceno temprano. A partir de ese momento, la evolución de las costas, y de los deltas en particular, ha estado determinada por la interacción de tres factores fundamentales: la disponibilidad y propiedades del sedimento, el espacio disponible para su depositación y acumulación, y la capacidad de los agentes morfodinámicos, entre los que se destacan el oleaje, las mareas y el viento, para su movilización y distribución. El rango de combinaciones que ofrece la interacción de estos factores es muy amplio, por eso existen tipos tan variados de costas. Desde las playas arenosas y los acantilados, hasta los deltas y los marismas, pasando por los manglares y los arrecifes coralinos. No obstante, la interacción de estos factores no solo define el tipo, forma y estructura de las costas, sino también su estabilidad. Es decir, su susceptibilidad a experimentar procesos de erosión.



Fluctuaciones del nivel del mar durante el periodo Holoceno (modificado y adaptado de Fleming et al. (1998);

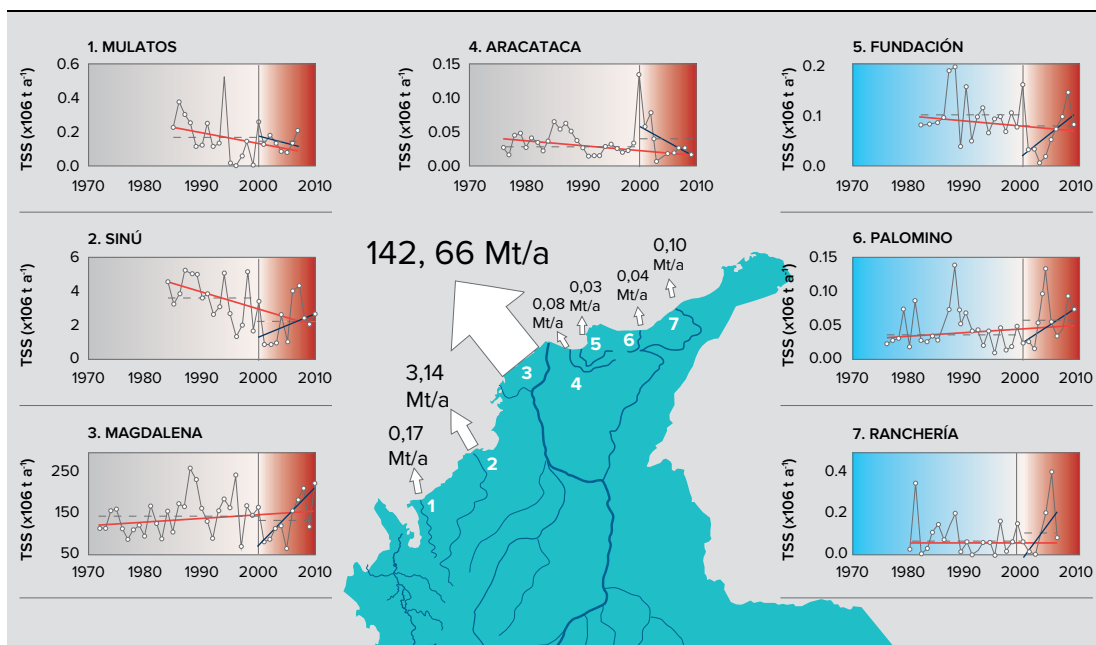
La evolución de las costas, y de los deltas en particular, está determinada por la interacción de tres factores fundamentales: la disponibilidad y propiedades del sedimento, el espacio disponible para su depositación y acumulación, y la capacidad de los agentes morfodinámicos para su movilización y distribución. El sedimento es el elemento central de esta interacción.

El balance entre el sedimento aportado y el sedimento removido dentro de un sistema costero determina su estabilidad. Cuando la cantidad de material aportado supera la cantidad de material removido, existe un exceso de sedimento y la costa experimenta un crecimiento o progradación. Por el contrario, cuando la cantidad de material removido es mayor, se presenta un déficit de sedimento y la costa experimenta un retroceso o erosión. Entonces, la erosión costera es el resultado de un aporte insuficiente de sedimentos comparado con la tasa de remoción ocasionada por la acción de los diversos agentes morfodinámicos. Un balance sedimentario también hace referencia a las fuentes de sedimentos y los lugares en donde éste se deposita de manera temporal o permanente.

Los sitios de depósito se conocen como sumideros de sedimento. Por consiguiente, la estimación del balance sedimentario de una costa exige la identificación de todas las fuentes y sumideros de sedimentos, así como la cuantificación del sedimento aportado y removido en un intervalo de tiempo. Por consiguiente, el papel de las fuentes de sedimento dentro de los balances sedimentarios de las zonas costeras pone de manifiesto nuevamente la importancia de los sedimentos fluviales, por su magnitud (25 Gigatoneladas/año), dentro de los procesos de formación y estabilidad de las costas.

