

# VECTOR DE CALIDAD AMBIENTAL NORMALIZADO COMO ELEMENTO EN LA TOMA DE DECISIONES EN UNA CUENCA HÍDRICA

## *Vector Environmental Quality as a Standardized in Decision Making in a Watershed*

Juan Pablo Rodríguez Miranda<sup>1</sup>, Virgilio Antonio Miniño Mejía<sup>2</sup>,  
Martín Antonio Meléndez Valencia<sup>3</sup>

Recibido: 9-7-2016 • Aprobado: 12-12-2016

### Resumen

Este artículo considera la variabilidad climática como una variable significativa influyente en la planificación ambiental hídrica estacional de una cuenca hidrográfica. El análisis se hizo mediante el método retrospectivo y exploratorio con tal de obtener la información climática en la normalización de las variables. Se realizó una valoración concurrente (cualitativa y cuantitativa) en términos de la calidad ambiental resultante, ya que puede ser utilizada como marco de referencia para la toma de decisiones en futuras inversiones e intervenciones en una cuenca en cualquier lugar del planeta. Se concluye que la integración de la variabilidad climática como aspecto relevante en la variación de escala de tiempo y espacio, así como las variaciones temporales del clima en períodos cortos de tiempo, son de gran influencia en el modelo de toma de decisiones de una cuenca hidrográfica, sobre todo para determinar los valores del vector normalizado de calidad ambiental, dado que la dinámica ambiental es inherente a cada cuenca.

**Palabras clave:** cuenca hidrográfica; calidad ambiental; normalización; variabilidad climática.

### Abstract

This article considers climate variability as a significant variable in seasonal environmental water planning of a water basin. The analysis was done using the retrospective and exploratory method in order to get climate information in the variables' normalization. A concurrent assessment (qualitative and quantitative) in terms of the resulting environmental quality was performed, because it could be used as reference for decision making on future investments and interventions in a basin anywhere on the planet. It is concluded that, the integration of climate variability as a relevant aspect in the time and space scale variation, as well as the temporal climate variations in short periods of time, are of great influence in the decision making of a water basin model, especially to determine the normalized vector of environmental quality values, because the inherent environmental dynamics of each basin.

**Keywords:** watershed; environmental quality; standardization.

1. Profesor Asociado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Correo electrónico: jprodriguez@udistrital.edu.co

2. Profesor Investigador Área de Ciencias Básicas y Ambientales, Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), República Dominicana. Correo electrónico: virgilio.minino@intec.edu.do

3. Profesor Investigador Área de Ingenierías. Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC), República Dominicana. Correo electrónico: martin.melendez@intec.edu.do

## Introducción

La planificación hidrológica de una cuenca hidrográfica, expone una característica homogénea en lo referente a lo físico, ambiental, y como recurso hídrico, y busca garantizar la sostenibilidad en términos del uso, control y protección de los mismos (Pilar, 2011). Esto, mediante el conocimiento de las interrelaciones entre los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los cuales depende la oferta hídrica para cuantificar la cantidad de agua disponible para los diferentes usos, incluida el agua requerida para el mantenimiento de los ecosistemas. Sin embargo, el abordaje de procesos de planificación de las cuencas hidrográficas, conlleva muchas veces a la toma de decisiones con un grado de incertidumbre considerable, debido a que en la mayoría de los casos, se ha considerado la condición climática como una condición estacionaria, es decir, se ha considerado que el clima no varía.

La planificación ambiental de los recursos hídricos exige considerar el conjunto fluctuante de las condiciones del clima, también implica la integración de factores determinantes y la interacción del orden climático en condiciones físicas y geográficas que presentan una variación en escalas de tiempo y espacio. Desde este punto de vista, las modificaciones en la interacción entre los componentes (atmósfera, superficie terrestre, océanos, áreas terrestres cubiertas de hielo, biosfera y actividad humana) del sistema climático se deben a las variaciones temporales del clima en periodos corto de tiempo (años o meses) o alrededor de su estado medio (alta dependencia de la cantidad y distribución de las precipitaciones), conocido como variabilidad climática (Pabón, 1998; Montealegre, 2000; Izaguirre, 2010; García, 2007).

