

# PARAMETRIZACIÓN OCEANOGRÁFICA EN ÍNDICES DE CALIDAD DEL AGUA

Téc. Jorge de Armas Tápanes, Téc. Rubén Rodríguez Romero, Téc. Duanny Zayas Suárez,  
M. Sc. Lázaro J. Fernández Vila y M. Sc. Daisy López García  
GEOCUBA Estudios Marinos, Punta Santa Catalina, Regla,  
CP 11200, Ciudad de La Habana, Teléf.: 97-8255, Fax: 97-8165,  
E-mail: lazaro@emarinis.geocuba.cu

## RESUMEN

En el trabajo se discute la polémica situación actual de la utilización de Índices de Calidad del Agua para ecosistemas marinos, sobre la base del análisis de 20 Índices de Calidad del Agua (ICA) basados en variantes de la magnitud media, ya sea aritmética simple, ponderada o geométrica: seis norteamericanos, siete colombianos, un mexicano, cuatro holandeses y dos cubanos, y la utilización en ellos, de 31 parámetros físico-químicos (28 en agua y tres en sedimentos). Se evidenció, que el parámetro más utilizado fue el oxígeno disuelto (en mg/L y en % v.s.), que se emplea en 12 de los índices analizados, seguido de la temperatura del agua (°C), empleada en nueve índices, los coliformes fecales, el pH y la DBO<sub>5</sub>, en ocho índices, la salinidad y los fosfatos, en siete índices y el nitrógeno de nitrato y amoniacal, en seis índices. Se analizan las probables causas de esta selección de parámetros y se fundamentan los seleccionados para el índice cubano CALIMAR, haciendo énfasis en los fenoles, como parámetro indispensable para valorar la calidad de las aguas marinas cubanas en zonas de ubicación de grandes polos turísticos del oriente del país, cercanos a zonas cafetaleras.

*Palabras clave:* calidad del agua, Índices de Calidad del agua, contaminación marina.

## INTRODUCCIÓN

El estudio, manejo y control de la calidad de las aguas marinas, es uno de los principales problemas asociados a la contaminación ambiental, que requiere de la utilización de métodos y técnicas tanto tradicionales como de avanzada, que puedan ofrecer una respuesta rápida y convincente acerca del estado del recurso agua marina, las posibilidades de su uso, la evolución temporal de sus características físico-químicas, y que permitan la toma de decisiones y medidas para preservar su calidad y evitar su deterioro.

No poco son los esfuerzos en la actualidad, dirigidos a encontrar un método coherente, confiable y universal, para valorar la calidad de las aguas, utilizando fundamentalmente, los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos que determinan la calidad natural de las mismas.

Los **índices físico-químicos** de la calidad permiten comunicar la información de forma eficaz, resumida y sencilla, y están ampliamente difundidos en todo el mundo. Sin embargo, su uso y aplicación esta sujeto a discusiones, disparidades de criterios teóricos y de enfoques (Brown *et al.*, 1972; Bascaron, 1975; Dinius, 1972; Walski, 1974; Dunnette, 1979; Queralt, 1982; Mingo, 1983; House *et al.*, 1989 y Smith, 1990), entre otros, citados por Del Río Marrero (1992), en una revisión crítica de los índices físico-químicos de la calidad de las aguas.

"Un índice de calidad de agua, consiste básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color". (Nelson Josué Fernández *et. al.*, 2005)

"Su ventaja radica, en que la información puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos. Consecuentemente, un índice de calidad de agua es una herramienta comunicativa para transmitir información". (Nelson Josué Fernández *et. al.*, 2005)

En la extensa revisión bibliográfica realizada acerca de la utilización de índices de calidad del agua, llama poderosamente la atención, el hecho de que todos, con excepción de los índices cubanos ICIEP, (Suárez Álvarez *et al.*, 2004) y CALIMAR (Fernández Vila *et. al.*, 2004), son índices concebidos para agua dulce (ríos, lagos, aguas subterráneas, etcétera).