Un estudio desarrollado por el Grupo de Investigación en Geociencias de la Universidad del Norte mostró que los principales ríos del Caribe colombiano presentan un transporte de sedimentos combinado de $146.3 \times 10^6 \text{ t a}^{-1}$. Un valor que representa aproximadamente el 39% de la descarga total de sedimentos ($378 \times 10^6 \text{ t a}^{-1}$) estimada para todo el mar Caribe. El río Magdalena contribuye con la mayor cantidad de estos sedimentos, con un aporte de $142.6 \times 10^6 \text{ t a}^{-1}$ de sedimentos al año. Los resultados de este estudio no solo confirmaron que el transporte de sedimentos del río Magdalena se encuentra entre los mayores a nivel mundial, sino que también constituyen un elemento central dentro de la progradación del delta del Magdalena, la morfodinámica litoral y la transferencia de nutrientes hacia el mar Caribe. Aunque los demás ríos del Caribe presentan tasas relativamente bajas de transporte de sedimento ($<1.0 \times 10^6 \text{ t a}^{-1}$), la captura de sedimentos en deltas y estuarios indican que a pesar de sus bajas descargas estos aportes tienen un papel significativo en la estabilidad morfológica de las costas a escala local. Este estudio también resaltó que se presentaron variaciones hasta del 36% en las tasas de transporte de sedimentos de los principales ríos del Caribe colombiano entre los años 2000 y 2010.

Los principales ríos del Caribe colombiano presentan un transporte de sedimentos combinado de $146.3 \times 10^6 \text{ t a}^{-1}$. Un valor que representa aproximadamente el 39% de la descarga total de sedimentos ($378 \times 10^6 \text{ t a}^{-1}$) estimada para todo el mar Caribe. El río Magdalena contribuye con la mayor cantidad de estos sedimentos, con un aporte de $142.6 \times 10^6 \text{ t a}^{-1}$ de sedimentos al año.



Transporte de sedimentos en suspensión de los principales ríos del Caribe colombiano: promedio anual en millones de toneladas por año (Mt/a) y variabilidad interanual; las líneas roja y azul representan las tendencias de largo plazo y para el periodo 2000-2010, respectivamente (tomado y adaptado de Restrepo et al., 2016).

Pese a este súbito incremento en los aportes de sedimentos fluviales, investigadores de la Universidad Eafit y la Universidad del Atlántico han señalado que de los 1642 km que conforman el litoral Caribe colombiano, cerca del 48% experimentan procesos de erosión. Lo anterior significa que el aporte de sedimentos fluviales, principalmente, no ha sido suficiente para contrarrestar el efecto del ascenso del nivel medio del mar y del incremento en los eventos extremos de oleaje, los cuales a su vez han sido magnificados por la destrucción de ecosistemas claves en la protección costera –como manglares, arrecifes coralinos y pastos marinos–, la extracción de arenas de playa y la ejecución de obras de defensa costera mal planificadas. Indudablemente, la acción del hombre no solo ha generado un desbalance en la tasa de aporte de sedimentos desde las cuencas fluviales, sino también en la forma en la que se distribuyen los sedimentos en las costas.

¿Transferencia de sedimentos en la desembocadura del río Magdalena?

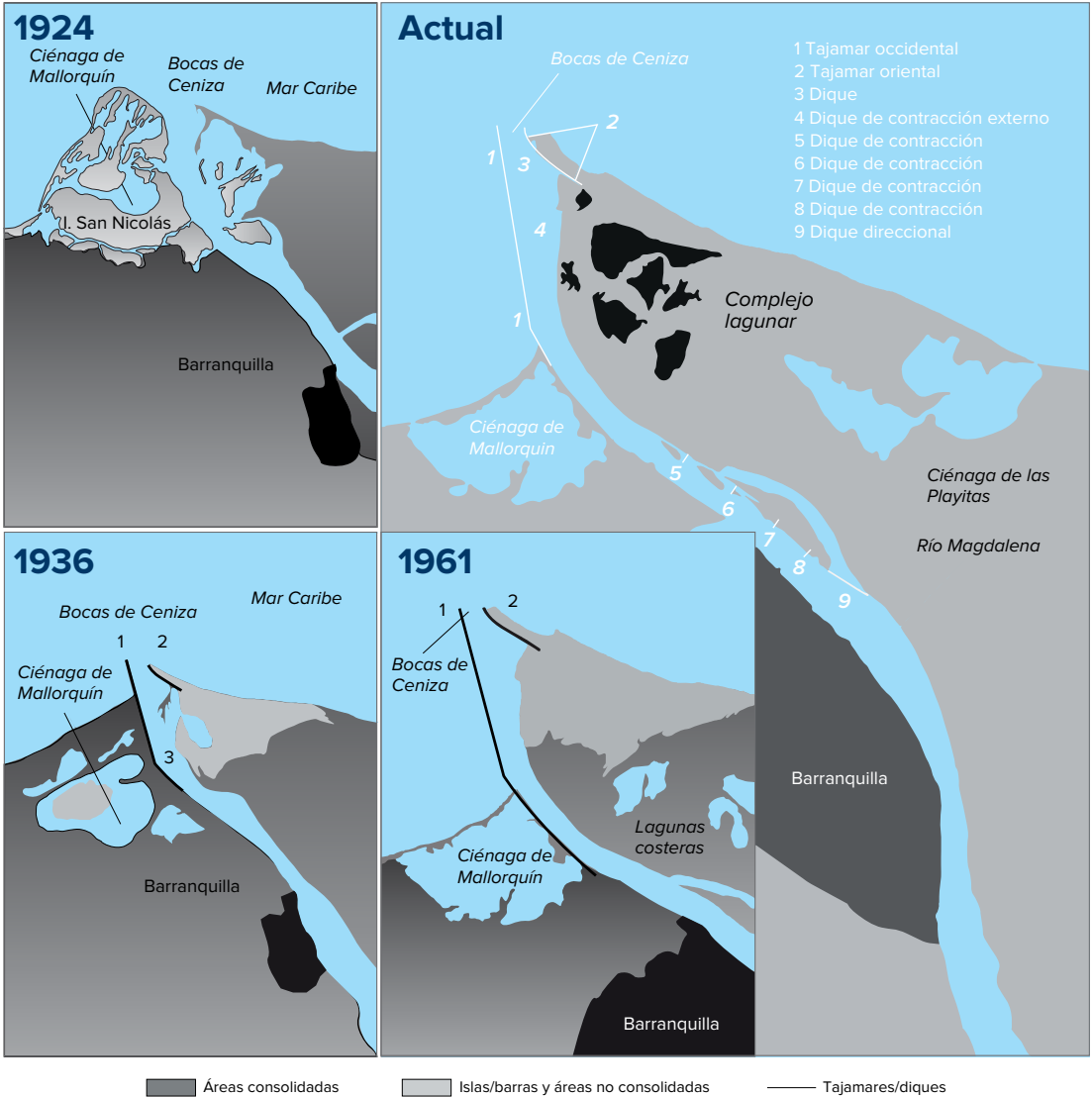
El proceso de intervención que ha experimentado la desembocadura del río Magdalena ilustra los riesgos que se presentan cuando se altera la conexión del flujo de sedimentos entre un río, el delta y la zona costera. Antes de las intervenciones efectuadas en Bocas de Ceniza, la desembocadura del río Magdalena podía clasificarse como un delta dominado por el oleaje, con cuatro canales distributarios: boca Vieja, boca Nueva, bocas de Ceniza

