

ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AMBIENTE MARINO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA: DEFINICIONES Y PAUTAS PARA SU ELABORACIÓN

Liliana Betancourt Fernández y Alejandro Herrera Moreno¹

RESUMEN

Se brinda una guía metodológica para la elaboración de estándares de calidad del ambiente marino en la República Dominicana. Para ello se proponen y discuten ocho pasos básicos que comprenden: a) designación de usos, b) selección de parámetros, c) valoración de parámetros seleccionados, d) valoración ecotoxicológica, e) análisis de información de línea base, f) establecimiento de estándares, g) validación y participación pública y h) actualización y retroalimentación. Como parte de estos pasos, se ofrecen las definiciones básicas relacionadas con el tema, se propone una clasificación de usos para la zona costera dominicana, se valoran los principales parámetros físicos, químicos y biológicos, se brindan criterios para analizar la información ecotoxicológica y se ofrece una recopilación de estudios que ofrecen datos de línea base ambiental. Este trabajo pretende ofrecer un marco conceptual y metodológico para contribuir de una manera ordenada y científica a la preparación de estándares, acorde a nuestras condiciones ambientales.

ABSTRACT

A methodological guide for the elaboration of marine environmental quality standards in the Dominican Republic, is presented. For this purpose, eight basic steps are presented and discussed: a) designation of uses, b) selection of parameters, c) valuation of selected parameters, d) ecotoxicologic valuation, e) baseline information analysis, f) establishment of standards, g) validation and public participation and h) update and feedback. As part of these steps, the basic definitions related with the topic are offered and a classification of uses for the Dominican coastal area is proposed. Also, the main physical, chemical and biological parameters are valued, approaches to analyze the ecotoxicologic information are offered and a summary of studies that offer baseline environmental data is presented. This paper proposes a conceptual and methodological frame to contribute, from a systematic and scientific way, to the preparation of marine environmental standards, according to our environmental conditions.

INTRODUCCIÓN

Los problemas de contaminación existentes en algunas regiones costeras del país y las amenazas que el desarrollo turístico, industrial y agrícola impone sobre la calidad de las aguas, requiere de la elaboración de estándares que cumplan una función preventiva, normativa y de control. En un sentido amplio, el concepto de *estándar* abarca los parámetros, indicadores y sistemas de clasificación con los que se pueden describir la calidad del ambiente y monitorear los impactos ambientales (BMZ, 1996).

Según el marco de referencia que se tome, se definen dos categorías generales: estándares de calidad y estándares de emisión. Los de calidad, designan una condición física, química o bioecológica que refleja la “situación ideal” en condiciones naturales y ofrecen un panorama de las condiciones base bajo las cuales no hay, presumiblemente, problemas de degradación (EPA, 1997). Por ello, el estándar de calidad se designa con un valor máximo o mínimo y/o una característica física, química o biológica del agua, el sedimento o la biota, que no debe ser excedido bajo determinadas condiciones, para prevenir efectos deletéreos referidos al uso del cuerpo de agua, incluido la preservación de la vida acuática (CONAMA, 1995; Fast, 1997). Con el estándar de calidad, se definen los niveles esperados de concentraciones específicas de constituyentes que aseguran un medio ambiente libre de contaminación USC (2000).

Los estándares de emisión o descarga están relacionados con la liberación, vertido o emisión de sustancias tóxicas, ruido o calor (BMZ, 1996) y designan valores límites que regulan la descarga de contaminantes en el ambiente receptor, a través de un proceso de retrocálculo conocido como “carga máxima diaria total” o “asignación de carga contaminante” y sobre la base de la calidad del agua (EPA, 1997). La norma de emisión se establece, por tanto, para la fuente emisora y define la cantidad máxima permitida para un contaminante (CONAMA, 1955).

¹ Los autores son investigadores y profesores del Programa *EcoMar*, con más de veinte años dedicados a la investigación y la docencia en varias disciplinas de las ciencias del mar y en la ejecución de Estudios de Impacto Ambiental.

Dando cumplimiento a la recién promulgada Ley General del Medio Ambiente, que reconoce la necesidad de emitir estándares y normas de calidad, la Secretaría de Estado de Medio Ambiente ha publicado recientemente las primeras normas ambientales sobre la calidad del ambiente marino, pero que incluyen básicamente estándares de emisión y algunos estándares de calidad generales (SEMARENA, 2001). Por tanto, la zona costera y marina de nuestro país queda aún como un área que requiere del establecimiento de estándares de calidad más específicos, elaborados a partir de nuestras condiciones ambientales. Al respecto, es poco lo que se ha hecho. Chiappone (2001) hace un análisis extenso de los criterios de calidad del agua en el Parque Nacional del Este y Herrera y Betancourt (2001) discuten algunos criterios acerca de valores estándares para el cadmio en aguas, sedimentos y organismos marinos de nuestra plataforma.

En el presente trabajo se realiza una discusión general de diferentes aspectos metodológicos y se ofrecen las primeras pautas para la elaboración e implementación de estándares de calidad para las aguas estuarinas, costeras y marinas de la República Dominicana.

PASOS PARA ELABORAR UN ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL

En la literatura, no existe ninguna metodología establecida que pueda ser empleada como una receta para la elaboración de estándares de calidad en el ambiente marino. Sin embargo, si consideramos que su implementación tiene como objetivo la protección de los usos múltiples del medio marino, al fijar valores que tipifican situaciones de calidad ambiental, podríamos asumir que deben contener al menos los siguientes componentes:

1. Designación de usos de la zona estuarina, costera y marina
2. Delimitación de parámetros (físicos, químicos y/o biológicos)
3. Valoración de los parámetros seleccionados
4. Análisis de información ecotoxicológica
5. Búsqueda y análisis de información de línea base
6. Establecimiento de estándares referidos a los usos designados
7. Validación y participación pública
8. Actualización y retroalimentación de criterios

Paso 1. Designación de usos de la zona estuarina, costera y marina

Los estándares deben designar un nivel de calidad ambiental para apoyar los múltiples usos que pueden tener las aguas estuarinas, costeras y oceánicas. Usos diferentes tienen exigencias de calidad diferentes (Schanz, 1999), por lo que para asegurar la protección de cada uno de ellos es necesario determinar y/o asignar valores a los diferentes parámetros, de acuerdo a clases o categorías de uso establecidas. Por ejemplo, para nuestro país, siguiendo un criterio de los usos tradicionales de la zona estuarina y costera, podrían proponerse once categorías generales (que pueden tener nuevas subdivisiones) como base para la organización de nuestros estándares, aunque no todas pueden ser relevantes en las diferentes regiones (Tabla 1).