Sin embargo, nada indica que las variaciones sencillas sobre la media aritmética, usadas para los índices de calidad de aguas dulces, no sean aplicables para aguas marinas. La diferencia radica en la correcta selección de los parámetros ambientales y en la clara concepción de la escala espacio – temporal con que se trabaja. Además, se necesitan métodos estadísticos sencillos y rápidos, para valorar cuantitativamente la calidad del agua marina de determinadas áreas y poder dar seguimiento a su evolución cualitativa de forma objetiva. Esto facilitaría la comparación de áreas análogas, su clasificación y un mejor enfoque de las actividades orientadas a su preservación. Por este motivo, se entiende que los Índices de Calidad del Agua (ICA), son factibles de utilizar en el medio marino.

En líneas generales, estos índices siguen los siguientes cuatro pasos:

1. Selección de los parámetros ambientales.
2. Transformación de los valores analíticos de los parámetros, a una unidad de calidad ambiental común a todos.
3. Determinación del índice ponderal de cada parámetro, considerando su importancia relativa dentro del medio ambiente que se estudie.
4. Finalmente, se realiza el cálculo del ICA, de acuerdo con la expresión matemática seleccionada.

El objetivo fundamental del trabajo, consiste en un análisis de la utilización de 31 parámetros oceanográficos en 20 índices de Calidad del Agua, determinando, los parámetros mas usados y comparando estos resultados con el Índice General de Calidad de las Aguas Marinas (IGCAM Calimar), desarrollado por investigadores de GEOCUBA Estudios Marinos.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la realización del trabajo, los autores se basaron fundamentalmente, en tres artículos que analizan de forma crítica, gran cantidad de índices. Nos referimos a:

1. Río Marrero, I. Del (1992): Revisión crítica de los índices físico-químicos de calidad de aguas. Rev. Ing. Civil. CEDEX. MOPU. Madrid. No 86/1992, pp. 77-90.

2. Fernández Vila, L. J.; D. López García y E. Villa Juárez (2004): Calidad de las aguas marinas. Caracterización de los parámetros del Sistema CALIMAR. Archivos de GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla. Ciudad de La Habana.
3. Jossué Fernández, N.; F. Solano Ortega y J. Gabriel Ramos Suarez (2005): ICATEST V1.0. Una Herramienta para la valoración de la calidad del agua. Universidad de Pamplona.

Se seleccionaron 20 ICA: seis norteamericanos, siete colombianos, un mexicano, cuatro holandeses y dos cubanos, y 31 parámetros físico-químicos (28 en agua y tres en sedimentos). Los índices seleccionados, se muestran al final, en la tabla anexa No. 1, mientras que la relación de parámetros oceanográficos usados en los diferentes índices, se brinda en la Tabla 2 anexa.

La expresión simplificada del Índice IGCAM CALIMAR es la siguiente:

$$\text{CALIMAR1} = \text{Asp.} + \text{Temp.} + \text{Sal.} + \text{OD} + \text{DBO}_5 + \text{CF} + \text{Fen.} + \text{N amon.} + \text{Fos.} + \text{Plag.} + \text{MP} + \text{IH} / 12$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evidenció, que el parámetro más utilizado fue el oxígeno disuelto (en mg/L y en % v.s.), que se emplea en 12 de los índices analizados (60 %), seguido de la temperatura del agua (°C), empleada en nueve índices (45 %), los coliformes fecales, el pH y la DBO<sub>5</sub>, en ocho índices (40 %), la salinidad y los fosfatos, en siete índices (35 %), el nitrógeno de nitrato y amoniacal, en seis índices (30 %), la alcalinidad y la turbidez en cuatro índices (20 %), el nitrógeno de nitrito, sólidos totales, dureza y sólidos suspendidos en tres índices (15 %), los cloruros, coliformes totales, DQO, clorofila, fenoles, metales pesados en agua, fosforo total, nitrógeno total, hidrocarburos en agua y transparencia, en dos índices (10 %), y finalmente, los hidrocarburos en sedimentos, el aspecto, los plaguicidas, el índice hidrodinámico y el nitrógeno y carbono orgánico en sedimentos, solo en un índice (5 %) (Fig. 1).