y Cuatro Bocas. La zona litoral adyacente se caracterizaba por la presencia de espigas litorales, islas de desembocadura, barras, cordones de playa e islas barreras. Isla Verde, isla Los Gómez y la isla San Nicolás, son quizás, las geoformas más recordadas de esta época. Además, los bosques de manglar cubrían extensas zonas a lo largo del litoral, especialmente en las islas barrera, y existía una compleja red de canales distributarios que permitían la conexión entre el río y el sistema lagunar.

No obstante, con el fin de evitar los procesos de sedimentación que se presentaban en la desembocadura y promover la navegación hacia el naciente Puerto de Barranquilla, desde 1936 se han construido una serie de obras de ingeniería. Con estas obras se buscaba canalizar la desembocadura, incrementar la velocidad del flujo y aumentar la competencia para el transporte de sedimento. Este proceso de intervención ha sido prácticamente constante. Actualmente, solo existe un canal cuasi-rectilíneo en la desembocadura (Bocas de Ceniza), con un ancho de 430 m, completamente aislado del sistema lagunar y cercano al Cañón del Magdalena. Esta desembocadura está regulada por dos tajamares, un dique de encauzamiento, seis diques de contracción y por la realización periódica de dragados. A pesar del éxito relativo de estas intervenciones, pues aún subsisten problemas en la navegación asociados a la sedimentación, y el innegable efecto sobre el desarrollo socio-económico de Barranquilla, su ejecución ha generado un costo incalculable en términos de estabilidad costera.

A pesar del éxito relativo de estas intervenciones y el innegable efecto sobre el desarrollo socio-económico de Barranquilla, su ejecución ha generado un costo incalculable en términos de estabilidad costera. Este proceso alteró el balance sedimentario, conduciendo a un retroceso significativo de la línea de costa, a la desaparición de múltiples geoformas y un déficit general de sedimentos a lo largo del litoral Caribe.

Las diferentes intervenciones que ha tenido la desembocadura del río Magdalena alteraron el balance sedimentario, ocasionando así un retroceso significativo de la línea de costa, la desaparición de múltiples geoformas y un déficit general de sedimentos a lo largo del litoral Caribe.



Este proceso de intervención alteró significativamente el balance sedimentario de esta zona, conduciendo a un retroceso significativo de la línea de costa, a la desaparición de múltiples geoformas y a un déficit general de sedimentos a lo largo del litoral Caribe. Por ejemplo, investigadores de la Universidad Eafit indicaron que entre 1936 y 1961 el retroceso de la línea de costa ubicada al occidente de la desembocadura alcanzó un total de ~3.0 km. Así mismo, este déficit de sedimento condujo a la desaparición de las islas de desembocadura, espigas e islas barrera localizadas en Puerto Colombia (Atlántico), lo que a su vez llevó a un desbalance en el flujo de sedimentos a lo largo del litoral Caribe, principalmente entre Barranquilla y Cartagena, y al incremento de la vulnerabilidad de estas costas frente al aumento de los eventos extremos de oleaje y la acción antrópica, como lo indican estudios realizados por investigadores de la Universidad Eafit y la Universidad del Atlántico. Además, investigadores del Grupo de Geociencias de la Universidad del Norte han estimado que la acumulación total de sedimentos en el delta equivale a <5% de la carga anual de sedimentos en suspensión del río Magdalena (142.6×10^6 t). Este patrón se aleja

de lo que ocurre en la mayoría de los deltas, considerados como el principal sumidero de los sedimentos fluviales. Lo que a su vez, permite que se conviertan en el principal suministro de sedimentos para las costas adyacentes.