Las primeras clases, relacionadas con áreas marinas a preservar o dedicadas a fines recreativos tienen la mayor exigencia por cuanto se trata de preservar el hábitat natural y la salud humana. Las últimas clases, referidas a uso industrial, son más flexibles por cuanto el agua de mar será sólo usada como parte del proceso industrial. Con este criterio, los estándares para el oxígeno disuelto, por citar un ejemplo, estarían entre 5 y 7 mg/l para la Clase 1, mientras que para la Clase 7, se admitirían valores mayores de 2 mg/l. Los criterios de clases varían en los distintos países según las prioridades y políticas nacionales e incluso varían de región a región de acuerdo a las peculiaridades de sus zonas costeras y especialmente los usos a las cuales son dedicadas.

Tabla 1. Propuesta general de categorías de uso en las áreas estuarinas y costeras de la República Dominicana para la aplicación de estándares de calidad ambiental. Los números del 1 al 11 indican los que requieren una mayor exigencia de calidad hacia los menos exigentes.

Clases	Uso	Descripción
1	Preservación de la biodiversidad	Áreas de significación ecológica especial destinadas a la preservación de la biodiversidad, como Áreas Protegidas costeras y marinas, santuarios, reservas ecológicas o regiones y ecosistemas espaciales por su fragilidad, especies endémicas o amenazadas, áreas de cría, reproducción y alimentación.
2	Preservación de hábitats y ecosistemas marinos	Áreas destinadas al mantenimiento de los ecosistemas marinos incluido la preservación y mejoramiento de los hábitats marinos, los manglares costeros, las praderas de pastos, arrecifes coralinos, y la flora y fauna asociada a estos ambientes.
3	Preservación de hábitats y ecosistemas estuarinos	Áreas destinadas al mantenimiento de los ecosistemas estuarinos incluido la preservación y mejoramiento de los hábitats estuarinos, los manglares ribereños y la flora y fauna eurihalina asociada a estos ambientes.
4	Recreación con contacto primario	Áreas destinadas a la recreación que implican el contacto del cuerpo con el agua (contacto primario), que incluyen las típicas “áreas de playa” destinadas al baño, la natación, los deportes acuáticos, el buceo contemplativo y puede incluir el área de playa arenosa mesolitoral.
5	Recreación con contacto secundario	Áreas destinadas a la recreación en proximidad con el agua pero sin un contacto directo (contacto secundario) que incluye vadeos, caminatas y actividades recreativas con la arena húmeda en la zona intermareal.
6	Pesca	Áreas donde se realizan pesquerías comerciales (artesanal o industrial) o pesquerías deportivas que impliquen la captura de peces, crustáceos, moluscos u otras especies para consumo humano o para su uso como carnada. Se subdivide por complejos ecológicos de pesca: litoral estuarino (LE), pastos marinos-arrecifes coralinos (PMA) y aguas oceánicas (AO).
7	Maricultivo	Áreas destinadas a operaciones de maricultura con desarrollo de cultivo, mantenimiento y cosecha de moluscos, crustáceos y peces para el consumo humano o su uso como carnada.
8	Navegación	Áreas destinadas al transporte naviero por barcos privados, comerciales o militares
9	Portuario	Áreas de actividades portuarias que implican tráfico de buques de carga y pasajeros (cruceros turísticos) y movimientos de mercancía de diferente índole y eventualmente actividades de dragado para acondicionamiento de la profundidad al calado de los buques.
10	Suplemento para procesos industriales*	Áreas de actividades industriales que no dependen estrictamente de una determinada calidad de agua al tomar ésta para enfriamiento, transmisión hidráulica, lavado de grava, protección contra incendios o re-presurización de pozos petroleros.
11	Vertimientos contaminantes	Áreas donde se realiza la disposición final de residuos líquidos domésticos o industriales previamente tratados y ajustados a las normas de emisión correspondientes.

*Cuando el uso de agua incluye además de procesos industriales, servicios industriales que requieren de la desalinización y/o potabilización para las actividades humanas asociadas a la instalación industrial. El requisito de calidad puede ser más exigente.

Preservación de la biodiversidad marina.- Para este uso los estándares de calidad deben tener el mayor grado de exigencia por cuanto se trata de mantener la situación química, física y biológica natural que garantiza la integridad estructural y funcional de los ecosistemas. En tales casos, se asumen los estándares que reflejen condiciones ambientales naturales, sin intervención antrópica alguna.

Hábitats y ecosistemas marinos y estuarinos.- Se refiere a la protección integral de los hábitats y ecosistemas y a la flora y fauna que los tipifican. Los valores estándares pueden ser diferentes si se trata de proteger los arrecifes coralinos –que se desarrollan en condiciones más estables influidas por el océano– o las praderas de pastos marinos y manglares, que se localizan en ambientes costeros más fluctuantes. En tal sentido, las zonas estuarinas tienen requisitos particulares pues tienen la mayor fluctuación de los parámetros ambientales.

Recreación.- Los usos recreativos de las aguas estuarinas, costeras y oceánicas incluyen actividades que demandan diferentes grados de contacto del usuario con el medio y tiempo de exposición. Así, el baño, la natación y el buceo contemplativo libre o con equipo SCUBA requieren de introducirse totalmente y durante largo tiempo en el agua, mientras que los deportes náuticos como el windsurf, la vela, el ski acuático o el remo pueden implicar un contacto menos estrecho y menos prolongado. Este uso cobra una especial significación en nuestro país con el desarrollo del turismo.