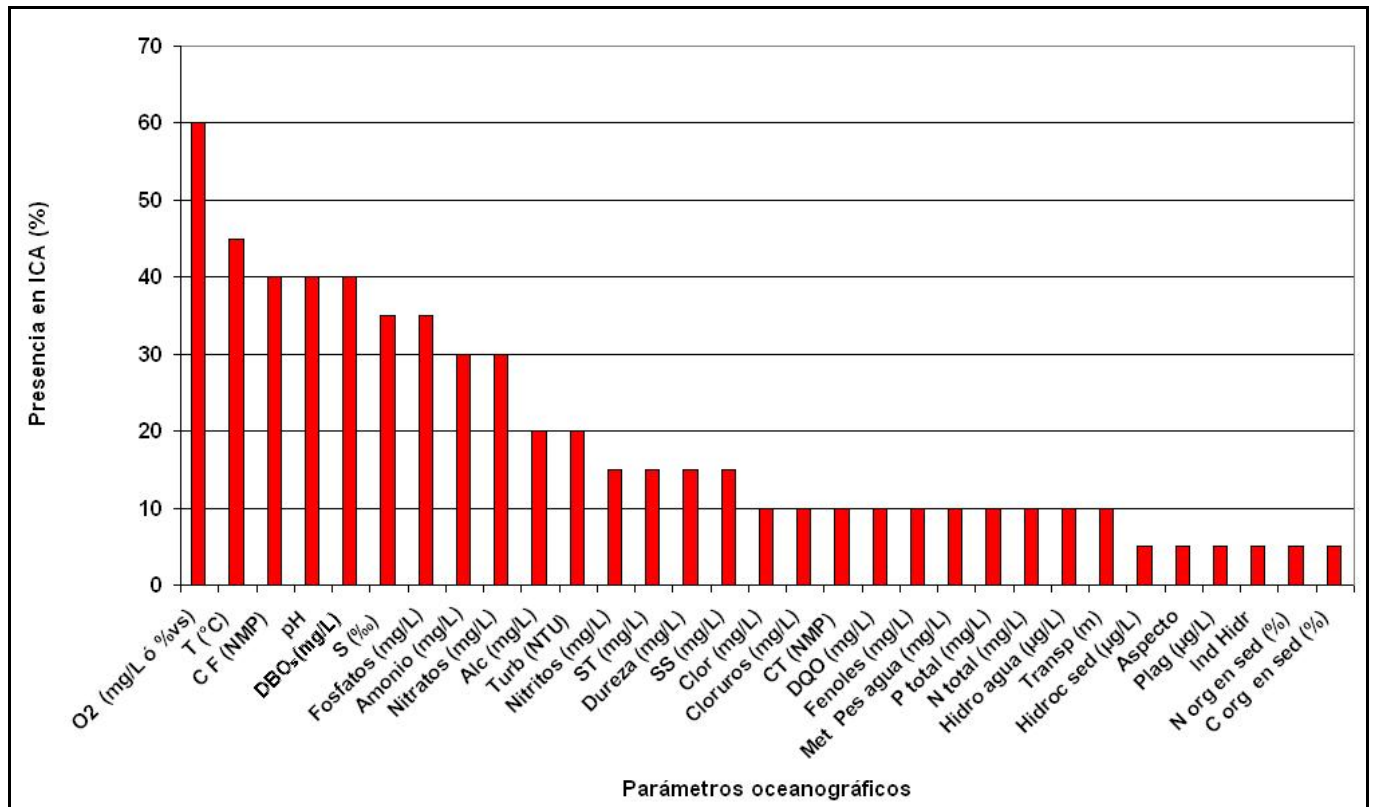


Fig. 1 Presencia (%) de los parámetros oceanográficos en los Índices de Calidad del Agua (ICA) analizados.

