

# CONSIDERACIONES ÉTICAS Y AMBIENTALES EN EL PROCESO DE ACIDIFICACIÓN OCEÁNICA

*ETHICAL AND ENVIRONMENTAL CONSIDERATIONS IN THE PROCESS  
OF OCEAN ACIDIFICATION*

*CONSIDERAÇÕES ÉTICAS E AMBIENTAIS NO PROCESSO DE  
ACIDIFICAÇÃO OCEÂNICA*

Nelson de Jesús Gil-Luna\*

## RESUMEN

La acidificación oceánica es un problema creciente que afecta el medio ambiente global, cuyas repercusiones son detectables ahora, que ponen en riesgo el recurso hídrico más extenso del planeta e influyen en los cambios climáticos que se pueden documentar en todo el planeta. El presente artículo analiza la protección del medio marino como una medida para asegurar a las generaciones futuras un ambiente sano, que les garantice una mejor forma de vida. Se exponen los diferentes principios que rigen a la bioética, y se establece su relación con los procesos de desarrollo sostenible y el incremento de la acidificación que ocurre en el océano y que afecta a una gran cantidad de comunidades de escasos recursos a nivel mundial.

**PALABRAS CLAVE:** bioética; cambio climático; acidificación oceánica; desarrollo sostenible; ambiente; principios bioéticos (Fuente: DeCS).

DOI: 10.5294/pebi.2017.21.2.6

PARA CITAR ESTE ARTÍCULO / TO REFERENCE THIS ARTICLE / PARA CITAR ESTE ARTIGO

Gil-Luna NJ. Consideraciones éticas y ambientales en el proceso de acidificación oceánica. *pers.bioét.* 2017; 21(2): 259-274. DOI: 10.5294/pebi.2017.21.2.6

FECHA DE RECEPCIÓN: 2017-02-26

FECHA DE ENVÍO A PARES: 2017-04-06

FECHA DE APROBACIÓN POR PARES: 2017-06-24

FECHA DE ACEPTACIÓN: 2017-09-04

\* Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Venezuela.  
ngil@ipmjmsm.upel.edu.ve.

**ABSTRACT**

Ocean acidification is a growing problem that affects global environment. Its effects are detectable now, putting the most extensive water resource on the planet at risk and influencing the climate changes that can be documented across the globe. This paper analyzes the protection of the sea as a measure to ensure a healthy environment for future generations, guaranteeing a better way of life for them. We present the different principles governing bioethics, and we establish their relationship with the processes of sustainable development and the increase of acidification in the ocean, which affects a large number of communities of scarce resources in the world.

**KEY WORDS:** Bioethics; climate change; ocean acidification; sustainable development; environment; bioethical principles (Source: DeCS).

---

**RESUMO**

A acidificação oceânica, cujas repercussões são detectáveis agora, é um problema crescente que afeta o meio ambiente global, que coloca em risco o recurso hídrico mais extenso do planeta e influencia nas mudanças climáticas que podem ser documentadas em todo o mundo. O presente artigo analisa a proteção do meio marinho como uma medida para assegurar um ambiente saudável às futuras gerações, que lhes garanta uma melhor forma de vida. Os diferentes princípios que regem a bioética são expostos e é estabelecida sua relação com os processos de desenvolvimento sustentável e o aumento da acidificação que ocorre no oceano e que afeta grande quantidade de comunidades com recursos escassos.

**PALAVRAS-CHAVE:** acidificação oceânica; ambiente; bioética; desenvolvimento sustentável; mudança climática; princípios bioéticos (Fonte: DeCS, Bireme).

---

## INTRODUCCIÓN

A partir de la primera reunión que se efectuó en octubre de 1984, donde se crea la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (World Commission on Environment and Development) el planeta dirigió la mirada al ambiente y comenzó a prestar más atención al cuidado del mismo. Sin embargo, los procesos industriales y domésticos han afectado al ambiente de tal manera que es necesario intervenirlos para intentar llevarlo a un estado de menor afección (1).

El cambio climático global es considerado una de las amenazas más graves a los ecosistemas en todo el mundo. Este es, sin lugar a dudas, uno de los problemas ambientales más importantes a los que se ha enfrentado el ser humano (2). La acidificación oceánica (AO) ha empezado también a reconocerse, desde al menos cinco años atrás, como “el otro problema del CO<sub>2</sub>”, puesto que este gas tiene la característica de ser un gas de efecto invernadero (GEI), situación que lo hace responsable, en parte, del proceso actual de calentamiento global (3). Este hecho ha afectado al medio de tal manera que ahora podemos observar cambios en la química de océano y el clima de la tierra.

## A MODO DE INICIO

Los ecosistemas marinos proporcionan bienes y servicios a la humanidad, incluido el de servir como fuente de alimento a muchas naciones y miles de millones de personas que dependen de ese ecosistema como de fuente principal para la obtención de proteínas de origen animal a bajo costo. La investigación reciente ha puesto de manifiesto otros factores que pueden subyacer a la variabilidad en la sensibilidad entre y dentro de grupos taxonómicos.

LAS TEMPERATURAS ELEVADAS PUEDEN AUMENTAR LA TASA METABÓLICA DE LOS ORGANISMOS DENTRO DE SU RANGO DE TOLERANCIA TÉRMICA, PERO CAUSAN UN RÁPIDO DETERIORO DE LOS PROCESOS CELULARES Y DE RENDIMIENTO MÁS ALLÁ DE LOS LÍMITES DE TOLERANCIA.

Por ejemplo, el aumento de alimentos o nutrientes podría compensar las reducciones en la calcificación y el crecimiento asociado a la acidificación en los corales, así como en mejillones (4, 5), los cuales se ven afectados por la disminución del pH y la disponibilidad de aragonita en el medio marino para producir sus exoesqueletos y conchas (6, 7).

Además, la adaptación puede hacer a una población más o menos sensible que a otra de la misma especie. Algunas especies pueden ser capaces de aclimatarse a la acidificación por plazos más largos (8).