Bajo estos criterios, a la hora de establecer un estándar de calidad para las aguas de uso recreativo se asume un cierto grado de riesgo para cada actividad, asociado al tiempo de permanencia en el agua y a la superficie corporal (y/o la parte del cuerpo) en contacto. Se conoce que las vías de entrada de patógenos pueden ser por contacto a través de la piel, ingestión o inhalación de aguas contaminadas y que el nivel de infección está influido por el tiempo en el agua, el volumen de agua ingerido o inhalado, la presencia de heridas en la piel y la cantidad de bañistas (EPA, 1999).

Aunque no suele mencionarse en todos los trabajos, un aspecto importante a considerar, según EPA (1999), es la calidad del agua intersticial en la línea de costa influida permanentemente por el oleaje y las mareas. En esta zona, que suele ser el área de juegos preferida por los niños, los intersticios o espacios entre los granos de arena ofrecen un microhábitat donde la materia orgánica puede filtrarse y donde la temperatura cálida y la humedad puede promover el crecimiento de bacterias patógenas provenientes de las aguas abiertas. Cuando las tormentas o el incremento de la energía del oleaje resuspende la arena y las partículas atrapadas, estos patógenos pueden ser expulsados al ambiente.

Para cada una de estas actividades recreativas se suelen emplear subcategorías referidas precisamente al nivel de contacto de la persona con el agua, para cada una de las cuales se elaboran estándares dirigidos principalmente a la protección de la salud humana. Una propuesta de subcategorías podría ser:

- Aguas para el baño, que incluyen las típicas “áreas de playa” destinadas a la natación y recreación públicas con un salvavidas, casetas y otras facilidades playeras.
- Aguas para contacto primario, que son aquellas adecuadas para la recreación con total contacto con el agua (por ejemplo, natación, deportes acuáticos, buceo contemplativo).
- Aguas intersticiales embebidas en la zona intermareal, con la cual puede tenerse un contacto primario/secundario a través de la arena húmeda, durante actividades recreativas.
- Aguas para contacto secundario, que son las adecuadas para la recreación con contacto parcial (por ejemplo, vadeos y caminatas por el agua).

Con estos criterios, USC (2000) emplea en sus estándares para agua destinada a uso recreativo con contacto directo, parámetros representativos de la calidad estética del agua, perceptible a través de la vista, el gusto o el olfato (aceites y grasas flotantes y emulsificadas, sólidos flotantes visibles, espumas no naturales, color, turbidez y transparencia); parámetros relativos a la salud humana (coliformes fecales) o parámetros indicativos del confort que puede sentir el cuerpo en el agua (pH y temperatura). Cuando se trata de uso recreativo con contacto secundario solo los primeros parámetros son relevantes y otros como la temperatura pasan a ser secundarios.

Pesca y maricultivo.- El uso pesquero es uno de los más comunes en nuestros ambientes marinos, particularmente la pesca artesanal que conlleva un contacto primario cuando se realiza mediante buceo (a pulmón o con compresor) y un contacto que podría considerarse secundario cuando se pesca con nasas, cordel, palangre u otras artes de pesca que se operan desde una embarcación o desde la orilla. No obstante, durante el empleo de muchas artes que se manipulan desde embarcaciones el pescador puede estar expuesto a un contacto primario, pues es común que tengan que lanzarse al agua durante su manipulación (destrabar redes o desenganchar piezas).

Para elaborar estándares de calidad para zonas de pesca, puede seguirse el criterio de los complejos ecológicos de pesca: litoral estuarino, pastos marinos-arrecifes coralinos y aguas oceánicas (ver Baisre, 1985). Estos complejos, representativos de determinados ambientes, tienen cierta regularidad en las magnitudes y variaciones de los parámetros ambientales que los caracterizan y pueden convertirse en unidades naturales para la elaboración de clases o grupos. Así, el complejo estuarino representa el ambiente más fluctuante (la influencia de las aguas fluviales provoca cambios bruscos de salinidad, nutrientes y oxígeno disuelto), mientras que hacia el arrecife y la región oceánica existen condiciones más estables. Si tomamos por ejemplo a la salinidad, sus valores en la zona estuarina podrían oscilar entre menos de 25 y 34 ‰, entre 34 y 35 ‰ hacia las praderas de pastos y arrecifes, y mantener valores muy homogéneos, cercanos a 36 ‰ en la región oceánica.

Los requerimientos de calidad ambiental para el maricultivo también deben ser altos, considerando que tanto éste como la pesca tiene como objetivo la alimentación humana. Los estándares de calidad a exigir para las aguas donde se efectúan estas actividades deben contemplar, particularmente los niveles de metales pesados, compuestos organoclorados u otros contaminantes bioacumulativos que pueden llegar al hombre a través de la cadena alimentaria y además, la presencia de patógenos que puedan dañar la salud humana. Esto es especialmente importante, cuando se cultivan organismos filtradores que pueden acumular en sus tejidos concentraciones muy superiores a las que se observan en el agua de mar.

Los estándares de calidad del agua de mar pueden variar según se trate de cultivo en estanques en tierra o en jaulas flotantes en el mar. Asimismo, deben considerarse los impactos que ejerce la propia actividad de acuicultura sobre la calidad del agua costera adyacente donde se realiza la actividad.

Navegación y uso portuario.- Los requisitos de calidad del agua para este uso pueden variar de un lugar a otro según el tráfico marítimo, el tonelaje de las embarcaciones y los volúmenes y tipos de cargas, pero de modo general deben contemplar la presencia de petróleo, aceites y lubricantes y el manejo de cargas especiales como sustancias tóxicas y peligrosas. Considerando que las áreas portuarias deben mantener una profundidad determinada relacionada con el calado de los buques, deben contemplarse estándares para el dragado, actividad frecuente en zonas destinadas a este tipo de uso.