Las probables causas de estos resultados radican en lo siguiente:

Históricamente el **oxígeno disuelto** (60 % de presencia en los ICA), ha sido mundialmente el parámetro de más interés en los criterios de calidad del agua y esta relacionado, principalmente, con la calidad estética y con el mantenimiento de la vida acuática. Afecta principalmente a los estados embrionarios y larvarios de muchos peces, debido a que su habilidad para extraer el oxígeno del agua no está bien desarrollada, y a la imposibilidad que tienen de moverse a otras condiciones más favorables. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994)

La **temperatura** (45 % de presencia en los ICA), es uno de los factores físicos que más condicionan el desarrollo de la vida en el medio acuático. Los efectos subletales de las variaciones de la temperatura afectan al metabolismo, respiración, comportamiento, distribución, migraciones, alimentación, crecimiento y reproducción de la mayoría de los animales y plantas acuáticas. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994)

Los **coliformes fecales** (40 % de presencia en los ICA), son un grupo de bacterias típicas del intestino humano que se elimina normalmente por las heces. Incluye entre otras, el género *Escherichia*, cuya especie más representativa es *E. coli*. Es el grupo más empleado como indicador de contaminación fecal en los criterios de calidad microbiológica, tanto para aguas de baño como para aguas de cultivo de moluscos. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994)

El **pH** (40 % de presencia en los ICA), es una medida de la acidez de un agua y es un factor importante en los sistemas químicos y biológicos de los medios acuáticos marinos. Aunque la mayoría de los seres vivos toleran amplias variaciones de pH, la toxicidad de gran número de contaminantes esta afectada por los cambios de este entre márgenes de 5-9 unidades, por lo que incrementos de la acidez o de la alcalinidad pueden hacer a estos contaminantes más tóxicos. El agua de mar presenta, de forma estable, pH comprendido entre 7-9 unidades, siendo 8, 1 unidades el valor normal en superficie. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994)

La **Demanda Bioquímica de Oxígeno** (DBO<sub>5</sub>) (40 % de presencia en los ICA), es un índice que revela la cantidad de oxígeno necesario para reducir la materia orgánica y altos valores de DBO es un indicador de contaminación. Índices altos de DBO<sub>5</sub> traen como consecuencia la eutrofización de medioambiente acuáticos y la formación de condiciones anóxicas en el medioambiente.

El **fósforo de ortofosfatos** (P-PO<sub>4</sub>) (35 % de presencia en los ICA), es un elemento importante en el crecimiento de las algas y otros organismos, su exceso contribuye al no deseado fenómeno de Eutrofización. El fenómeno de la eutrofización se asocia con altas concentraciones de este compuesto, y al igual que sucede con el nitrógeno, se modifican las condiciones de la masa de agua con una pérdida importante de su calidad, tanto sanitaria como ecológica. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994)

En cuerpos de agua costeros el **amonio** (N-NH<sub>4</sub>) (30 % de presencia en los ICA), es la principal fuente de nitrógeno inorgánico. Gran proporción de los compuestos nitrogenados se incorporan al medio marino en estado reducido y por lo tanto consumen oxígeno disuelto en su proceso de oxidación. Su presencia guarda relación con los procesos de mineralización de la materia orgánica, el aporte de los ríos y las actividades antropogénicas. (Montalvo *et al.*, 2000) El amonio, al producirse en el primer paso de la mineralización, constituye probablemente el mejor indicador químico indirecto de contaminación fecal en las aguas. Es el principal indicador químico de contaminación fecal, pues el cuerpo los expulsa en esta forma, lo que supone que indica una contaminación reciente.

La **salinidad** es un componente esencial para la supervivencia de determinadas especies. La mayoría de las especies marinas toleran amplios márgenes para este parámetro, especialmente las adaptadas a condiciones estuáricas. No obstante, descensos bruscos de la salinidad pueden acarrear elevadas mortandades y estar asociados con efectos sinérgicos a algunos contaminantes. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994) En Cuba, este parámetro alcanza magnitudes elevadas, principalmente en las bahías semicerradas del Archipiélago de Camagüey.

Entre los parámetros poco seleccionados en los índices internacionales, se encuentran los fenoles, incluidos en el índice cubano CALIMAR, debido a que se ha detectado presencia de los mismos, en altas concentraciones, en aguas cubanas de las zonas NW y central, productoras de café.