También, los niveles crecientes de CO<sub>2</sub> atmosférico están impulsando simultáneamente un calentamiento oceánico, y un creciente número de experimentos ha probado el efecto combinado de acidificación y calentamiento. Las temperaturas elevadas pueden aumentar la tasa metabólica de los organismos dentro de su rango de tolerancia térmica, pero causan un rápido deterioro de los procesos celulares y de rendimiento más allá de los límites de tolerancia (9). Por tanto, predecir los efectos combinados del calentamiento y la acidificación es difícil, así como también es muy complejo indicar

que el calentamiento tampoco podría contrarrestar los efectos de la acidificación del océano (10), o agravarlo a través de una acumulación de efectos de estrés térmico (11). Debido a lo anterior, la ciencia se ha abocado a evaluar la respuesta de los tres principales reservorios planetarios (terrestre, oceánico y atmosférico) ante el aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera y la acumulación de gases de efecto invernadero, junto con la identificación de las perturbaciones que genera en el ciclo global del carbono y el clima (12)

No es necesario aclarar que los problemas ambientales tienen su origen antropogénico, generado posiblemente por una sensación de superioridad de la especie humana frente al ambiente pues este es “un ser que no entendemos, con el que no sabemos entablar un diálogo” (13). Si bien el Génesis<sup>1</sup> plantea que el hombre fue hecho “para que domine sobre toda la tierra y sobre todo animal”, este elemento —que parece evidente para la mayoría de la sociedad occidental— pasa a generar un intento de dominio del ambiente. En Venezuela, Simón Bolívar, nuestro Libertador, lo demuestra con su famosa frase “¡Si la naturaleza se opone, lucharemos contra ella y haremos que nos obedezca!”. En este aspecto algunas personas pudieran presumir que por mandato divino el hombre “civilizado” es amo y señor de todo lo que le rodea, y ha hecho creer a la especie humana que puede hacer lo que quiera con el ambiente, y tal como lo plantea Quiñones Colarte (14), la especie humana no ha entendido que el planeta afronta las consecuencias de un cambio climático sin precedentes, producto —entre otras cosas— de su propia acción.

1 Cfr. Gn. 1, 26

Sin embargo, creencias consideradas en algún momento “primitivas” o ancestrales (denominadas sabidurías ancestrales) permitían a los indígenas de diversas zonas del mundo aprender a vivir en equilibrio con el ambiente, tomando de la naturaleza lo necesario para su subsistencia, y como “pago” por este servicio ambiental le procuraban vida y evitaban, a través de diferentes prácticas, alterar los ciclos naturales ya que habían formado parte de sus vidas y permitían su sustentabilidad; por esto transmitían, y aún lo hacen, estas enseñanzas sustentables de generación en generación.

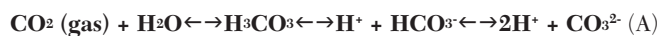
Se puede plantear hasta la saciedad por qué ocurre esto y quizás todas las respuestas posibles nos lleven a un lugar común. Por ejemplo, la falta de formación e información de los jóvenes, y no tan jóvenes, en aspectos ecológicos de totalidad, de conocer plenamente el sistema ecológico dentro del cual viven, así como analizar al individuo, al grupo y a la comunidad como relación ecológica y mantener los equilibrios en los ecosistemas creados por el hombre (15) pudiera ser una de las posibles respuestas, pero es hartamente demostrado que factores como el crecimiento indiscriminado de la población y el desarrollo social y tecnológico producido en los últimos años han dado como resultado un incremento importante en la acumulación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera y los océanos, situación que tiene el potencial para reestructurar los ecosistemas marinos (16). Este escenario hace que el aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico a niveles atribuibles a la actividad humana haya reducido el pH del océano en aproximadamente 0,1 unidades. De igual manera, la modernidad en el uso de nuevas formas de energía contaminante o de sistemas político-económicos que van de la mano con la depredación ambiental tienen responsabilidad en estos hechos.

ACTUALMENTE, LOS ESTUDIOS QUE SE HAN REALIZADO PARA ESTIMAR EL INTERCAMBIO DE CO<sub>2</sub> ENTRE LA ATMÓSFERA Y LOS OCÉANOS COSTEROS DAN RESULTADOS INCIERTOS. LOS POCOS ESTUDIOS DISPONIBLES REPORTAN ÁREAS DE INTENSO INTERCAMBIO DE CO<sub>2</sub> EN LA INTERFACE AIRE-AGUA, LAS CUALES ACTÚAN EN AMBOS SENTIDOS: COMO FUENTES O SUMIDEROS CON RESPECTO A LA ATMÓSFERA.

### EL CO<sub>2</sub> EN EL MAR

Se conoce que la corteza terrestre y el océano son los grandes reservorios de carbono (12). El océano costero contiene algunas de las áreas más productivas biológicamente de los océanos mundiales (17). Estas regiones costeras soportan gran parte de los recursos marinos capturados por el hombre (18), a pesar de que cubren solo una estrecha franja del área superficial total de los océanos. Es de esperarse que estas regiones actúen como fuertes sumideros de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) antropogénico debido a sus altas tasas de fijación de carbono fotosintético (17).

El ciclo del carbono de los mares a nivel de la plataforma continental ha sido fuertemente perturbado por actividades antropogénicas desde el inicio de la revolución industrial (19). El caso del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en la atmósfera constituye solamente ~0,038% del total de la combinación de gases existentes (380 ppm o  $p_{atm}$  en unidades de presión parcial). Sin embargo, su solubilidad en el agua de mar es mayor que la del nitrógeno y la del oxígeno debido a que este gas disuelto reacciona con el agua para formar ácido carbónico y sus productos de disociación, bicarbonato y carbonato, tal y como se muestra en la siguiente ecuación (20):



Las especies resultantes de la reacción (A) y su relación con el rango de pH del agua de mar, hacen que la presencia de CO<sub>2</sub> como gas disuelto se encuentre en cantidades muy pequeñas en el agua de mar (~0,23 ml l<sup>-1</sup> o < 0,23 ppm), es decir, no llega al 2% del TCO<sub>2</sub>, en contraposición al bicarbonato, el cual es la especie química más abundante y se consume por efecto de la fotosíntesis (20), lo que genera cambios importantes en el ciclo del carbono tanto orgánico como inorgánico en ríos y humedales (21, 22), así como por las alteraciones en la intensidad del intercambio de CO<sub>2</sub> en la interfase aire-agua de los océanos costeros (1).