Industrial.- Se refiere a la utilización del agua de mar con fines industriales como la que se emplea en los sistemas de enfriamiento de algunas industrias por ejemplo, las termoeléctricas. Los estándares de calidad deben fijar valores para la temperatura y las concentraciones de varios metales pesados (hierro, cobre, plomo), que pueden desprenderse de las tuberías industriales. Considerando que uno de los problemas relacionados con el uso industrial del agua de mar es la presencia de incrustaciones en las tuberías de toma de agua, las cuales se combaten con clorinación a bajo nivel, se deben valorar estándares para el cloro.

También, puede ser necesario que la propia industria vele por la calidad de las aguas que toma para sus procesos, pues se conoce por ejemplo, que en las canalizaciones metálicas, un contenido inferior a 5 mg/l de oxígeno disuelto promueve la corrosión de la misma (Risque, 2000).

Aunque no es una realidad en nuestro país, en algunas regiones costeras pueden ser necesarias plantas desalinizadoras para lograr agua apta para actividades humanas (domésticas o industriales). En tales casos,

Los requisitos de calidad del agua de mar en el área de toma deben ser tan exigentes como los que se aplican a los cuerpos de agua dulce que se destinan al consumo humano. Sin embargo, los estándares en el área de vertimiento deben estar dirigidos a prevenir todos los impactos asociados con las plantas desalinizadoras, que si bien pueden variar según sean éstas de destilación u ósmosis reversa, generalmente tienen: altas concentraciones de sal (46 a 80 ‰), elevadas temperaturas, altos niveles de turbidez, niveles de oxígeno menores que el cuerpo receptor, varios compuestos químicos (del pre-tratamiento del agua de alimentación, el flujo en las tuberías y la limpieza de membranas), compuestos orgánicos y metales que se concentran en el proceso de desalinización (CCC, 2000).

Vertimientos contaminantes.- Para este uso, la exigencia de los estándares adquiere una complejidad particular aunque los requerimientos de calidad son los menos exigentes. De cualquier forma, debe estar claro que esta utilización no implica en ningún caso el vertimiento de desechos crudos, sino con algún tipo de tratamiento (primario, secundario o terciario).

Paso 2. Delimitación de parámetros

Para estimar la calidad del agua es necesario la definición de valores de ciertos parámetros representativos de la situación ambiental real, los cuales pueden dividirse en tres grupos:

- *Físicos.*- Temperatura, profundidad, velocidad de la corriente, color, olor, turbidez, conductividad eléctrica, sólidos suspendidos totales y volátiles.
- *Químicos.*- Oxígeno disuelto (OD), salinidad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno total, fosfatos, fósforo total, sulfato, sulfuro de hidrógeno, pH, dureza, metales pesados, compuestos organoclorados y organofosforados.
- *Biológicos.*- Parámetros e índices bioecológicos demográficos, estructurales o funcionales de las especies, poblaciones, comunidades o ecosistemas en el ambiente natural.

Sea cual sea el parámetro seleccionado –físico, químico o biológico- el mismo estará referido a un ámbito determinado (BMZ, 1996), que es lo que comúnmente denominaríamos estándares de calidad de aire, del suelo, de agua o de la biodiversidad, por ejemplo.

Para delimitar los parámetros cuyos valores nos servirán como estándares se deben considerar dos grupos: a) aquellos representativos de las condiciones naturales del mar, siempre presentes en concentraciones variables pero conocidas y b) aquellos que aparecen en el medio marino, solo producto de la intervención antrópica. Por ejemplo, en el agua de mar existen naturalmente, en forma iónica y/o molecular, once constituyentes que contribuyen a su salinidad: los macrocomponentes (cloro, sodio, sulfato, magnesio), los microcomponentes (bicarbonato, bromo, calcio, potasio) y las trazas (flúor, estroncio y ácido bórico). Además existen gases en disolución como el oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono, cantidades trazas de algunos gases inertes (helio, neón, argón, etc.) y nutrientes en compuestos de fósforo, nitrógeno y silicio. Los valores de éstos y otros componentes naturales, que tipifican determinadas regiones, pueden ser utilizados como estándares.

Sin embargo, existe un número de compuestos artificiales sintetizados por el hombre que no se encuentran en el ambiente natural como son los organoclorados cuya presencia en el ambiente marino es un índice irrefutable de contaminación. Entre ellos, se encuentran insecticidas como el DDT y sus metabolitos o los bifenilos policlorinados o PCB's. En tales casos, los estándares deben ser particularmente exigentes y pueden incluso fijar valores de cero para condiciones especiales de preservación y valores extremadamente bajos, relacionados con su ecotoxicidad, donde sea permitido.

Por otra parte, los criterios biológicos se basan en las características de la biodiversidad marina en sus diferentes niveles, medidas en un sentido estructural y funcional. Por su forma de vida fija (sésil), sus largos ciclos de vida y su alta sensibilidad, se reconoce que en particular los organismos del fondo (bentónicos), en sus distintas categorías constituyen monitores naturales de la calidad ambiental y brindan información sobre las características del medio, que no pueden obtenerse a través de los muestreos físico-químicos convencionales, cuyos resultados son muy dependientes de las condiciones imperantes en el momento del muestreo.

Según EPA (1997), en cuerpos de agua dulce se usan comúnmente como herramientas de evaluación biológica diferentes índices ecológicos (p. e. Índice de Integridad Biótica o Índice de la Comunidad de Invertebrados). Para el medio marino se han recomendado los índices de diversidad, equitatividad, dominancia y cobertura en combinación con el análisis de la composición cualitativa y cuantitativa de las comunidades de gorgonáceos, corales y esponjas (Herrera, 1994). Estos índices han sido usados en la caracterización ambiental de la Ensenada de Sosúa a través de la bioindicación de la comunidad coralina, con excelentes resultados (Betancourt y Herrera, 2000).