Los **fenoles** (10 % de presencia en los ICA), son tóxicos para las especies acuáticas, reducen la concentración de oxígeno disuelto al ser productos muy ávidos del mismo. Varias condiciones ambientales pueden aumentar la toxicidad del fenol: las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, el incremento de salinidad y el incremento de la temperatura. Otro problema asociado con los compuestos fenólicos es su propiedad organoléptica de producir olor en el agua y en la carne de los peces. (Ruiz Mateo *et al.*, 1994)

Se incluye además en este índice el **aspecto** que presupone el **Reconocimiento Visual General** del área que se investiga, como resultado del cual, se obtiene una valoración general primaria de la calidad del agua y su

entorno, ofrecida por su aspecto, y que incluye: el olor, el color y el sabor del agua, la presencia/ausencia de sólidos flotantes, así como de grasas y aceites, la transparencia y la turbidez visual.

Finalmente, teniendo en consideración las particularidades del movimiento acuoso en nuestras aguas de plataforma (corrientes y marea), se introduce el **índice hidrodinámico** que incluye el período de renovación de las aguas diferentes áreas de la plataforma cubana, las corrientes marinas y la marea.

## CONCLUSIONES

1. Se evidenció, que el parámetro más utilizado fue el oxígeno disuelto (en mg/L y en % v.s.), que se emplea en 12 de los índices analizados (60 %), seguido de la temperatura del agua (°C), empleada en nueve índices (45 %), los coliformes fecales, el pH y la DBO<sub>5</sub>, en ocho índices (40 %), la salinidad y los fosfatos, en siete índices (35 %), el nitrógeno de nitrato y amoniacal, en seis índices (30 %), la alcalinidad y la turbidez en cuatro índices (20 %), el nitrógeno de nitrito, sólidos totales, dureza y sólidos suspendidos en tres índices (15 %), los cloruros, coliformes totales, DQO, clorofila, fenoles, metales pesados en agua, fósforo total, nitrógeno total, hidrocarburos en agua y transparencia, en dos índices (10 %), y finalmente, los hidrocarburos en sedimentos, el aspecto, los plaguicidas, el índice hidrodinámico y el nitrógeno y carbono orgánico en sedimentos, solo en un índice (5 %).
2. Para la construcción de un ICA nacional, se han valorado los principales parámetros oceanográficos usados internacionalmente para tales fines, y los que son necesarios tener en cuenta además, para las aguas cubanas, debido a sus peculiaridades oceanológicas.

## RECOMENDACIONES

Realizar un estudio numérico – comparativo de los ICA recopilados actualmente, con información modelo y real.

## BIBLIOGRAFÍA

- Del Río Marrero, I. (1992): Revisión crítica de los índices físico-químicos de calidad de aguas. Rev. Ing. Civil. CEDEX. MOPU. Madrid. No 86/1992, pp. 77-90.
- Dinius, S. H. (1972): Social Accounting System for Evaluating Water Resources. Wat. Resour. Res., 8(5): 1159-1177.
- Fernández Vila, L. J.; D. López García y E. Villa Juárez (2004): Calidad de las aguas marinas. Caracterización de los parámetros del Sistema CALIMAR. Archivos de GEOCUBA Estudios Marinos. Punta Santa Catalina, Regla. Ciudad de La Habana.
- Josué Fernández, N.; F. Solano Ortega y J. Gabriel Ramos Suárez (2005): ICATEST V1.0. Una Herramienta para la valoración de la calidad del agua. Universidad de Pamplona.
- Ruiz Mateo, A.; J. L. Buceta Miller; J. Sierra Antiñolo y A. M. Lloret Capote (1994): Calidad del Medio Litoral. En: Seminario Hispano – Cubano sobre Gestión y Actuaciones en la Costa. La Habana, 18 al 22 de julio

de 1994. Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC). Centro de Estudios y experimentación de Obras Publicas (CEDEX). Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. España.

Suárez Álvarez, G.; T. Romero López y E. Perigó Arnaud (2004): Índice de contaminación para investigaciones ecológico-pesqueras (ICIEP). 6to. Congreso de Ciencias del Mar. MARCUBA'2003. Comité Oceanográfico Nacional. La Habana. Cuba.