Actualmente, los estudios que se han realizado para estimar el intercambio de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y los océanos costeros dan resultados inciertos (19). Los pocos estudios disponibles reportan áreas de intenso intercambio de CO<sub>2</sub> en la interface aire-agua, las cuales actúan en ambos sentidos: como fuentes (22-24) o sumideros (25-27) con respecto a la atmósfera.

En la década pasada, diversos estudios estimaron la asimilación de CO<sub>2</sub> atmosférico por parte de los océanos costeros entre 0,18 y 0,45 Pg C y<sup>-1</sup>. Sin embargo, Laruelle, Lauerwald, Pfeil y Regnier (28) estimaron que los océanos costeros actúan como débiles sumideros de

CO<sub>2</sub> atmosférico, y fijan en promedio -0,19 Pg C y<sup>-1</sup>. Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Wanninkhof *et al.* (29), quienes estimaron la fijación de CO<sub>2</sub> atmosférico por parte de los océanos costeros en -0,18 Pg C y<sup>-1</sup>.

### EL PH EN EL MEDIO MARINO Y SU RELACIÓN CON EL CO<sub>2</sub>

En el océano, el pH ha mostrado cambios no solo en tiempo y espacio debido a procesos de advección, sino también como resultado del incremento en la absorción de CO<sub>2</sub> de origen antropogénico (30). Este incremento de CO<sub>2</sub> en el océano ha provocado cambios en la profundidad de los horizontes de saturación de aragonita (HSΩA) (31, 32).

La acidificación del océano como resultante de la variabilidad del pH provoca cambios en los ecosistemas y en la biodiversidad marina. Este proceso puede afectar la seguridad alimentaria y limita la capacidad del océano de absorber el CO<sub>2</sub> procedente de las emisiones antropogénicas. Las repercusiones económicas de la acidificación del océano podrían ser considerables (33).

Se ha indicado que la absorción oceánica de CO<sub>2</sub> atmosférico proveniente de la quema de combustibles fósiles podría generar grandes cambios del pH en el agua de mar en los próximos siglos (34, 5).

De acuerdo con el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (35), el pH ha disminuido en 0,1 unidades desde la revolución industrial, tendencia que en los últimos decenios se ha mantenido a un ritmo de -0,0014 a -0,0024 por año, y Marsh (36) plantea

que el pH podría disminuir en 0,5 unidades hacia el 2100, aun cuando otras investigaciones también señalan que tal reducción podría estar entre 0,065 y 0,31 unidades (16).

### ACIDIFICACIÓN OCEÁNICA, DISPONIBILIDAD DE ARAGONITA E IMPACTO EN LOS ECOSISTEMAS MARINOS Y SUS ORGANISMOS CALCÁREOS

La acidificación del océano ha tenido impacto en los ecosistemas marinos, que incluyen los corales tropicales constructores de arrecifes, corales de agua fría, algas coralinas incrustantes y pastos marinos, entre otros, lo que ha ocasionado cambios en sus funciones (36, 37) y en los arrecifes coralinos, y causa la reducción de su biodiversidad, blanqueamiento y, en algunas ocasiones, su muerte (38, 39).

En la bibliografía son ampliamente comentados los efectos perjudiciales que el cambio de pH en el océano ha tenido en los corales, tales como disminución del crecimiento del esqueleto, reducción de la densidad de las zooxantelas, disminución de la calcificación y variaciones en las comunidades marinas asociadas (40-43).

La acidificación del océano también afecta a las comunidades de macroalgas, con la disminución de la riqueza de algunas especies y la alteración de sus hábitats (44). Los llamados “pastos marinos”, que son poblaciones de macrófitas acuáticas (plantas vasculares como *Thalassia testudinum* o *Poisodonia oceánica*), también pueden verse afectados por esta disminución de pH, cuyo impacto varía según la especie y las condiciones ambientales. Estas perturbaciones se evidencian en la distribución al alterar la competencia entre las especies de pastos marinos y sus poblaciones y las de algas (45, 46).

INVESTIGACIONES INDICAN QUE AUNQUE DURANTE EL SIGLO PASADO EL pH DISMINUYÓ EN 0,1 UNIDADES, LAS TASAS DE CALCIFICACIÓN DE LOS CORALES HAN AUMENTADO, AL IGUAL QUE LA TEMPERATURA Y LA CONCENTRACIÓN DE CO<sub>2</sub>, POR TANTO, LA DISMINUCIÓN POTENCIAL DEL pH OCEÁNICO NO PARECE HABER CAUSADO UN DETRIMENTO EN LOS CORALES Y OTRAS FORMAS DE VIDA MARINA, LO QUE GENERA RESULTADOS CONTROVERSIALES.

Esta acidificación afecta igualmente a los ecosistemas de manglares, ya que la reducción del pH incide en la solubilidad química, la disponibilidad de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica, la mineralización diagenética de la materia orgánica, y ocasiona alteraciones en la cadena trófica de los estuarios asociados a este ecosistema (47, 48).

Sin embargo, investigaciones indican que aunque durante el siglo pasado el pH disminuyó en 0,1 unidades, las tasas de calcificación de los corales han aumentado, al igual que la temperatura y la concentración de CO<sub>2</sub>, por tanto, la disminución potencial del pH oceánico no parece haber causado un detrimento en los corales y otras formas de vida marina, lo que genera resultados controversiales (49).

Para la zona del Caribe existen pocas investigaciones en las cuales se relacione la variación del pH marino con la absorción de CO<sub>2</sub>, y cómo esta variación impacta en la disponibilidad de aragonita que se encuentra en el medio marino, para generar la cobertura de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) en organismos fotosintéticos marinos calcáreos.