Como criterio de calidad del agua se han empleado formulaciones matemáticas que combinan parámetros físicos, químicos y biológicos, lo cual permite dar un valor numérico indicativo de un determinado grado de calidad, sobre la base de varias consideraciones (Aguilo *et al.*, 1991). Sin embargo, lo más común es referirse a estándares de calidad físicos, químicos o biológicos según el parámetro que utilice.

Paso 3. Valoración de los parámetros seleccionados

Una vez definidos los parámetros que serán incluidos como estándares de calidad corresponde estudiar sus características físico-químicas y su comportamiento en el ambiente natural, como base para su valoración objetiva como indicador de calidad. En tal sentido, debe estudiarse el papel que juega en los ciclos bio-geoquímicos, su interrelación con otros factores ambientales, sus fuentes de producción/ consumo y sus fuentes de variación (regionales, locales, diurnas, estacionales, anuales). También, deben revisarse los métodos y especificaciones para la toma de muestras en aguas superficiales o profundas, los requisitos de manipulación de las muestras y las técnicas analíticas más adecuadas para la determinación del parámetro en agua de mar, sedimentos u organismos.

Paso 4. Análisis de información ecotoxicológica

Considerando que el parámetro seleccionado y el valor que a éste se le asigne como estándar deben contribuir a proteger la vida marina y la salud humana, es extremadamente importante obtener criterios acerca de su toxicidad tanto para el hombre como para diferentes representantes de la flora y la fauna marina en sus diferentes categorías (plancton, bentos y necton). Por definición, la *ecotoxicología* es la ciencia dedicada al estudio de los efectos dañinos sobre las poblaciones, comunidades y ecosistemas, causados por sustancias que ingresan al ambiente natural, así como su movimiento a través de los compartimentos ambientales y las redes alimentarias.

Los valores de toxicidad se obtienen generalmente mediante bioensayos, que son procedimientos para estimar la concentración o actividad biológica de una sustancia mediante la medición de sus efectos en un organismo comparada con una preparación estándar apropiada. En estos estudios, representantes seleccionados de la flora y la fauna son expuestos a concentraciones conocidas de sustancias químicas bajo diferentes condiciones experimentales, estableciéndose valores concretos de los compuestos tóxicos que se definen a través de expresiones conocidas de toxicidad (ver CEPIS, 2001):

- *Concentración Efectiva Media* (CE_{50}).- Concentración estadísticamente derivada de un tóxico que, según se puede pronosticar, causará un efecto no letal definido en 50% de una población dada de organismos bajo condiciones definidas.
- *Concentración Letal Absoluta*.- Concentración más baja de una sustancia potencialmente tóxica en un medio ambiental que mata al 100% de los organismos o especies bajo prueba (denotada por CL_{100}).
- *Concentración Letal Media* (CL_{50}).- Concentración estadísticamente derivada de una sustancia química en el que, según se puede pronosticar, causará la muerte de 50% de una población dada de organismos bajo un conjunto definido de condiciones experimentales.
- *Concentración Máxima Permisible* (CMP) Concentración de exposición que no debe excederse bajo ninguna circunstancia.
- *Concentración Máxima Tolerable* (CMT) La concentración más alta de una sustancia en un medio ambiental que no causa la muerte de los organismos o especies bajo prueba (denotada por CL_0).

Paso 5. Búsqueda y análisis de información de línea base

La delimitación del valor que servirá de estándar de calidad ambiental para un determinado parámetro no es un número aleatorio ni algo que pueda extrapolarse directamente de las normas confeccionadas para otras regiones y ambientes diferentes. La delimitación de dicho valor, debe ser el resultado de un proceso de análisis científico del parámetro en cuestión, donde uno de los pasos fundamentales es el establecimiento de una línea base de sus concentraciones y fluctuaciones naturales. Por ello, una vez que cada parámetro ha sido seleccionado y valorado integralmente en su connotación química, ecológica y ecotoxicológica, se debe realizar una búsqueda de datos referida a estos mismos parámetros en la región de interés.

Esto suministrará la línea base ambiental de la región para la cual quieran elaborarse los estándares. La información puede obtenerse de estudios ecológicos que hayan incluido parámetros hidroquímicos, estudios de impacto ambiental o mejor si se trata de campañas oceanográficas donde se han estudiado varios parámetros, considerando además, sus fluctuaciones espaciales, verticales y temporales. Este paso es lo que CONAMA (1995) denomina recopilación de antecedentes. Un ejemplo de ello se muestra en la Tabla 2, que resume información de algunos estudios en la plataforma dominicana que han evaluado varios parámetros físicos y químicos.

A los efectos de seleccionar, corregir y estandarizar una información que puede ser heterogénea, se debe considerar que los valores recopilados están sujetos a varias fuentes de variación en sentido estacional, espacial, de calidad del agua o relacionado con el muestreo (Tabla 3).

Estacionalmente, los parámetros pueden tener variaciones en el ciclo diurno (horarias) relacionados con la intensidad de la luz solar, la temperatura y el cambio de condiciones ambientales durante la marcha del día (por ejemplo, mareas, viento y oleaje). También pueden existir variaciones mensuales como las que se observan entre épocas de lluvia y seca o invierno y verano; e incluso inter-anales debido a años atípicos que pueden resultar más calurosos que otros o con mayor frecuencia de precipitaciones.

Espacialmente, pueden haber diferencias horizontales, debido a la influencia del aporte terrígeno, si el muestreo se realiza cerca o lejos de la costa. También pueden hallarse diferencias verticales, relacionadas con muestreos en superficie o en una profundidad particular de la columna de agua, donde verticalmente varían la presión, la temperatura y la intensidad de penetración solar. Además, los cambios locales introducen diferencias, pues las condiciones ambientales son diferentes en un manglar que en un arrecife, o en una zona costera influida por aportes fluviales y la zona oceánica adyacente. Las diferencias atribuibles a cambios en la calidad del agua son importantes, pues si tratamos de establecer estándares de

calidad, debemos buscar información de base correspondiente a zonas limpias que reflejen las características naturales.