El propósito de este trabajo es realizar una revisión de las condiciones del vector de calidad ambiental normalizado para ser aplicado mediante una valoración concurrente cualitativa y cuantitativa en un modelo de toma de decisiones.

## Materiales y métodos

La investigación aplicada fue de tipo exploratoria, debido a que se indagó sobre el tema de la calidad ambiental como vector normalizado y por tanto se pudo precisar, identificar y delimitar aspectos de comprensión, sinergias, y delimitación del tema analizado (Hurtado, 2000). Además, según el tiempo de ocurrencia de los hechos y el registro de la información relacionada con el tema de estudio, la investigación aplicada fue considerada desde una perspectiva retrospectiva lo que permitió alcanzar conocimientos fundamentales del tema (2010). La información recolectada (como estudio de literatura especializada) fue categorizada y clasificada según la estructura y la correlación existente entre el vector normalizado de calidad ambiental y la planificación ambiental en una cuenca hidrográfica.

## Desarrollo

En el caso de las variables continuas, las unidades de medida de cada una de ellas son diferentes y corresponden a cada criterio ambiental. Para que sean comparables en magnitud (Barba - Romero, 1987), la normalización de las variables puede ser una alternativa válida para la construcción del Modelo de Planificación Ambiental Hídrica Estacional (MPAHE) (Rodríguez, 2015), dado que cada variable independiente en el modelo ( $r_{ij}$ ) corresponde a cada componente ambiental  $i$  a un criterio ambiental  $j$  y serán interrelacionados entre sí. El vector normalizado de calidad ambiental ( $CA_1, \dots, CA_i, \dots, CA_m$ ) corresponde a una simplificación de vectores (Barba - Romero, 1987) para lograr una planificación adecuada de las cuencas hídricas, incluyendo la variable de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales (PTARM) y una interrelación de la dinámica ambiental de la cuencas hídricas.

El cambio o relación uniforme aritmética de la magnitud de la calidad ambiental en el modelo de

planificación ambiental hídrica estacional, establecido como un gradiente  $\Delta CA$  lo cual podría ser una función de variación media al cociente entre las variables, así:  $\frac{dCA}{dt} = k$  (donde  $k$  es una constante) el cual podría ser positivo o negativo, en la condición de la linealidad de una función de calidad ambiental,  $f(x) \geq f(y)$  para cada  $x \in R_n \setminus \{0\}$ , por ello  $f(x) - f(y) = \Delta CA$  en un campo conservativo, la variación de la función de calidad ambiental con respecto a la calidad ambiental (CA) encontrada en el Río y en el effluente planta de tratamiento de aguas residuales municipales o de igual forma, en el afluente de las aguas residuales crudas (sin tratar) de un municipio, puede contener una variación en la dirección del vector de CA previamente normalizado, e indica de manera convergente si aumenta o disminuye la intensidad de la CA en las condiciones preestablecidas, es decir, de manera general se establece que la variación instantánea de la función puede ser:  $\Delta CA = \sum C_{\text{ARIO } i} - \sum C_{\text{APTAR } j}$ , donde se podría realizar un análisis segmentado los sectores o tramos del cuerpo de agua superficial analizada, por patrones de comportamiento o por áreas difusas de sectores o por segmentación o aislamiento de sistemas dentro del cuerpo de agua. Según lo dicho anteriormente, puede establecerse una relación de análisis de los umbrales establecidos en el  $\Delta CA$ , donde si  $\Delta CA = 0$ , se considera que hay condición de equilibrio, si  $\Delta CA < 0$ , significa que el Río está en condición de

alteración de la calidad de sus aguas (contaminado) y su potencial de recuperación en bajo; y si  $\Delta CA > 0$ , se considera que el Río tiene una buena calidad del agua o que admite un proceso de asimilación de cargas contaminantes, es decir, que su potencial de recuperación es alto.

De otra forma, una valoración concurrente de la normalización de CA, considera que en el intervalo de  $0,8 < CA_i \leq 1$ , el estado o calidad del recurso hídrico es muy bueno; en el rango de  $0,6 < CA_i \leq 0,8$ , es bueno; en el rango de  $0,4 < CA_i \leq 0,6$ , es regular; en el rango de  $0,2 < CA_i \leq 0,4$ , es malo; en la intervención en el cuerpo de agua, con medidas simples o complejas, seguimiento y control, e inversiones para el mejoramiento o mantenimiento del recurso hídrico. Esto conlleva establecer un vector de normalización de CA para la Demanda Biológica de Oxígeno a Cinco días de reacción ( $DBO_5$ ), los Sólidos Suspendedos Totales (SST), el Nitrógeno óxido nítrico ( $N - NO_2$ ), así como para el Fósforo Total ( $P_{\text{Total}}$ ) según los caudales y la precipitación de una cuenca.