Estudios realizados por la Universidad Eafit y el Grupo de Geociencias de la Universidad del Norte indican que el río Magdalena ha experimentado cambios significativos en su transporte de sedimentos como resultado de la intervención antrópica y cambios en los patrones climáticos. No obstante, las estructuras de ingeniería como tajamares en la boca del Magdalena alteran el funcionamiento natural del sistema deltaico en términos de la profundidad media de la desembocadura, en la posición y forma de las barras de arena frontales, y en la progresiva sedimentación de las zonas profundas del frente deltaico. Es paradójico, pues las mismas estructuras construidas para solucionar los problemas de sedimentación, han contribuido a acentuar estos problemas. La cuenca, el río y la desembocadura son un sistema continuo. Su manejo requiere un enfoque integral e innovador. La calidad y estabilidad de las costas, inicia con la salud de las cuencas.



Agenda del Mar

BIBLIOGRAFÍA

LA TRANSFERENCIA DE IMPACTOS DESDE

LAS MONTAÑAS HACIA EL MAR:

¿DE QUIÉN ES LA RESPONSABILIDAD AMBIENTAL?

Por: Juan D. Restrepo Ángel

Profesor e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra y Director del Grupo de Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Eafit. Miembro correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Bonachea, J. et al., 2010- Natural and human forcing in recent geomorphic change; case studies in the Río de la Plata basin. *Science of the Total Environment* 408, 2674-2695.

Cendrero, A., Remondo, J., Bonachea, J., Rivas, V., Soto, J., 2006. Sensitivity of landscape evolution and geomorphic processes to direct and indirect human influence. *Geogr. Fis. Din. Quat.* 29, 125-137.

Crutzen, P. J., 2002. Geology of mankind-the Anthropocene, *Nature* 415, 23, doi:10.1038/415023a.

Crutzen, P. J., Stoermer, E.F., 2000. The Anthropocene. *Global Change Newsletter* 41, 17-18.

FAO, 2010. State of the World's forests 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Report 117.

Houghton, R. A., 1994. The worldwide extent of land-use change: in the last few centuries, and particularly in the last several decades, effects of land-use change have become global. *Bioscience* 44, 305-313.

Restrepo, J. D., Syvitski, J. P. M., 2006. Assessing the Effect of Natural Controls and Land Use Change on Sediment Yield in a Major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia. *Ambio: a Journal of the Human Environment* 35, 44-53.

Restrepo, J. D., Kjerfve, B., Hermelin, M., Restrepo, J. C., 2006. Factors controlling sediment yield in a major South American drainage basin: the Magdalena River, Colombia. *Journal of Hydrology* 316, 213-232.

Restrepo, J. D., Kettner, A., Syvitski, J., 2015. Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene* 10, 13-28.

Restrepo, J. D., Escobar, R. E., Tosic, M., 2016. Fluvial fluxes from the Magdalena River into Cartagena Bay, Caribbean Colombia: Trends, future scenarios, and connections with upstream human impacts. *Geomorphology* <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X16310649>

Reusser, L., Bierman, P., Rood, D., 2014. Quantifying human impacts on rates of erosion and sediment transport at a landscape scale. *Geology* doi:<http://dx.doi.org/10.1130/G36272.1>.

Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., Ludwig, C., 2015. The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *Anthropocene Rev.*, 2(1), 81-98, doi:10.1177/2053019614564785.

Steffen, W., et al., 2016. Stratigraphic and Earth System approaches to defining the Anthropocene. AGU Publications, Earth's Future 4.

Syvitski, J. P. M., Kettner, A.J. 2011. Sediment flux and the Anthropocene. *Phil. Trans. R. Soc.* 369, 957-975.

Tosic, M., Restrepo, J. D., Lonin, S., Izquierdo, A., Martins, F., 2017. Water and sediment quality in Cartagena Bay, Colombia: Seasonal variability and potential impacts of pollution. *Estuarine Coastal & Shelf Science*. En publicación.

Vörösmarty, C. J., Meybeck, M., 2000. Riverine transport and its alteration by human activities. *IGBP Newsletter*, 39, 24-29.

LA EROSIÓN EN LAS MONTAÑAS:

CAUSAS NATURALES Y HUMANAS

Por: Juan D. Restrepo Ángel

Profesor e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra y Director del Grupo de Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Eafit. Miembro correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Etter, A., McAlpine, C., Possingham, H., 2008. Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: A regionalized spatial approach. *Annals of the Association of American Geographers* 98, 2-23.

Kaplan, J. O., Krumhardt, K. M., Ellis, E. C., Ruddiman, W. F., Lemmen, C., Goldewijk, K. K., 2010. Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. *The Holocene* 21(5) 775-791.

Kettner, A., Restrepo, J. D., Syvitski, J. P. M. 2010. Simulating spatial variability of sediment fluxes in an Andean drainage basin, the Magdalena River. *Journal of Geology* 118, 363-379.

Latrubesse, E., Restrepo, J., 2014. The role of Andean Rivers on global sediment yield. *Geomorphology* 216, 225-233.

Restrepo, J. D. 2005. Los Sedimentos del Río Magdalena: Reflejo de la Crisis Ambiental. Fondo Editorial Universidad EAFIT, 267.

Restrepo, J. D., Syvitski, J. P. M. 2006. Assessing the Effect of Natural Controls and Land Use Change on Sediment Yield in a Major Andean River: The Magdalena Drainage Basin, Colombia. *Ambio: a Journal of the Human Environment* 35, 44-53.