Tabla 2. Resumen por provincias de los parámetros en aguas superficiales de la zona estuarina y costera de la plataforma dominicana determinados en algunos estudios.

Provincias costeras	Epoca	Parámetros del agua ¹	Referencias
Montecristi	Julio	OD,S,T	CIBIMA, 1997
Puerto Plata	-	S,T,Tr	Alvarez <i>et al.</i> , 1998
Bahía de Maimón	Mayo	S,T,OD	Herrera y Betancourt (2001a)
Parque del Este		S,T,OD,Tu,N,Clo	Chiappone (2001)
S. Pedro de Macorís	Febrero	DBO,DQO,M,N,OD,pH,S,So,T,O	Cogentrix, 1998
Santo Domingo	May/Ago	C,DBO,DQO,M,N,OD,pH,S,So,T,Tu,O	SEA-SURENA, 1999
Santo Domingo	Mayo	A,C,Co,DBO,DQO,M,N,OD,pH,S,So,T,Tu,O ²	Enron Dominicana, 2000
Santo Domingo	Febrero	Co,OD,Sa,S,T ³	AES, 2000
Azua	Dic-Jun	OD,S,T ⁴	González <i>et al.</i> , 1978
Pedernales	-	OD,pH,T	GJI, 1998
Varias localidades		S,T	FDL, 1980
Varias localidades	Nov-Feb	S	Díaz y Bonnelly, 1978

¹A. Alcalinidad, C. color, Co. conductividad, DBO. demanda bioquímica de oxígeno, DQO. demanda química de oxígeno, M. metales pesados, N. nutrientes, OD. oxígeno disuelto, Sa. Saturación de oxígeno, S. salinidad, So. sólidos, T. temperatura, Tr. Transparencia, Tu. Turbidez, Clo. Clorofila, O. Otros. ² Incluye variaciones verticales de la temperatura de 0 a 250 m. ³ Incluye variaciones verticales de todos los parámetros analizados. ⁴ Incluye variaciones diurnas y estacionales.

Finalmente, existe un elemento de variación referido al muestreo y el tipo de análisis. Por ejemplo, pueden existir diferencias si se evalúa la salinidad a través del método de Knudsen (directamente o a través de un salinómetro previamente calibrado) y los valores aproximados que brinda un refractómetro. En ocasiones, los parámetros que encontramos en la literatura están expresados en diferentes unidades (por ejemplo, el oxígeno disuelto en mg/l, ml/l y/o porcentaje de saturación) y es necesario adoptar una de ellas y/o hacer las conversiones necesarias.

Tabla 3. Posibles fuentes de variación de los parámetros oceanográficos a ser recopilados como línea base ambiental.

Escala de la variación		Causa de la variación
Estacionales	Horarias	Muestreos en diferentes horas del ciclo diurno
	Mensuales	Muestreos en diferentes épocas del año
	Inter-anales	Muestreos en años con diferentes condiciones
Espaciales	Horizontales	Muestreo a diferentes distancias de la costa
	Verticales	Muestreo en diferentes estratos de la columna de agua (superficie/fondo)
	Locales	Muestreos de ambientes/ hábitats/ ecosistemas diferentes
Calidad de agua		Muestreo en ambientes limpios y contaminados
Muestreo	Muestrales	Diferentes métodos de muestreo y análisis
	Muestrales	Diferencias en la precisión y cuidado en la toma de muestra y los análisis
	Muestrales	Utilización de diferentes unidades (mg/l, ml/l, porcentaje de saturación)

Aunque la recopilación de datos previos puede brindar una información básica que ahorre tiempo y recursos, no debe descontarse la necesidad de realizar nuevos muestreos en el caso de parámetros acerca de los cuales no exista información, o de ambientes o regiones cuya línea base ambiental se desconoce. En nuestras condiciones, es probable incluso que tengamos que elaborar futuros proyectos de investigación encaminados a obtener datos actualizados.

Paso 6. Establecimiento de estándares referidos a los usos designados

Una vez seleccionados y valorados los parámetros y efectuada la búsqueda de datos de línea base pueden establecerse los valores que cumplirán la función de estándares ambientales, en lo cual juega un papel principal la calidad y el tipo de datos con que contamos. Con este criterio los estándares, pueden dividirse en *cuantitativos* y *cualitativos*. Los primeros expresan su criterio a través de una expresión numérica (por ejemplo, 0.05 mg/l de Cd en el agua) y los segundos a través de algún atributo de calidad no numérico, por eso es que se les llama también *narrativos* (por ejemplo, no habrá películas de grasa sobre la superficie del agua). A pesar de sus diferencias, ninguno es mutuamente excluyente y de hecho, el uso de estándares cualitativos y cuantitativos se considera una combinación satisfactoria para la acción ambiental (UNEP, 1992).

En el caso de los estándares cuantitativos, la selección del valor o los valores que servirán como estándares es un proceso de análisis científico donde se interrelacionan los usos designados, la información ecotoxicológica y de línea base y los valores estándares referidos en la literatura. El proceso no es simple, pues se trata de alcanzar un valor o un conjunto de valores que satisfaga criterios múltiples de protección.

Por razones científicas fundamentales, nunca deben considerarse los estándares como límites estrictos por debajo de los cuales no se producen efectos negativos y por encima de los cuales las consecuencias son catastróficas. Cada estándar contempla, en el mejor de los casos, tan solo un aspecto (con frecuencia arbitrariamente elegido) de las relaciones funcionales entre impacto o condición del daño ocasionado. Utilizar los estándares sin tener en cuenta explícitamente todas las condiciones complementarias que condicionan su validez conlleva el riesgo de conducir a decisiones inapropiadas (BMZ, 1996). En tal sentido, muchos valores estrictos y aparentemente precisos adoptados como estándares no están apoyados en la literatura técnica (UNEP, 1992) ni tienen la consistencia que pretenden, al ser simplemente extrapolaciones de otros países con condiciones ambientales diferentes.