En la tabla 1, se presentan los criterios para la utilización de vector normalizado para la CA por cada parámetro representativo del fenómeno a analizar dentro del modelo de planificación ambiental en una cuenca, del cual se propone la utilización de un método normalizado minimización o maximizando la variable independiente (Gharibi, 2012) o la aplicación de un método de regresión lineal o exponencial o de potencia.

**Tabla 1. Resumen de métodos normalizados aplicados a la calidad ambiental**

INTERVALO	METODO NORMALIZADO	CONDICIONES
$7 \frac{mg}{L} \leq DBO_5 \leq 135 \frac{mg}{L}$	$CA_i = \frac{Máximo DBO_i - DBO_i}{Máxima DBO_i - Mínimo DBO_i}$	$CA_i = 1,0157 - 0,0068 * DBO$ $r^2 = 0,9982$ Si $DBO_5 \geq 135 \frac{mg}{L}$ , $CA_i = 0,1$
$10 \frac{mg}{L} \leq N_{NO2} \leq 55 \frac{mg}{L}$	$CA_i = \frac{Máximo N_i - N_i}{Máxima N_i - Mínimo N_i}$	$CA_i = 1,2 - 0,02 * N$ $r^2 = 1,0000$ Si $N_{NO2} \geq 55 \frac{mg}{L}$ , $CA_i = 0,1$
$50 \frac{mg}{L} \leq SST \leq 500 \frac{mg}{L}$	$CA_i = \frac{Máximo SST - SST}{Máximo SST - Mínimo SST}$	$CA_i = 1,1 - 0,002 * SST$ $r^2 = 1,0000$ Si $SST \geq 500 \frac{mg}{L}$ , $CA_i = 0,1$
$0,5 \frac{mg}{L} \leq P_T \leq 17 \frac{mg}{L}$	$CA_i = \frac{Máximo P_i - P_i}{Máxima P_i - Mínimo P_i}$	$CA_i = 0,9927 - 0,0537 * P_{TOTAL}$ $r^2 = 0,9959$ Si $P_T \geq 17 \frac{mg}{L}$ , $CA_i = 0,1$
$5 mm \leq P \leq 1000 mm$	$CA_i = \frac{P - Mínimo P}{Máximo P - Mínimo P}$	Si $P \leq 5 mm$ , $CA_i = 0,1$
$5 \frac{L}{s} \leq Q \leq 1000 \frac{L}{s}$	$CA_i = \frac{Máximo Q - Q_i}{Máxima Q_i - Mínimo Q_i}$	Si $Q \geq 1000 \frac{L}{s}$ , $CA_i = 0,1$

## Alternativas de decisiones en la planificación del recurso hídrico

La externalidad es el costo o beneficio asociado a una actividad económica concreta que recae indiscriminadamente sobre la sociedad y el ambiente, no estando incluida en las estructura de precios del producto que lo origina (Sáez 2001; Schleisner, 1999) sin embargo los daños asociados con una determinada actividad económica no siempre son una externalidad. Los impactos en el cuerpo de agua por causa de la contaminación, tienen una dimensión económica, de forma que el deterioro (*condición máxima para invertir para evitar el impacto negativo*), puede ser establecido, como el valor económico de un impacto negativo (*descarga de contaminantes a los cuerpos de agua*), así como el beneficio del valor económico de un impacto positivo, razón por lo que las externalidades ambientales aplicadas al recurso hídrico deben ser reducidas, compensados, remediados o evitadas mediante una planificación adecuada y/o pertinente, además de una regulación, dado que el sistema por sí solo, no logra evitar los efectos negativos producidos en los diferentes sectores de la sociedad (Gomez, 2010).