Desde la bioética ¿qué principios se violan o se fortalecen? A la luz de lo expuesto la bioética, o más aún una ética ambiental o ecobioética, se muestra como la indicada

para responder las principales preguntas que nos hacemos con relación con esta situación. Este es el punto central de este escrito: tratar de ver, desde una perspectiva bioética, cómo el hombre puede disminuir los procesos de acidificación, o por lo menos mitigar este punto tomando en cuenta estos diferentes principios, a fin de generar conciencia por un ambiente sostenible y garantizar los principios propuestos en el informe Brundtland: “Garantizar las necesidades del presente sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

Es necesario recordar en qué consisten la ética y la bioética. Inicialmente la ética, desde una concepción inicial más simple, la griega, se define como la ciencia de las costumbres (50), pero ya en la actualidad se la define como “la ciencia de la conducta, ya sea derivada de la naturaleza del hombre en razón del fin a que debe conformarse y de los medios ordenados a conseguirlo, ya sea en razón del impulso motor de la conducta humana y de los actos que la determinan” (50). La bioética es una disciplina iniciada por van Rensselaer Potter, que plantea el estudio sistemático de la conducta humana en el área de las ciencias de la vida y del cuidado de la salud, analizada a la luz de los valores y de los principios morales (51), lo que permite hacer juicios de valor sobre lo biológico, en el sentido más amplio del término, y obrar en consecuencia.



Sin embargo, no solo se puede analizar esto desde esa perspectiva, es necesario incluir a la ecología como ciencia que, unida a la bioética, no solo haga que esta última analice los principios y valores morales sobre la vida, sino que también aporte el sentido de globalidad en torno a la vida y a la naturaleza como sistema. Este es el punto básico de la ecobioética. El poder entender cómo valoramos tanto la vida de organismos marinos como el equilibrio del ambiente y, de forma colateral, la disminución de la calidad de vida de las comunidades adyacentes a las zonas marinas y a toda la comunidad mundial, pues estas alteraciones afectan de manera global nuestro planeta.

Los principios bioéticos universalmente conocidos y planteados por Beauchamp y Childres (52) son insuficientes para este tipo de problemas. Por eso, de acuerdo con lo planteado anteriormente sobre la diferencia entre la bioética y la ecobioética surgen otros principios que se relacionan directamente con la manera de abordar y de apropiarse del problema ambiental desde otras perspectivas, no solamente ecológicas, sino también desde un trípode económico, social y cultural, que representa los principales compartimientos o dimensiones del desarrollo sustentable. Con base en estas apreciaciones, entonces, se discutirán y se incluirán los principios de sostenibilidad, el principio precautorio, de progresividad, de responsabilidad diferenciada y concertación, de solidaridad y de conservación.

EL SER HUMANO SIEMPRE  
TIENDE Y ASPIRA A LA  
PROSPERIDAD. EL SER  
SOSTENIBLE SE PUEDE DEFINIR  
DESDE LA CAPACIDAD DE  
SATISFACER LAS NECESIDADES  
DE LA ACTUAL GENERACIÓN  
SIN SACRIFICAR LA CAPACIDAD  
DE FUTURAS GENERACIONES  
DE SATISFACER SUS PROPIAS  
NECESIDADES.

A continuación se realiza un análisis de estos principios afectados.

### **Principio de sostenibilidad**

El ser humano siempre tiende y aspira a la prosperidad. El ser sostenible se puede definir desde la capacidad de satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus

propias necesidades (53). Si un sistema destruye su propia base biofísica resulta insostenible (54); para ello, el desarrollo económico y social, y el aprovechamiento de los recursos naturales debe realizarse con una gestión adecuada; es decir, canalizar o pensar en dos aspectos que son de suma importancia: el respeto a los límites biológicos (*input* y *output* de elementos en el ambiente) y el pensar en el futuro (54). Estos dos aspectos o dimensiones del principio de sustentabilidad pareciera que no están planteados en estos momentos, pues el incremento de los gases invernadero (principalmente el CO<sub>2</sub>) producto de la combustión incompleta en chimeneas industriales, y la quema de combustibles fósiles por parte

de los vehículos automotores, sin que haya un proceso avanzado de investigación en energías alternativas, tanto para las casas como para los carros (los que existen son, hasta ahora, procesos exigüos), no garantizan una disminución de las cantidades de carbono presentes en el ambiente y, por consiguiente, un mantenimiento estable en los niveles de pH en el ambiente marino.



### ***Principios de libertad y autonomía***

Este principio determina la libertad y la autonomía que tiene el hombre para obrar en función de aspectos positivos para el ambiente, y de manera concurrente para con él. No obstante, se observa que un gran número de personas malinterpretan este principio y plantean que pueden hacer lo que quieran. Es la idea del libre albedrío, que es básicamente la potestad que el ser humano tiene de obrar según considere y elija. Pero, desde una perspectiva ética, ¿todo lo que el hombre hace en el ambiente, lo hace a favor de este? En los últimos años se ha visto cómo el ambiente marino es presa de la contaminación por plástico. De acuerdo con la Agencia Europea del Medio Ambiente, aproximadamente 10 millones de toneladas de basura van a parar a los mares y océanos del mundo, y la forma principal de estos desechos es plástico, tales como las botellas de bebidas y las bolsas desechables.

El hombre, de acuerdo con este principio, debe tender a obrar de manera positiva, a hacer el bien en favor del ambiente y en favor de él mismo. Este hecho mejoraría el proceso de desarrollo sostenible, lo que garantizaría a las generaciones futuras un ambiente en condiciones adecuadas y una sostenibilidad “económica” que permitiría no comprometer los recursos actuales ni los futuros en este momento.