Un aspecto también importante es la expresión a través de la cual indicaremos el criterio de calidad. Usualmente se emplea un valor o nivel estándar, pero también pueden emplearse los valores *máximos* y *mínimos* (para dar una alternativa de variación) o emplear términos como *concentración máxima aceptable* o *permisible*. También se emplea valor *umbral* para referirse a aquel a partir del cual ya pueden observarse efectos adversos; o *límite* para indicar que no debe ser sobrepasado. Una expresión muy utilizada es la de *no mayor que* o *no debe exceder a*, para definir que el valor indicado no debe ser sobrepasado.

Fast (1997) diferencia entre *valores instantáneos*, que reflejan sólo la situación en el momento que se muestrea; y *promedios mensuales*, que llevan implícito un seguimiento del curso de agua durante un período mayor, a fin de calcular una media del valor del parámetro para ser comparada con el estándar. Este criterio incluye la componente de variabilidad para garantizar que el estándar no es sobrepasado en el tiempo, indicando condiciones de estabilidad ambiental que no se reflejarían en un muestreo puntual.

Para los estándares se deben seleccionar las unidades más adecuadas para su presentación de acuerdo al tipo de parámetro. Por ejemplo, entre los parámetros físicos, la temperatura se expresa en grados (Celsius o Fahrenheit) y la turbidez en NTU. Entre los químicos, la salinidad se suele expresar en partes por mil

(‰), el oxígeno disuelto en mg/l o ml/l y aquellos elementos que se encuentran en pequeñas cantidades se expresan en µg/l. Entre los biológicos, los índices ecológicos se expresan en unidades de información (nativos o bitios) y la cobertura, en porcentajes.

Finalmente, una vez establecidos nuestros estándares se debe proceder a una comparación con estándares similares propuestos en la literatura, teniendo cuidado de comparar sobre la base de usos y condiciones ambientales similares a las nuestras. El uso y manejo de los estándares internacionales con fines comparativos y de validación es científicamente conveniente e incluso puede ser necesaria la adopción temporal de valores establecidos para crear una base de control y prevención, pero sin olvidar que la implementación de estándares nacionales requiere de una amplia base de información e investigaciones locales.

Paso 7. Validación y participación pública

Al igual que ocurre con otros procedimientos de gestión ambiental, como por ejemplo el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, la adopción de estándares debe ir acompañada de su difusión y su sometimiento a la consideración pública. Ello incluye, tanto audiencias públicas de presentación como su publicación en todos los medios de prensa. Esta actividad tiene dos objetivos básicos. Primero, que la sociedad civil y las instituciones privadas y/o gubernamentales opinen sobre los criterios narrativos y numéricos que regirán la calidad del agua para diferentes usos, ya que éstos serán en definitiva el apoyo técnico de regulaciones que afectarán a los inversionistas y a la población en general. Segundo, alertar e instruir acerca de la existencia de nuevos criterios para la gestión ambiental costera que vendrán a fortalecer la legislación para hacerla más específica en su papel controlador.

Paso 8. Actualización y retroalimentación de criterios

Con el estado actual del conocimiento científico y el escaso grado de desarrollo metodológico de los estándares dentro de las disciplinas ambientales, es claro que no siempre es fácil obtener un indicador totalmente objetivo y permanente. La elaboración de estándares de calidad para el ambiente marino requiere del concurso de varias disciplinas entre las que se destacan, la oceanografía física y química, pesquerías, ecotoxicología, microbiología, biología, ecología, ingeniería de costas, maricultura o turismo. Su elaboración constituye por tanto, un proceso iterativo de integración y aproximación de acuerdo a la información disponible y al nivel de conocimiento acumulado.

Quiere esto decir que la elaboración de estándares de calidad para el ambiente marino es un proceso continuo, de modo que al llegar a este paso es necesario volver continuamente sobre los pasos anteriores, particularmente los concernientes al análisis de información ecotoxicológica, para incorporar los resultados de nuevos experimentos; y la búsqueda de información de línea base, en la medida que nuevos muestreos en la plataforma dominicana contribuyan a refinar la información existente. Además, pueden aparecer nuevos usos ligados al ordenamiento territorial.

CONCLUSIONES

En la República Dominicana no está disponible toda la información de línea base para la elaboración de nuestros estándares. Ello impone ciertas limitaciones que hace recomendable su implementación de manera escalonada, comenzando con estándares narrativos e incorporando estándares numéricos referidos a aquellos parámetros mejor conocidos y para los que se cuenta con información de base. Estos primeros estándares deben ser incorporados de inmediato como criterio técnico para la elaboración de regulaciones estrictas sobre la zona costera. Paralelamente, la base analítica para la medición de estos primeros parámetros debe ser mejorada y estandarizada para ir ganando experiencia en su aplicación y control, mientras se dan pasos para la ampliación de las técnicas de determinación de nuevos parámetros que

suministrarán nuevos datos para continuar ampliando nuestra lista de estándares sobre bases técnicas sólidas.

Con todas estas limitaciones y realidades, el valor de los estándares de calidad ambiental como herramienta de descripción, prevención y monitoreo no está en dudas, y en la medida que la elaboración de nuestros estándares se fundamente en los datos de línea base de nuestra plataforma, tenga un adecuado análisis del comportamiento físico-químico, las interrelaciones y el papel del factor analizado en el ambiente natural y sea complementado con información ecotoxicológica, estaremos más cerca de valores que puedan cumplir más eficazmente su cometido.