El marco de referencia para la toma de decisiones futuras de inversión e intervención en la Cuenca, con una visión del análisis de la situación con el conocimiento e información del recurso hídrico—desde el ámbito de la planificación ambiental hídrica estacional, con una interrelación de objetivos de mediano plazo con acciones pertinentes al corto plazo—, debe tener en cuenta los interesados y/o actores, las limitantes, potencialidades, las condiciones y perspectiva de las estrategias, los riesgos inherentes, las inversiones, entre otros aspectos (UNEP, 2014; GWP, 2005; Unesco, 2004; Burton, 2003), de la siguiente forma:

1. Identificación espacial (mapeo) de escenarios de tramos o sectores en los cuerpos de agua superficiales de alta presión por el uso del agua, efecto

ambiental predominante y alteración de la calidad del agua.

2. Enfoque marginal, considera el efecto de una instalación adicional a la existente, es decir, la inclusión de nuevas infraestructuras hidráulicas (*bien público provisto por el Estado*) en la cuenca teniendo en cuenta las características, el análisis de sensibilidad y adaptabilidad de las tecnologías a implementar, mediante una inversión de recurso económico considerable, para compensar o remediar externalidades, obtenida por la contaminación del agua.
3. Ordenamiento del territorio, en términos del cambio del uso de suelo en las áreas circundantes de la Cuenca Hidrográfica, con tal de evitar la ocupación de cauces, diques o canales y la procedencia de vertimientos o descargas indiscriminadas en el cauce del cuerpo de agua superficial.
4. Modificaciones en la estructura institucional para la administración y manejo ambiental de la cuenca hidrográfica.
5. Optimización de las regulaciones sobre el control de la contaminación mediante la implementación de nuevas tasas (*emisiones o vertido de contaminantes*), subsidios (*apoyo público directo de capital*), incentivos (*por descontaminación*), desgravado fiscal (*en inversiones en compra de tecnología*), compensaciones, permisos, modificaciones en los límites permisibles de parámetros en la normatividad (*grado de toxicidad y daño ambiental potencial sobre los ecosistemas acuáticos y la salud humana*), evaluación económica de los límites permisibles de calidad del agua, cambios del tipo del uso de agua en sector o tramos del cuerpo de agua superficial y reformas en el marco institucional y jurídico en los diferentes niveles de la gobernabilidad del agua.
6. Consideraciones para el desarrollo de políticas, planes, programas y proyectos para la implementación estratégica de conservación

y preservación del recurso hídrico, para lograr beneficios sociales y corregir fallas del mercado.

7. Medidas de educación ambiental y sanitaria en la población adyacente a la cuenca hidrográfica mediante campañas de información, comunicación, planes de promoción (*apoyo a potenciales inversionistas en la descontaminación*), campañas pedagógicas y didácticas del uso adecuado del agua, así como programas de corresponsabilidad entre los actores y responsables en la cuenca.
8. Implementación de una gestión de conocimiento eficaz y útil, como un sistema simétrico de información para la prevención y el control de la contaminación del agua en la Cuenca.
9. Establecimiento de estrategias, medidas y mecanismos de adaptación a los efectos del cambio climático en la cuenca hidrográfica.

### Conclusiones y recomendaciones

En los procesos de toma de decisión en la planificación ambiental aplicado a una cuenca hidrográfica, el vector de calidad ambiental normalizado, puede ser un elemento diferenciador al momento de tener decisiones estratégicas de inversión o intervención o de mitigación de la contaminación en el cuerpo de agua superficial analizado. La integración de la variabilidad climática, como aspecto relevante en la variación de escala de tiempo y espacio, así como las variaciones temporales del clima en períodos cortos de tiempo, es una gran influencia en el modelo de toma de decisiones, en una cuenca hidrográfica, dado los valores de umbrales del vector normalizado de calidad ambiental y la dinámica propia ambiental que tiene cada cuenca. El considerar variables como la  $DBO_5$ , SST, N, P, Precipitación y Caudales, normalizados y luego realizar una valoración concurrente es un elemento interesante para las alternativas de decisiones en una cuenca hidrográfica, y reducir

las externalidades ambientales aplicadas al recurso hídrico, conlleva una planificación adecuada y/o pertinente, además de una regulación específica para la cuerpo de agua.

Este vector de calidad ambiental normalizado, puede ser recomendado en la inserción en la planificación ambiental y especialmente a las políticas y planes de gestión del riesgo y cambio climático.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Santo Domingo (INTEC) por el apoyo en la elaboración de este trabajo.