### ***Principio de precaución o principio precautorio***

El no tener información científica sobre un daño grave o irreversible al ambiente no implica postergar la adopción de medidas eficaces para impedirlo. En este caso, las investigaciones que se han realizado sobre los procesos de acidificación oceánica no dan resultados conclusivos,

LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA SE HA CONVERTIDO EN UNA PIEZA CLAVE EN LA DOMINACIÓN Y APROPIACIÓN DE LA NATURALEZA Y CARGA CON UNA TRADICIÓN QUE ES POSITIVISTA. SE PRESENTA A SÍ MISMA COMO UNA UNIDAD OBJETIVA, MATERIALISTA, UNIVERSAL Y RACIONAL.

pues dependen del paradigma de investigación que el científico adopte. Sin embargo, los efectos corrosivos planteados, y que pueden ser observados, obligan de forma inmediata a tomar en cuenta este principio y a actuar de la manera más responsable en favor del ambiente. Tal y como lo plantea Gudynas (55), la ciencia contemporánea se ha convertido en una pieza clave en la dominación y apropiación de la naturaleza y carga con una tradición que es positivista. Se presenta a sí misma como una unidad objetiva, materialista, universal y racional. Su finalidad es buscar la verdad y apela a procedimientos conocidos como “método científico” que es único, experimental y fáctico. Esta posición, muy simplista por demás, le ha costado fuertes críticas a los procesos científicos que tratan de explicar los fenómenos que ocurren en el planeta desde el punto de vista ambiental, debido a que legitima el dominio sobre el ambiente. En este aspecto, el propio Gudynas plantea que “se parte de la premisa de que todo es conocible y, por tanto, es controlable y manipulable. La naturaleza, los demás seres vivos, y el entorno inorgánico, están al servicio de los seres humanos y no poseen valores propios. Por tanto, esta ciencia es profundamente antropocéntrica” (55).

EL PRINCIPIO DE BENEFICENCIA SE BASA EN LA OBLIGACIÓN MORAL DE ACTUAR EN BENEFICIO DE LOS DEMÁS Y DEL AMBIENTE QUE NOS RODEA. UNO DE LOS ELEMENTOS MÁS IMPACTANTES EN EL PROCESO DE ACIDIFICACIÓN OCEÁNICA, Y QUE ENVÍA UNA CANTIDAD CONSIDERABLE DE CO<sub>2</sub> AL AMBIENTE, ES LA TALA DE ÁRBOLES, TANTO EN ZONAS COSTERAS COMO EN SELVAS.

### ***Principios de beneficencia y de no maleficencia***

El principio de beneficencia se basa en la obligación moral de actuar en beneficio de los demás y del ambiente que nos rodea. Uno de los elementos más impactantes en el proceso de acidificación oceánica, y que envía una cantidad considerable de CO<sub>2</sub> al ambiente, es la tala de árboles, tanto en zonas costeras como en selvas. Esta tala en zonas costeras está relacionada con desarrollos urbanísticos. Es posible pensar que se mejora la vida de las comunidades, pero al final se degrada al océano y se actúa en beneficio de los demás, pero no en beneficio del ambiente. Lo que implica que el principio de beneficencia se logra a la mitad. Esto se encuentra asociado al paradigma desarrollista, que plantea un progreso material ilimitado que fija las siguientes pautas: “lo importante es acumular gran número de medios de vida, de riquezas materiales, de bienes y servicios, a fin de poder disfrutar nuestro corto paso por la Tierra” (15).

Al degradar el océano también se viola el principio de no maleficencia, que se refiere a no producir daño al ambiente y prevenirlo. Cuando se contamina o se disminuye el pH de los mares, se afecta la biota marina, es decir, se afectan formas de vida. La ética convierte a la ecología en la conciencia. Esto hace que se traduzcan conclusiones científicas y se transformen en imperativos

de comportamiento que permitan el cuidado del ambiente. No dañar o perjudicar es diferente de no producir beneficios: si bien estamos obligados a no perjudicar a otros, no estamos obligados en la misma medida a beneficiarlos, pero nunca podremos tener certeza —o al menos, seguridad— de no perjudicar a otros con nuestras acciones e intervenciones (sean estas en la humanidad, en la naturaleza, en otros seres vivos, entre otros).

### ***Principio de progresividad***

El principio de progresividad plantea que los objetivos ambientales deben ser logrados de forma gradual, con metas a corto, mediano y largo plazo, para facilitar el cumplimiento de las actividades y disminuir el impacto ambiental que puedan conllevar. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), en su informe de 2015, planteó los objetivos logrados para ese año, los cuales, trazados en 2000 se denominaron Objetivos de Desarrollo del Milenio. En su objetivo 7 se planteaba “garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”, y aunque en el informe presentado se indica que “prácticamente se han eliminado las sustancias que agotan la capa de ozono y se espera que la capa de ozono se recupere a mediados de este siglo”, también se informa que “las emisiones de dióxido de carbono han aumentado en más de 50 % desde 1990 en todo el mundo”.

Desde esta perspectiva, el objetivo principal —mantener el pH neutral del mar, para evitar los efectos de acidificación— no se ha logrado, y el impacto sobre las comunidades marino-costeras y sobre los habitantes de las mismas sigue siendo un peligro latente. La degradación de este medio afectará de forma progresiva los derechos humanos de estas comunidades, y ¿quién levantará la voz por las personas más pobres del planeta? ¿Qué Gobierno de los países industrializados se atreverá, con elementos de defensa éticos, a levantar la voz y defender los derechos de los países más pobres, afectados principalmente por la industrialización y la negación de ellos mismos a invertir en tecnologías más limpias y que sean más amigables con el ambiente? Todas estas preguntas quedan en el aire para el debate en su momento.