BIBLIOGRAFÍA

1. AES 2000. Estudio de Impacto Ambiental para la instalación de una planta de producción de energía termoeléctrica. AES Corporation. Datos físicos y químicos de aguas marinas.
2. Aguilo, A. M., M. P. Aramburu, E. C. Ayuso y A. A. Andray 1991. La calidad del agua. Pp. 279-305. En: Guía para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología. Tercera Edición. Secretaría General Técnica, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, Madrid, España.
3. Alvarez, V. F. Gerales, V. Rivas y G. Rosado, 1998. Caracterización de los ambientes costeros dominicanos. Bahía de Puerto Plata. Investigación para el desarrollo, Universidad Autónoma de Santo Domingo, UASD, 101-109.
4. Baisre, J. A. 1985. Los complejos ecológicos de pesca: definición e importancia en la administración de las pesquerías cubanas. FAO Fish. Rep., 327, Suppl.: 251-272.
5. Betancourt, L. y A. Herrera 2000. Caracterización ambiental de la Ensenada de Sosúa: arrecifes coralinos. INDOTÉCNICA. 9 (2): 11-19.
6. BMZ 1996. Tomo III Catálogo de Estándares Ambientales. Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ), Fiedr. Vieveg & Sohn, Vieweg, 651 pp.
7. CEPIS 2001. Algunos términos usados en toxicología y seguridad química. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria. www.cepis.ops-oms.org/tutorial/glosario.html
8. CCC 2000. Coastal Commission Chapter Three: *Potential Environmental Impacts / Coastal Act Issues*. Seawater Desalination in California. <http://www.coastal.ca.gov/web/desalrpt/dchap3.html>
9. CIBIMA 1997. Caracterización costera y marina del litoral de la provincia de Montecristi, República Dominicana. Proyecto GEF-PNUD/ONAPLAN Conservación y Manejo de la Biodiversidad Marina en la República Dominicana, Centro de Investigaciones de Biología Marina, CIBIMA/UASD, 67 pp.
10. Cogentrix 1998 Evaluación de impacto ambiental. Proyecto eléctrico de San Pedro de Macoris. Cogentrix Energy, Inc. Commonwealth Development Corporation
11. CONAMA 1995. Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión. Comisión Nacional del Medio Ambiente. Decreto No. 93, Ministerio Secretaria General del la Presidencia, Octubre 26 de 1955, 27 pp.
12. Díaz, C. C. e I. Bonnelly 1978. Estudio malacológico en 17 playas de la República Dominicana. En: Conservación y Ecodesarrollo, Centro de Investigaciones de Biología Marina, CIBIMA, Universidad Autónoma de Santo Domingo, pp. 195–306.
13. Enron Dominicana 2000. Estudio de Impacto Ambiental. Terminal de importación de gas licuado (GNL) y una planta termoeléctrica de ciclo combinado con una capacidad nominal de 500 megavatios (Mw), Punta Caucedo. Tablas de datos sobre la calidad del agua.
14. EPA 1997. How does Ohio EPA evaluate water quality? <http://chagrin.epa.state.oh.us/watershed/howohio.htm>.
15. EPA 1999. Action plan for beaches and recreational waters. United States Environmental Protection Agency. EPA/600/R-98/079, 19 pp.
16. Fast, D. 1997. Ambient water quality criteria for dissolved oxygen. Water Management Branch, Environment and Resource Management, Ministry of Environment, Lands And Parks. http://www.env.gov.bc.ca/wat/wq/BC_guidelines/DO.html
17. FDL 1980. Desarrollo pesquero en la República Dominicana. Fisheries Development Limited, Inc./ Instituto Dominicano de Tecnología Industrial, 345 pp.
18. GJI 1998. Plan de manejo zona costero marina Parque Nacional Jaragua. Proyecto GEF-PNUD/ONAPLAN Conservación y Manejo de la Biodiversidad Marina en la República Dominicana, Grupo Jaragua, Inc., 127 pp.

19. González, Z., W. Gutierrez, V. Rivas e I. Bonnelly 1978. Informe preliminar sobre la laguna costera de Puerto Viejo, Azua en la República Dominicana. En: Conservación y Ecodesarrollo, Centro de Investigaciones de Biología Marina, CIBIMA, Universidad Autónoma de Santo Domingo, pp. 53 – 93.
20. Herrera, A. 1994. Impacto de la contaminación sobre los arrecifes coralinos en el litoral habanero. Tesis para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Biológicas, Academia de Ciencias de Cuba, 158 pp.
21. Herrera, A. 2000. Country Report on Environmental Impact Assessment. Dominican Republic. Instituto Nacional de Protección Ambiental (INPRA). Curso de Entrenamiento sobre Evaluación de Impacto Ambiental, Estocolmo, Suecia, 6 pp.
22. Herrera, A. y Betancourt, L. 2001. Toxicidad del cadmio sobre los crustáceos: Bioensayos, efectos y propuesta de estándares. INDOTECNICA
23. Herrera, A. y L. Betancourt 2001a. Evaluación de Impacto Ecológico del Proyecto Generación Eléctrica en Bahía de Maimón. Evaluación de Impacto Ambiental, 32 pp.
24. Risquez, M. E. 2000. Contaminación. Escuela virtual. <http://www.escuela-virtual.org.mx/http://www.escuela-virtual.org.mx/>
25. Schanz, 1999. Water quality. En: Water Quality Index. Chehalis River Council <http://www.crcwater.org/onalaska/waterquality.html>.
26. SEA-SURENA 1999. Planificación y manejo ambiental del litoral de Santo Domingo. Plan de saneamiento para las cuencas media baja Ozama-Isabela, Haina y el litoral de Santo Domingo, auspiciado por el PNUD y AID, asesoría del CIMAB, 162 pp.
27. SEMARENA 2001. Normas Ambientales sobre la calidad del agua y control de descargas. Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Editora BUHO, Santo Domingo, República Dominicana, 52 pp.
28. UNEP 1992. Environmental Quality Criteria for Coastal Zones in the Wider Caribbean Region. CEP Technical Report No. 14. UNEP Caribbean Environment Programme, Kingston, Jamaica. <http://www.cep.unep.org/pubs/tech-reports/tr14en/content.html#VI>
29. USC 2000. Medio Ambiente, Ecología y Salud Pública. Estándares nacionales de calidad ambiental. Universidad de Santiago de Chile : Medio Ambiente. [http://lauca.usach.cl/ima/apendc.htm#aguas dulces](http://lauca.usach.cl/ima/apendc.htm#aguas-dulces).