Restrepo, J. D., Kjerfve, B., Restrepo, J. C., Hermelin, M. 2006. Factors Controlling Sediment Yield from a Major South American Drainage Basin: The Magdalena River, Colombia. *Journal of Hydrology* 316, 213-232.

Restrepo, J. D., Zapata, P., Díaz, J. M., Garzón, J., García, C. 2006. Fluvial Fluxes into the Caribbean Sea and their Impact on Coastal Ecosystems: The Magdalena River, Colombia. *Global and Planetary Change* 50, 33-49.

Restrepo, J. D. 2008. Applicability of LOICZ Catchment-Coast Continuum in a Major Caribbean Basin: The Magdalena River, Colombia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77, 214-229

Restrepo, J. D. 2012. Assessing the effect of sea-level change and human activities on a major delta on the Pacific coast of northern South America: The Patía River. *Geomorphology* doi:10.1016/j.geomorph.2012.02.004

Restrepo, J. D., Kettner, A. 2012. Human induced discharge diversion in a tropical delta and its environmental implications: the Patía River, Colombia. *Journal of Hydrology* 424, 124-142.

Restrepo, J. D. 2013. The perils of human activity on South American deltas: lessons from Colombia's experience with soil erosion. En: *Deltas: Landforms, Ecosystems and Human Activities*. IAHS Publ. 358.

Restrepo, J. D., Kettner, A., Syvitski, J., 2015. Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene* 10, 13-28.

Syvitski, J. P. M., Kettner, A.J. 2011. Sediment Flux and the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 369, 957-975.

Syvitski, J. P. M., Milliman, J.D. 2007. Geology, Geography, and Humans Battle for Dominance over the Delivery of Fluvial Sediment to the Coastal Ocean. *The Journal of Geology* 115, 1-19.

LA DEFORESTACIÓN DE LAS MONTAÑAS DE COLOMBIA: ¿ES MÁS GRAVE DE LO QUE CREEMOS?

Por: Juan D. Restrepo Ángel

Profesor e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra y Director del Grupo de Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Eafit. Miembro correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Etter, A., McAlpine, C., Possingham, H., 2008. Historical patterns and drivers of landscape change in Colombia since 1500: A regionalized spatial approach. *Annals of the Association of American Geographers* 98, 2-23.

Kaplan, J.O., Krumhardt, K.M., Ellis, E.C., Ruddiman, W.F., Lemmen, C., Goldewijk, K.K., 2010. Holocene carbon emissions as a result of anthropogenic land cover change. *The Holocene* 21(5) 775-791.

Kim, D.H., Sexton, J.O., Townshend, J.R., 2015. Accelerated deforestation in the humid tropics from the 1990s to the 2000s. *Am. Geophys. Union* doi:[http://dx. doi.org/10.1002/2014GL062777](http://dx.doi.org/10.1002/2014GL062777).

Restrepo, J.D., Kettner, A., Syvitski, J., 2015. Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene* 10, 13-28.

¿CUÁNTA CONTAMINACIÓN HAY EN EL PEZ QUE COMEMOS?

Por: Andrea Luna Acosta, Ph.D.

Profesora e investigadora del Departamento de Ecología y Territorio de la Facultad de Estudios Ambientales y Rurales y Directora del Semillero de Investigación Aquisistemas de la Pontificia Universidad Javeriana. Profesora y científica visitante en la Universidad de La Rochelle (Francia), la Universidad de Bordeaux (Francia), el Centro de Documentación, Investigación y Experimentación sobre la Contaminación Accidental de las aguas (Cedre, Francia), la Universidad del País Vasco (España) y el Smithsonian Tropical Research Institute -STRI (Panamá). Miembro de la Sociedad Iberoamericana de Contaminación y Toxicología Ambiental -SICTA- y de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental -SETAC.

Susana Caballero, Ph.D.

Profesora e investigadora del Departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias y Directora del Laboratorio de Ecología Molecular de Vertebrados Acuáticos-Lemva. Profesora y científica visitante en University of Auckland (Nueva Zelanda), University of California (Estados Unidos), Edith Cowan University (Australia), University of Waikato (Nueva Zelanda), Ohio State University (Estados Unidos), Hatfield Marine Science Center (Estados Unidos), San Francisco State University (Estados Unidos) y Universidade Federal do Amazonas (Brasil).

Aguirre-Rubí, J. R., Luna-Acosta, A., Etxebarria, N., Soto, M., Espinoza, F., Ahrens, M. J., & Marigómez, I., 2017. Chemical contamination assessment in mangrove-lined Caribbean coastal

systems using the oyster *Crassostrea rhizophorae* as biomonitor species. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-20.

Aguirre-Rubí, J., Luna-Acosta, A., Ortiz-Zarragoitia, M., Zaldibar, B., Izagirre, U., Ahrens, M. et al. (2017). Assessment of ecosystem health disturbance in mangrove-lined Caribbean coastal systems using the oyster *Crassostrea rhizophorae* as sentinel species. *Science of The Total Environment* (In Press).

Cogua, P., Campos, N.H., Duque, G., 2012. Total mercury and methylmercury concentration in sediment and seston of Cartagena Bay, Colombian Caribbean. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 41(2), 267-285.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)/WHO (World Health Organization), 2010. Report of the joint FAO/WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption. Roma: FAO/WHO. 50 p.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2014. The state of world fisheries and aquaculture 2014. Roma: FAO. 253 p.