### ***Principio de responsabilidad diferenciada y concertación***

Este principio bioético es de suma importancia pues plantea que quien genera efectos degradantes al ambiente debe ser responsable de los costos de las acciones de prevención y corrección para mitigar los impactos causados actuales o futuros, es decir, “el que rompe, paga”. Aquí puede surgir la pregunta básica, ¿quién asume el costo de esta acidificación? ¿Quién responde por los daños causados a miles de habitantes de zonas deprimidas económicamente que viven a lo largo de zonas costeras? Pero más allá de todas esas preguntas, ¿quién puede dar la cara por los animales y por el propio ambiente afectado, que al final nos afectará a todos los que vivimos en esta isla sideral llamada planeta Tierra? Si se toman en cuenta ideas del derecho ambiental internacional y se indica “lo que es y no lo que debe ser”, es necesario abordar la protección ambiental

consistente en bienes comunes o intereses generales de la humanidad desde dos perspectivas, una negativa y otra positiva. La primera consiste en que la creencia de que “los bienes protegidos son patrimonio común de la Humanidad ha traído aparejado evanescencia en los deberes y derechos internacionales de los sujetos del derecho internacional” (56).

La segunda señala la proclamación por parte de las Naciones Unidas de que “el ambiente es patrimonio común de la humanidad otorgándole al individuo, a la persona humana, derechos para reclamar protección internacional como miembro de esa humanidad, pero en cuanto a quién es el titular de la legitimación, todos y ninguno, es decir todos son responsables y ninguno a la vez” (56). Es decir, al mismo momento todos y nadie pueden hacerse responsables de los impactos ambientales que ocurren en el planeta, y esto hace de suma importancia construir y poner en marcha un sistema que pueda generar protección de manera internacional en el ambiente para administrar los bienes comunes. Sin embargo, de forma ética esto choca directamente con el principio de autonomía, puesto que la soberanía estatal funciona como un principio básico del derecho internacional, en el cual los Estados plantean una lógica negativa a ceder sus competencias ambientales aunque solo fuera para resolver los problemas globales (57). No obstante, frente al mar estamos como en un inmenso conjunto residencial con una inmensa área común. La pregunta obligatoria es: ¿cómo administramos ese espacio?

### ***Principio de justicia***

Los responsables de la protección ambiental deben vigilar el uso del ambiente para garantizar que las generaciones presentes y futuras puedan gozarlo, pero desde esta

perspectiva, ¿quiénes son los responsables de la protección ambiental? Los responsables son todos aquellos que viven en el planeta, pues este hecho de vigilar el uso del ambiente para garantizar el goce y disfrute de generaciones presentes y futuras es transversal a la vida. La raza humana, como culmen de la evolución, tiene como principio de justicia el cuidado del ambiente tanto para las generaciones presentes como las futuras.

De acuerdo con Gudynas (55), los principios de una sociedad sostenible (que atañen directamente al principio de justicia) serían: a) el respeto y cuidado de la comunidad de los seres vivientes, b) la mejora en la calidad de la vida humana, c) la conservación de la vitalidad y diversidad de la Tierra, d) la reducción al mínimo del agotamiento de los recursos no renovables, e) la modificación de las actitudes y prácticas personales y f) el forjamiento de una alianza mundial. Todos estos elementos permiten establecer un patrón de conducta ambientalmente sostenible, y de justicia y equidad que facilitaría el cuidado del ambiente y principalmente el cuidado de las comunidades humanas más sensibles.

### ***Principio de solidaridad y cooperación***

Este principio es manejado principalmente por entes del Estado, pues le otorga al Gobierno nacional, por intermedio de todos los departamentos de la administración pública nacional y regional que tengan que ver con el ambiente, la responsabilidad de los efectos ambientales y de las medidas de mitigación de riesgos sobre los sistemas ecológicos compartidos con países fronterizos, con medidas desarrolladas en forma conjunta, y la utilización de los recursos naturales y los sistemas ecológicos compartidos de forma equitativa y racional. Sin embargo, a nivel marino no es sencillo plantear dicha

solidaridad, pues los límites son muy difusos en cuanto a la forma de mitigar los impactos que dan inicio a la acidificación oceánica. Generalmente, estos impactos provienen de tierra firme y están referidos a los grandes procesos de industrialización y de manejo de tecnologías no adecuadas que impactan gravemente el ambiente, basados en la premisa del desarrollo nacional.

Los pocos mecanismos de control pasan por el consenso internacional y la adhesión a propuestas, protocolos (p. ej., el Protocolo de Kyoto) que muchas veces son firmados y quedan como letra muerta.

Como se puede apreciar a lo largo de esta disertación, los planteamientos éticos ambientales frente a un problema determinado son amplios y los límites son muy difusos. Todo lo que hagamos en favor del ambiente en un determinado lugar repercutirá de forma favorable en una de las regiones más extensas del planeta, el mar, el cual fue nuestra cuna y puede volverse nuestra tumba.

### **CONCLUSIONES**

Los procesos asociados a la acidificación oceánica (AO) son complejos así como sus impactos. Después del somero análisis realizado podemos sacar algunas conclusiones. El principal evento contaminante es la cantidad de CO<sub>2</sub> enviado a la atmósfera por las grandes empresas generado por la quema, bien de combustibles fósiles o de elementos orgánicos. Esto evidencia el alcance que tiene este problema al no ser un problema puntual sino global. El océano funciona como un elemento *buffer* que absorbe las emisiones de CO<sub>2</sub>, pero ese hecho disminuye su pH natural, se estima que para el año 2100 el valor de este será de 7,7, lo que generará grandes daños a los organismos marinos calcáreos.

LAS COMUNIDADES DEPENDIENTES DEL TURISMO, EMPRESA QUE A NIVEL MUNDIAL MUEVE MILLONES DE DÓLARES, SE VERÁN AFECTADAS POR LA PÉRDIDA DE BELLEZAS NATURALES ATACADAS POR LA ACIDEZ OCEÁNICA, LO QUE INCIDIRÁ EN LA CALIDAD DE VIDA DE ESTOS HABITANTES.

De mantenerse las emisiones de CO<sub>2</sub> al nivel actual se producirán grandes pérdidas en la biodiversidad y serán afectadas las grandes empresas de pesca y mariscos a nivel mundial.

Como acción colateral, las poblaciones más pobres del planeta sufrirán la falta de estos alimentos pues es la forma de obtener proteína animal más barata o de manera artesanal.