## ANEXOS

Tabla 1. Relación de Índices de Calidad de Agua (ICA) utilizados

No.	Índices	No.	Índices
<b>Índices norteamericanos</b>			
1	NSF: El Índice de La Fundación Nacional de Saneamiento	11	ICOTemp: Índice de contaminación por cambio de temperatura
2	IDAHO: Índice de calidad de agua para Idaho	12	ICOSUS: Índice de contaminación por sólidos suspendidos
3	DINIUS	13	ICOHC: Índice de contaminación por hidrocarburos
4	OWQI: Índice de calidad de agua para Oregon	14	ICA-RAP: Calidad de aguas marinas y costeras para la recreación, actividades náuticas y playas
5	DRM: Índice de calidad de agua para el río Desmoines	<b>Índices holandeses</b>	
6	Fusiller (1982): Índice de calidad de agua para lagos	15	NPI: Índice de Contaminación por Nutrientes
<b>Índices mexicanos</b>		16	OPI: Índices de Contaminación Orgánica
7	Leon (1998): Índice de calidad de agua para la cuenca de Lerma – Chapala	17	IPI: Índices de Contaminación Industrial
<b>Índices colombianos</b>		18	PPI: Índices de Contaminación por Pesticidas
8	ICOMI: Índice de contaminación por mineralización (Ramírez <i>et al.</i> , 1999)	<b>Índices cubanos</b>	
9	ICOPH: Índice de contaminación por pH	19	Calimar o IGCAM Calimar: Índice general de calidad para las aguas marinas cubanas
10	ICOMO: Índice de contaminación por materia organica. (Ramírez <i>et al.</i> , 1999)	20	ICIEP: Índice de Contaminación para Investigaciones Ecológico – Pesqueras. (Suárez Álvarez <i>et al.</i> , 2004)

Tabla 2. Relación de presencia de los parámetros oceanográficos en los índices de calidad del agua analizados

Índices	Índices																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<b>Parámetros</b>																					
1 Oxígeno Disuelto (mg/L) + %vs	X	X	X	X	X	X	X			X						X			X	XX	
2 Temperatura del agua (°C)	X		X	X		X	X				X					X			X	X	
3 Coliformes Fecales	X	X	X	X			X			X				X					X		
4 pH (Unidad)	X	X	X	X	X	X	X		X						X						
5 DBO <sub>5</sub> (mg/L)	X	X	X	X	X	X	X			X						X			X	X	
6 Salinidad		X	X			X		X							X		X		X		
7 Fosforo de fosfato (mg/L)	X	X		X		X	X								X				X		
8 Nitrógeno amoniacal (mg/L)				X	X		X								X	X			X		
9 Nitrógeno de nitrato (mg/L)	X		X	X	X	X	X														
10 Alcalinidad (mg/L)			X			X	X	X													
11 Turbidez (ITU)	X	X			X										X						
12 Nitrógeno de nitrito (mg/L)				X	X										X						
13 Sólidos totales (mg/L)	X			X									X								
14 Dureza (mg/L)			X				X	X													
15 Sólidos suspendidos (mg/L)					X		X													X	
16 Clorofila (mg/L)						X									X						
17 Cloruros (mg/L)			X				X														
18 Coliformes totales			X				X														
19 DQO (mg/L)							X									X					
20 Fenoles (mg/L)							X												X		
21 Metales Pesados en agua (mg/L)																	X		X		
22 Fosforo total (mg/L)															X					X	
23 Nitrógeno total (mg/L)															X					X	
24 Hidrocarburo en agua (µg/L)													X					X			
25 Transparencia (m)						X														X	
26 Hidrocarburo en sedimentos (µg/L)																		X			
27 Aspecto																			X		
28 Plaguicidas																			X		
29 Índice Hidrodinámico																			X		
30 Nitrógeno orgánico en sedimentos																				X	
31 Carbono orgánico en sedimentos																				X	
Parámetros medidos por Indices	9	5	11	9	8	9	15	3	1	3	1	1	1	1	1	9	5	2	2	12	10