Fujiki, M., Tajima, S., 1992. The pollution of Minamata Bay by mercury. *Water Science and Technology*, 25(11), 133-140.

Guzmán, J.F., 2006. Pesca artesanal y condiciones ambientales. Estudio de caso: Bahía de Cartagena. Tesis de Pregrado. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 324 p.

Islam, M. S., Tanaka, M., 2004. Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine pollution bulletin*, 48(7), 624-649.

Luna-Acosta, A., 2016. Ecotoxicología in Nanotechnologies. En: E. González, E. Forero, 2016. Bio-nanotechnology for sustainable environmental remediation and energy production. Bogotá: ACCEFYN. p. 40-80.

Moreno-Madriñán, M. J., Rickman, D. L., Ogashawara, I., Irwin, D. E., Ye, J., Al-Hamdan, M.Z., 2015. Using remote sensing to monitor the influence of river discharge on watershed outlets and adjacent coral Reefs: Magdalena River and Rosario Islands, Colombia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, 204-215.

Olivero-Verbel, J., Caballero-Gallardo, K., Torres-Fuentes, N., 2009. Assessment of mercury in muscle of fish from Cartagena Bay, a tropical estuary at the north of Colombia. *International journal of environmental health research*, 19(5), 343-355.

Pauli, G., 2010. La economía azul. Norwich: Bertram Books. 336 p.

Perelló, G., Martí-Cid, R., Llobet, J.M., Domingo, J.L., 2008. Effects of various cooking processes on the concentrations of arsenic, cadmium, mercury, and lead in foods. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 2008, 56(23), 11262-11269.

Tejeda-Benítez, L., Flegal, R., Odigie, K., Olivero-Verbel, J., 2016. Pollution by metals and toxicity assessment using *Caenorhabditis elegans* in sediments from the Magdalena River, Colombia. *Environmental Pollution*, 212, 238-250.

TRB (Transportation Research Board), NRC (National Research Council), 2003. Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects. Washington, DC: The National Academies Press. 280 p.

UNEP (United Nations Environmental Program), 2000. Overview

on land-based pollutant sources and activities affecting the marine, coastal and freshwater environment in the Pacific islands region. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 174. 47 p.

WEF (World Economic Forum), 2014. The new plastics economy. Rethinking the future of plastics. Geneva: WEF. 36 p.

LA BAHÍA DE CARTAGENA: UN DESTINO FINAL DE LA CONTAMINACIÓN EN COLOMBIA

Por: Marko Tosic

Científico ambiental canadiense e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra en la Universidad Eafit. Es un candidato doctoral en el programa de Gestión Marino Costera de Erasmus Mundus en el Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Cádiz, España, y el Instituto Superior de Ingeniería de la Universidad de Algarve, Portugal. Tiene una maestría en Ingeniería de Biorrecursos de la Universidad de McGill (Montreal, Canadá).

Alonso D., Pineda, P., Olivero, J., González, H., Campos, N. 2000. Mercury levels in muscle of two fish species and sediments from the Cartagena Bay and the Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. *Environmental Pollution* 109: 157-163.

Buchman, M. F. 2008. NOAA Screening Quick Reference Tables. NOAA OR&R report 08-1, Seattle WA, Office of Response and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34p.

Díaz, J. M., Gómez, D.I. 2003. Cambios históricos en la distribución y abundancia de praderas de pastos marinos en la bahía de Cartagena y áreas aledañas (Colombia). *Boletín del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras – Invemar* 32, 57-74.

Fabricius, K. E. 2005. Effects of terrestrial runoff on the ecology of corals and coral reefs: review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin* 50: 125–146.

Guerrero, E., Restrepo M., Podlesky E. 1995. Contaminación por mercurio de la Bahía de Cartagena. *Biomédica* 15: 144-154.

Jaramillo-Colorado, B. E., Arroyo-Salgado B., Ruiz-Garcés L. C. 2015. Organochlorine pesticides and parasites in *Mugil incilis* collected in Cartagena Bay, Colombia. *Environmental Science and Pollution Research* 22 (22): 17475-17485.

Johnson-Restrepo, B., Olivero-Verbel, J., Lu, S., Guette-Fernandez, J., Baldiris-Ávila, R., O'Byrne-Hoyos, I., Aldous, K.M., Addink, R., Kannan, K., 2008. Polycyclic aromatic hydrocarbons and their hydroxylated metabolites in fish bile and sediments from coastal waters of Colombia. *Environmental Pollution* 151: 452-459.

Lonin, S., 1997. Cálculo de la transparencia del agua en la bahía de Cartagena. *Boletín Científico CIOH* 18, 85-92.

Lonin, S.A., Parra, C., Andrade, C., Thomas, I. F. 2004. Patrones de la pluma turbia del canal del Dique en la bahía de Cartagena. *Boletín CIOH* 22: 77-89.

MinSalud - Ministerio de Salud. 1984. Decreto No. 1594 del 26 de junio. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. 61 p.

Olivero-Verbel, J., Agudelo-Frías, D., Caballero-Gallardo, K. 2013. Morphometric parameters and total mercury in eggs of snowy

egret (*Egretta thula*) from Cartagena Bay and Totumo Marsh, north of Colombia. *Marine Pollution Bulletin* 69: 105-109.