Las comunidades dependientes del turismo, empresa que a nivel mundial mueve millones de dólares, se verán afectadas por la pérdida de bellezas naturales atacadas por la acidez oceánica, lo que incidirá en la calidad de vida de estos habitantes.

La AO no es un problema fácil de analizar y no está completamente entendido, por lo que los modelos actuales no muestran una relación clara entre el problema y las posibles causas de mitigación.

El estudio de la AO requiere de una base ética y filosófica pragmática, y que a nivel internacional no sea simplemente una aproximación discursiva y retórica; exige de estrategias, planes, acciones, inversiones y presupuestos que poco a poco, y de manera coherente y consistente, sirvan de insumo a un nuevo paradigma, por supuesto, con el cumplimiento de todos los principios de bioética.

El futuro del planeta depende del concepto de ambiente y de cómo nos vemos inmersos en este proceso. Son las generaciones futuras las que pueden terminar de ayudar o hundir a nuestro ecosistema.

## REFERENCIAS

1. Mackenzie FT, de Carlo EH, Lerman A. Coupled C, N, P and O biogeochemical cycling at the land-ocean interface. En: Middelburg JJ, Laane R. Treatise on Estuarine and Coastal Science. USA: Academic Press; 2012.
2. Adrian R, Reilly CM, Zagarese H, Baines SB, Hessen DO, Keller W, et al. Water column stratification and its implications in the tropical warm monomictic Lake Alchichica, Puebla, Mexico. *Verhandlungeng Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*. 2000;27:3166-69.
3. Fauville G, Säljö R, Dupont S. Impact of ocean acidification on marine ecosystems: Educational challenges and innovations. *Mar Biol*. 2013;160:1863-74.
4. Cohen A, Holcomb M. Why corals care about ocean acidification: Uncovering the mechanism. *Oceanography*. 2009;22:118-27.
5. Holcomb M, McCorkle D, Cohen A. Long-term effects of nutrient and CO<sub>2</sub> enrichment on the temperate coral *Astrangia poculata*. *J Exp Mar Bio Ecol*. 2010;386:27-33.
6. Melzner F, Stange P, Trübenbach K, Thomsen J, Casties I, Panknin U, et al. Food supply and seawater pCO<sub>2</sub> impact calcification and internal shell dissolution in the blue mussel *Mytilus edulis*. *PLoS ONE*. 2011;6:e24223.

7. Thomsen J, Casties I, Pansch C, Kortzinger A, Melzner F. Food availability out-weighs ocean acidification effects in juvenile *Mytilus edulis*: Laboratory and field experiments. *Glob Chang Biol*. 2013;19:1017-27.
8. Form A, Riebesell U. Acclimation to ocean acidification during long-term CO<sub>2</sub> exposure in the cold-water coral *Lophelia pertusa*. *Glob Chang Biol*. 2011;18:843-53.
9. Pörtner H. Ecosystem effects of ocean acidification in times of ocean warming: a physiologist's view. *Marine Ecology Progress Series*. 2008;373:203-17.
10. McCulloch M, Falter J, Trotter J, Montagna P. Coral resilience to ocean acidification and global warming through pH up-regulation. *Nat Clim Chang*. 2012;2:623-27.
11. Anthony K, Kline D, Díaz-Pulido G, Dove S, Hoegh-Guldberg O. Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2008;105:17442-46.
12. Libes S. *Introduction to Marine Biogeochemistry* (2 ed). Estados Unidos: Elsevier; 2009.
13. Gamboa-Bernal G. Restablecer la relación hombre-ecosistema: un desafío para la bioética. *Revista Colombiana de Bioética*. 2008;3(1):195-218.
14. Quiñones Colarte R. Ética, bioética y educación para el desarrollo sostenible en las ciencias de la salud. 2016 [visitado 2016 jun 23]. Disponible en: <http://www.sld.cu/saludvida/ambiente/temas.php?idv=5828>
15. Cuenca R. La bioética en la educación ambiental. *Colombia Médica*. 2006;37:4.
16. IPCC Climate Change. *The Physical Science Basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2007.
17. Gruber N. Carbon at the coastal interface. *Nature*. 2015;517:148-49.
18. Pauly D, Christensen V. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*. 1995;374:255-57.
19. Bauer JE, Cai WJ, Raymond PA, Bianchi TS, Hopkinson CS, Regnier PAG. The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature*. 2013;504:61-70.
20. Álvarez-Borrego S. Principios generales del ciclo del carbono en el océano. En Hernández de la Torre B, Gaxiola Castro G (comps.). *Carbono en ecosistemas acuáticos de México*. México: Instituto Nacional de Ecología; 2007. pp. 11-28.
21. Meybeck M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by world rivers. *Am J Sci*. 1982;282:401-50.
22. Cai WJ. Estuarine and coastal ocean carbon paradox: CO<sub>2</sub> sinks or sites of terrestrial carbon incineration? *Ann Rev Mar Sci*. 2011;3:123-45.
23. Friederich GE, Walz PM, Burczynski MG, Chavez FP. Inorganic carbon in the central California upwelling system during the 1997-1999 El Niño-La Niña event. *Prog Oceanogr*. 2002;54:185-203.
24. Shadwick EH, Thomas H, Azetsu-Scott K, Greenan BJW, Head E, Horne E. Seasonal variability of dissolved inorganic carbon and surface water pCO<sub>2</sub> in the Scotian Shelf region of the Northwestern Atlantic. *Marine Chemistry*. 2011;124: 23-37.
25. Borges AV, Schiettecatte LS, Abril G, Delille B, Gazeau F. Carbon dioxide in European coastal waters. *Estuar Coast Shelf Sci*. 2006;70:375-87.
26. Degrandpré MD, Olbu GJ, Beatty M, Hammar TR. Air-sea CO<sub>2</sub> fluxes on the US middle atlantic bight. *Deep sea research part II: Topical studies in oceanography*. 2002;49:4355-67.
27. Thomas H, Bozec Y, Elkalay K, de Baar HJW. Enhanced open ocean storage of CO<sub>2</sub> from shelf sea pumping. *Science*. 2004;304:1005-08.
28. Laruelle GG, Lauerwald R, Pfeil B, Regnier, P. Regionalized global budget of the CO<sub>2</sub> exchange at the air-water interface in continental shelf seas. *Global Biogeochem Cycles*. 2014;28:1199-214.