### Referencias

- Barba - Romero, S. (1987). Panorámica actual de la decisión multicriterio discreta. *Investigaciones económicas*, 279 - 308.
- Burton, J. (2003). *Integrated water resources management on a basin level. A training manual*. Canadá: Editions multimondes - UNESCO IHE.
- García, M. (2007). La gestión integrada de los recursos hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático. *Ingeniería y Competitividad*, 19-29.
- Gharibi, H. (2012). Development of a dairy cattle drinking water quality index (DCWQI) based on fuzzy inference systems. *Ecological Indicators*, 228 - 237.
- Gómez, D. (2010). *Múltiples usos del agua, conflictos y externalidades: Estudio de caso de la parte alta del río Cauca en Colombia*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.
- Global Water Partnership. (2005). *Planes de gestión integrada del recurso hídrico*. Estocolmo: Global Water Partnership-Cap Net.

- Global Water Partnership. (2009). *Manual para la gestión integrada de los recursos hídricos en cuencas*. Londres: Global Water Partnership.
- Hurtado, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. Caracas: Fundación SYPAL.
- Izaguirre, C. (2010). *Estudio de la variabilidad climática de valores extremos de oleaje*. Tesis doctoral. Cantabria, España: Universidad de Cantabria. Departamento de Ciencias y Técnica del Agua y del Medio Ambiente.
- Montealegre, J. (2000). Variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño- La Niña oscilación del Sur y efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 7-21.
- Pabón, D. (1998). *Colombia en el ambiente global*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios. Bogotá: IDEAM.
- Pilar, J. (2011). La gestión de aguas: trabajo en red y planificación integrada. En J. Bertoni, *Tecnología, investigación y gestión* (págs. 72-73). Córdoba, Argentina: Centro de estudios y tecnología del agua. Universidad Nacional de Córdoba.
- Rodríguez, J. (2015). PAHICMETRIA: un modelo de métrica en la planificación ambiental hídrica. *REVISTA TECNURA*, 25-35.
- Sáez, R. (2001). Capítulo 30. Aspectos socioeconómicos de la producción energética. . En García P, *Tecnologías energéticas e impacto ambiental* (págs. 581-599). Madrid España: McGraw-Hill.
- Schleisner, L. (1999). *Differences in methodologies used for externality assessment. Why are the numbers different?* Copenhagen: RISO National Laboratory.
- United Nations Environment Programme. (2014). *Towards Integrated Water Resources Management. International experience in development of river basin organisations*. Sudan: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura and United Nations Environment Programme.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2004). *IWRM guidelines at river basin level*. Delft, Países Bajos: UNESCO IHE.
- Vergel, G. (2010). *Metodología: un manual para la elaboración de diseños y proyectos de investigación. Compilación y ampliación temática*. Barranquilla: Publicaciones Corporación UNICOSTA.

### Datos filiación

**Juan Pablo Rodríguez Miranda.** Ingeniero Sanitario y Ambiental egresado de la Universidad de la Costa (CUC); maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá; maestría en Gestión y Evaluación Ambiental de la Universidad “Sergio Arboleda”. Estudiante del doctorado en Ingeniería por la Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”. Correo electrónico: Jprodriguez@Udistrital.Edu.Co

**Virgilio Antonio Miniño Mejía.** Doctorado en Ciencias Ambientales del Centro de Graduados de la Universidad de la Ciudad de Nueva York, con especialidad en Hidrogeología. En el presente es el investigador principal del proyecto de investigación “Determinación de las Influencias Neotectónicas, Fallas, Fracturas y otras estructuras geológicas, sobre el continuo crecimiento del nivel de las aguas del Lago Enriquillo” financiado por FONDOCYT. Correo electrónico: virgilio.minino@intec.edu.do

**Martín Antonio Meléndez Valencia.** Ingeniero Civil. Maestría en Ciencias de la Construcción para Regiones Tropicales en Desarrollo. Desde 2007 es docente de la Escuela de Ingeniería del Instituto Tecnológico de Santo Domingo y desde el 2010, encargado de los Laboratorios de Hidráulica y Mecánica de Fluidos. Correo electrónico: martin.melendez@intec.edu.do