Olivero-Verbel J., Johnson-Restrepo, B., Baldiris-Ávila, R., Guette-Fernández, J., Magallanes-Carreazo, E., Vanegas-Ramírez, L., Kunihiho, N. 2008. Human and crab exposure to mercury in the Caribbean coastal shoreline of Colombia: Impact from an abandoned chlor-alkali plant. *Environment International* 34: 476-482.

Parra, J. P., Betancourt, J., Espinosa, L. F., Garay, J. 2011a. Evolución y estado de la contaminación por metales pesados y compuestos orgánicos en la Bahía de Cartagena, Colombia. Informe Técnico RLA7012, INVEMAR-IAEA, Santa Marta, 13 p.

Reichel-Dolmatoff, G. 1997. Arqueología de Colombia: Un texto introductorio. Presidencia de la República, Santa Fe de Bogotá, 317 pp, ISBN 958-18-0168-5.

Restrepo, J. D. 2008. Applicability of LOICZ Catchment- Coast Continuum in a Major Caribbean Basin: The Magdalena River, Colombia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77, 214- 229.

Restrepo, J. D., Escobar, H. A. In Press. Sediment load trends in the Colombian Andes (1980-2010): Anthropogenic and climate induced causes. *Geomorphology*. Accepted 14 Dec. 2016.

Restrepo, J. D., Escobar, R. E., Tosic, M., 2016. Fluvial fluxes from the Magdalena River into Cartagena Bay, Caribbean Colombia: Trends, future scenarios and connections with upstream human impacts. *Geomorphology*, Available online 12 November 2016, ISSN 0169-555X, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.007>.

Restrepo, J. D., Kettner, A., Syvitski, J., 2015. Recent deforestation causes rapid increase in river sediment load in the Colombian Andes. *Anthropocene* 10, 13-28.

Restrepo, J. D., Park, E., Aquino, S., Latrubesse, E., 2016. Coral reefs chronically exposed to river sediment plumes in the southwestern Caribbean: Rosario Islands, Colombia. *Science of the Total Environment* 553: 316–329.

Restrepo, J. D., Zapata, P., Díaz, J. Garzón-Ferreira, J., García, C. 2006. Fluvial fluxes into the Caribbean Sea and their impact on coastal ecosystems: The Magdalena River, Colombia. *Global and Planetary Change* 50: 33-49.

Tejeda-Benítez, L., Flegat, R., Odigie, K., Olivero-Verbel, J. 2016. Pollution by metals and toxicity assessment using *Caenorhabditis elegans* in sediments from the Magdalena River, Colombia. *Environmental Pollution* 212: 238-250, ISSN 0269-7491, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.057>.

Tosic, M., Martins, F., Lonin, S., Izquierdo, A. 2016. Characterization of water renewal in Cartagena bay, Colombia: A hydrodynamic modelling approach. 11th International Conference on Environmental Management of Enclosed Coastal Seas (EMECS'11), St. Petersburg, Russia, August 22-27.

Tosic, M., Restrepo, J. D., Izquierdo, A., Lonin, S., Martins, F., Escobar, R. 2017. An integrated approach for the assessment of land-based pollution loads in the coastal zone demonstrated in Cartagena Bay, Colombia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. Accepted 12 Aug. 2017.

Tosic, M., Restrepo, J. D., Lonin, S., Izquierdo, A., Martins, F. 2017. Water and sediment quality in Cartagena Bay, Colombia: Seasonal variability and potential impacts of pollution. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. Accepted 12 Aug. 2017.

Tuchkovenko, Y. S., Lonin, S. A. 2003. Mathematical model of the oxygen regime of Cartagena Bay. *Ecological Modelling* 165 (1): 91-106, ISSN 0304-3800.

U.S. EPA (Environmental Protection Agency). 2015. National Coastal Condition Assessment 2010. EPA-841-R-15-006. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water and Office of Research and Development, Washington, DC.

ARRASTRANDO LA MONTAÑA HASTA LOS ARRECIFES CORALINOS

Por: Juan D. Restrepo Ángel

Profesor e investigador del Departamento de Ciencias de la Tierra y Director del Grupo de Investigación en Ciencias del Mar de la Universidad Eafit. Miembro correspondiente de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Barrios, L., 2000. Evaluación de las principales condiciones de deterioro de los corales pétreos en el Caribe colombiano. Monografía. M. Sc. Biol. Mar. Univ. Nal. de Colombia. Santa Marta.

Díaz, J. M.; Barrios, L. M.; Cendales, J.; Garzón-Ferreira, J.; Geister, J.; López-Victoria, M.; Ospina, G. H.; Parra, F.; Pinzón, J.; Vargas, B.; Zapata, F. A.; Zea, S., 2000. Áreas Coralinas de Colombia. Serie de publicaciones especiales No. 5 INVEMAR, Santa Marta.

Gardner, T. A.; Cote, I. M.; Gill, J. A.; Grant, A.; Watkinson, A. R., 2003. Long-term region-wide declines in Caribbean corals. *Science* 301, 958-961.

Garzón-Ferreira, J.; Gil-Agudelo, D.; Barrios, L.; Zea, S., 2001. Stony coral disease observed in southwestern Caribbean reefs. *Hidrobiologia* 460, 65-69.