29. Wanninkhof R, Park GH, Takahashi T, Sweeney C, Feely R, Nojiri Y, et al. Global ocean carbon uptake: Magnitude, variability and trends. *Biogeosciences*. 2013;10:1983-2000.
30. Sabine CL, Feely R, Gruber N, Key RM, Lee K, Bullister JL, et al. The oceanic sink for anthropogenic CO<sub>2</sub>. *Science*. 2004;305:367-71.
31. Feely R, Sabine CL, Byrne RH, Millero FJ, Dickson AG, Wanninkhof R, et al. Decadal changes in the aragonite and calcite saturation state of the Pacific Ocean. *Global Biogeochem Cycles*. 2012;26:1-15.
32. Feely R, Sabine CL, Lee K, Berelson W, Kleypas J, Fabry VJ, et al. Impact of anthropogenic CO<sub>2</sub> on the CaCO<sub>3</sub> system in the oceans. *Science*. 2004;305:362-66.
33. IGBP, COI, SCOR. La acidificación del océano. Resumen para responsables de políticas – Tercer simposio “El océano en un mundo con altos niveles de CO<sub>2</sub>”. Programa Internacional Geosfera-Biosfera, Estocolmo (Suecia); 2013.
34. Rojas-Higuera P, Pabón-Caicedo J. Sobre el calentamiento y la acidificación del océano mundial y su posible expresión en el medio marino costero colombiano. *Rev Acad Colomb Cienc Ex Fis Nat*. 2015;39(151):201-17.
35. Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al (eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013
36. Marsh G. *Seawater pH and anthropogenic carbon dioxide*. Argonne National Laboratory. Chicago: University of Chicago; 2005.
37. Widdicombe S, Spicer JI. Predicting the impact of ocean acidification on benthic biodiversity: What can animal physiology tell us? *J Exp Mar Bio Ecol*. 2008;366:187-97.
38. Kleypas JA, Yates KK. Coral reefs and ocean acidification. *Oceanography*. 2009;22(4):108-17.
39. Crabbe MJC. Modelling of geoengineering options in response to climate change and global warming: Implications for coral reefs. *Comput Biol Chem*. 2009;33:415-20.
40. Veron JEN, Hoegh-Guldberg O, Lenton TM, Lough JM, Obura DO, Pearce-Kelly P, et al. The coral reef crisis: The critical importance of <350 ppm CO<sub>2</sub>. *Mar Pollut Bull*. 2009;58:1428-36.
41. Anlauf H, D’Croz L, O’Dea A. A corrosive concoction: The combined effects of ocean warming and acidification on the early growth of a stony coral are multiplicative. *J Exp Mar Bio Ecol*. 2011;397:13-20.
42. Krief S, Hendy EJ, Fine M, Yam R, Meibom A, Foster GL, et al. Physiological and isotopic responses of scleractinian corals to ocean acidification. *Geochim Cosmochim Acta*. 2010;74:4988-5001.
43. Ishimatsu A, Hayashi M, Kikkawa T. Fishes in high- CO<sub>2</sub> acidified oceans. En: *Effects of ocean acidification on marine ecosystems*. *Mar Ecol Prog Ser*. 2008;373:295-302.
44. Iguchi A, Ozaki S, Nakamura T, Inoue M, Tanaka Y, Suzuki A, Kawahata H, Sakai K. Effects of acidified seawater on coral calcification and symbiotic algae on the massive coral *Porites australiensis*. *Mar Environ Res*. 2012;73:32-6.
45. Porzio L, Buia MC, Hall-Spencer JM. Effects of ocean acidification on macroalgal communities. *J Exp Mar Bio Ecol*. 2011;400(1-2):278-87.
46. Waycott M, Collier C, McMahon K, McKenzie RP, Udy L, Alana J, et al. Vulnerability of seagrasses in the Great Barrier Reef to climate change. En: *Climate change and the Great Barrier Reef: A vulnerability assessment*. Great Barrier Reef Marine Park Authority and Australian Greenhouse Office. Townsville: QLD; 2007. pp. 193-236.
47. Brierley AS, Kingsford MJ. Impacts of climate change on marine organisms and ecosystems. *Curr Biol*. 2009;19:R602-14.
48. Comeaux RS, Allison MA, Bianchi TS. Mangrove expansion in the Gulf of Mexico with climate change: Implications for wetland health and resistance to rising sea levels. *Estuar Coast Shelf Sci*. 2012;96:81-95.
49. Jennerjahn TC. Biogeochemical response of tropical coastal systems to present and past environmental change. *Earth Sci Rev*. 2012;114:19-41.

50. Sanchez A. Introducción a la ética y a la crítica de la moral. Caracas: Vadel Hermanos; 2001.
51. Callahan D. Bioethics. En Warren T. (ed.). Encyclopedia of Bioethics (revised ed). New York: The Free Press, Simon & Schuster MacMillan; 1995.
52. Beauchamp TL, Childress JF. Principles of Biomedical Ethics (6 ed). New York: Oxford University Press; 2009.
53. Camps, V. La voluntad de vivir: las preguntas de la bioética. Barcelona: Ariel; 2005.
54. Aliciardi MB. ¿Existe una eco-bioética o bioética ambiental? Rev Latinoam Bioet. 2009;9(16):8-27.
55. Gudynas E. Ecología, economía y ética del desarrollo sostenible. Montevideo: Centro Latino Americano de Ecología Social y D3E; 2004.
56. Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo (CM-MAD). Nuestro Futuro Común. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas (ONU); 1987.
57. Servi A. El derecho ambiental internacional. Relaciones Internacionales. 1998;7(14):135-50.