Hughes, T. P.; Baird, A. H.; Bellwood, D. R.; Card, M.; Connolly, S. R.; Folke, C.; Grosberg, R.; Hoegh-Guldberg, O.; Jackson, J. B. C.; Kleypas, J.; Lough, J. M.; Marshall, P.; Nystrom, M.; Palumbi, S. R.; Pandolfi, J. M.; Rosen, B.; Roughgarden, J., 2003. Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. *Science* 301, 929-933.

Pandolfi, J. M.; Bradbury, R. H.; Sala, E.; Hughes, T. P.; Bjorndal, K. A.; Cooke, R. G.; McArdle, D.; McClenachan, L.; Newman, M. J. H.; Paredes, G.; Warner, R. B.; Jackson, J. B. C., 2003. Global trajectories of the long term decline of coral reef ecosystems. *Science* 301, 955-958.

Restrepo, J. D., Kjerfve, B., 2000. Magdalena River: Interannual variability (1975-1995) and revised water discharge and sediment load estimates. *Journal of Hydrology*, 235: 137-149.

Restrepo, J. D.; Kjerfve, B., 2004. Hydrochemical Aspects of Major Pacific and Caribbean Rivers of Colombia. En: Lacerda, L.D.; Santelli, R.E.; Duursma, E. & Abrao, J.J. (Eds.). *Facets of Environmental Geochemistry in Tropical and Subtropical Environments*. Springer Verlag, Berlin. pp. 169-187.

Restrepo, J. D., Zapata, P., Díaz, J. M., Garzón, J., García, C., 2006. Fluvial Fluxes into the Caribbean Sea and their Impact on Coastal Ecosystems: The Magdalena River, Colombia. *Global and Planetary Change*, 50: 33-49.

Restrepo, J. D., 2008. Applicability of LOICZ Catchment-Coast Continuum in a Major Caribbean Basin: The Magdalena River, Colombia", Basin: Magdalena River, Colombia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 77,214-229.

Restrepo, J. D., Alvarado, E., 2011. Assessing Major Environmental Issues in the Caribbean and Pacific Coasts of Colombia, South America: An Overview of Fluvial Fluxes, Coral Reef Degradation, and Mangrove Ecosystems Impacted by River Diversion. In: Wolanski E and McLusky DS (eds.) *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, Vol 11, pp. 289–314. Waltham: Academic Press.

Restrepo, J. D., Kettner, A., 2012. Human induced discharge diversion in a tropical delta and its environmental implications: the Patía River, Colombia. *Journal of Hydrology* 424–425 (2012) 124–142.

Restrepo, J. D., Park, E., Aquino, S., Latrubesse, E., 2016. Coral reefs chronically exposed to river sediment plumes in the southwestern Caribbean: Rosario Islands, Colombia. *Science of the Total Environment* 553, 316-329.

Restrepo, J. D., Escobar, R., Tosic, M., 2016. Fluvial fluxes from the Magdalena River into Cartagena Bay, Caribbean Colombia: Trends, future scenarios, and connections with upstream human impacts. *Geomorphology* <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.11.007>

LAS MONTAÑAS CONSTRUYEN LAS COSTAS Y LOS DELTAS

Por: Juan Camilo Restrepo L.

Profesor del Departamento de Física y Geociencias de la Universidad del Norte. Doctor en Ciencias del Mar de la Universidad del Norte, Magister en Ciencias de la Tierra de la Universidad Eafit e Ingeniero Ambiental de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Investigador del Grupo de Investigación en Geociencias de la Universidad del Norte.

Correa, I. D., Alcántara, J., 2005. Historical and recent shore erosion along the Colombian Caribbean Coast. *Journal of Coastal Research*. 49, 52-57.

Milliman, J. D., Syvitski, P.M., 1992. Geomorphic/Tectonic control of sediment discharge to the ocean: The importance of small mountainous rivers. *Journal of Geology*, 100, 525-544.

Rangel-Buitrago, N., Anfuso, G., Williams, A., 2015. Coastal erosion along the Caribbean coast of Colombia: Magnitudes, causes and management. *Ocean & Coastal Management* 114, 129-144.

Restrepo J. C., Schrottke, K., Traini, C., Ortiz, J.C., Ojareña, A., Otero, L., Higgins, A., Marriaga, L. 2016. Sediment Transport Regime and Geomorphological Change in a High Discharge Tropical Delta (Magdalena River, Colombia): Insights from a Period of Intense Change and Human Intervention (1990-2010). *Journal of Coastal Research*. 32(3), 575-589

Restrepo, J. C., Ojareña, A., Torregroza, A. Suspended Sediment Load in Northwestern South America (Colombia): A New View on Variability and Fluxes into the Caribbean Sea. *Journal of South American Earth Sciences*. En Prensa.

Restrepo, J. D., Kjerfve, B., Hermelín, M., Restrepo, J. C., 2006. Factors Controlling Sediment Yield in a major South American Drainage Basin: the Magdalena River, Colombia. *Journal of Hydrology*, 316: 213-232

Syvitski, J. P. M., Peckham, S., Hilberman, R., Mulder, T., 2003. Predicting the terrestrial flux of sediment to the global ocean: a planetary perspective. *Sedimentary Geology* 162, 5 – 24.

Walling, D., 1983. The sediment delivery problem. *Journal of Hydrology*, 65, 209-225

ESTA PUBLICACIÓN FUE
POSIBLE GRACIAS A:



Eafit

Conservación
Internacional
Colombia

APOYAN

