

NUEVO INDICADOR DE VALOR AMBIENTAL (IVA), PARA INFERIR EL COSTO DEL ESTADO AMBIENTAL DE UNA CUENCA

Edgar R. Monroy Vargas⁽¹⁾ y Nora Pouey⁽²⁾

⁽¹⁾Facultad de Ingeniería Civil. Universidad La Gran Colombia
Cra. 6 N° 12B 40. Bogotá. Colombia
e-mail: edgar.monroy@ugc.edu.co

⁽²⁾CURIHAM. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario
Riobamba 250 bis. (2000). Rosario. Santa Fe. Argentina
e-mail: npouey@yahoo.com

RESUMEN

La Gestión Ambiental, es una tarea que a nivel de cuencas hidrográficas, resulta ser una tarea difícil, que para el caso de Colombia, corresponde al Ministerio del Medio Ambiente y Corporaciones Autónomas Regionales, en ausencia de información técnico-económica que reúna múltiples variables, y que por consiguiente, soporte la toma de decisiones. En virtud de lo anterior, en el trabajo Doctoral denominado Modelo Sistémico para la evaluación del impacto ambiental a nivel de cuenca, propuso una metodología para evaluar cuantitativamente el impacto ambiental a nivel de cuenca, lo cual hasta el momento, resulta innovador, y a su vez, importante para la gestión ambiental, en la medida que asigna una unidad de valor numérico al impacto ambiental de toda una cuenca. De otro lado, se plantea un indicador denominado IVA, que reúne el resultado de valor impacto ambiental con otras variables de tipo macroeconómico, con apoyo de la Lógica Difusa, de forma tal, que el mismo permite inferir rápida y eficazmente el costo del impacto ambiental de una cuenca por parte de las autoridades ambientales, y en consecuencia, sustentar una mejor toma de decisiones en torno al ordenamiento y gestión ambiental de la misma.

Palabras clave: Indicador de Valor Ambiental (IVA), Evaluación de Impacto Ambiental, Costos del estado ambiental de cuencas hidrográficas.

ABSTRACT

The environmental management and land use planning, turns out to be a difficult issue for all governmental authorities. Monroy PhD, in his doctoral work called Systemic Model for Environmental Impact Assessment at a River Basin Level, proposed a methodology to quantitatively assess the environmental impact at a river basin level. In the same work proposed an indicator called EVI (Environmental Value Indicator, standing for IVA in Spanish), which includes the result of environmental impact value with other macroeconomic variables, with the support of Fuzzy Logic. This work supports a better decision making about its use and environmental management.

Keywords: Environmental Value indicator (EVI), Environmental Impact Assessment, cost of a river basin environmental state.

INTRODUCCIÓN

La inflación, el Producto interno bruto, la devaluación, el GINI, son algunas variables de tipo económico que rápidamente, nos dan a todos una idea general del estado en el que se encuentra una región en términos socioeconómicos, sin tener que ser expertos en dicha temática. Ahora bien, del mismo modo, el autor ha querido formular un indicador denominado IVA, indicador de valor ambiental, que permite especialmente al administrador ambiental, tener un orden de magnitud del costo del impacto ambiental asociado a una cuenca hidrográfica (Pouey y Monroy Vargas, 2010).

Para lograr este indicador, era necesario tener en primer lugar un valor matemático asociado a dicho impacto ambiental, que el autor denominó FIC, factor de impacto, y que en este trabajo, se toma como punto de partida o hecho cierto, en la medida que el interés se centra en la disertación de la forma como se unen las variables de tipo económico que convergen en una cuenca, con el impacto ambiental FIC, a través de la metodología de la Lógica Difusa, en un solo macroindicador que como ya se ha dicho se ha denominado IVA (Pouey y Monroy Vargas, 2010). Es claro en el entorno científico, que el entendimiento de algunos procesos físicos está basado en el razonamiento humano (Ross, 2009). Este razonamiento puede ser aprovechado para la estructuración de modelos y la habilidad para encapsularlo en la solución de problemas complejos e intratables, es el criterio por la cual la eficacia de los modelos heurísticos y metaheurísticos son juzgados. Tal vez la precisión de estos modelos no permite resolver a plenitud el problema, sin embargo se constituye una estrategia para la toma de decisiones en el análisis de problemas ambientales en general y especialmente para la valoración del detrimento ambiental en sistemas de cuenca.

OBJETIVO

Crear un indicador económico de tipo ambiental para apoyar la Gestión integral de cuencas.

DESARROLLO

Preámbulo

El punto de partida supone el conocimiento previo del valor numérico del impacto ambiental de una

cuenca, que para este caso, corresponde la del río Garagoa, que se muestra en la Figura 1, construido a partir de los sistemas de información geográfica SIG, y que se ha denominado ISOFIC, es decir, curvas de igual impacto ambiental enmarcados en la cuenca de estudio (Pouey y Monroy Vargas, 2010).

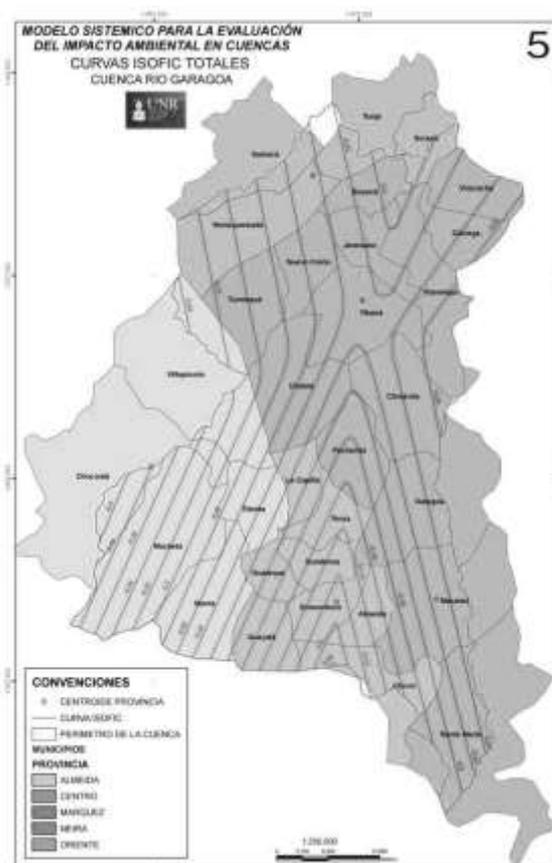


Figura 1. Curvas ISOFIC.

En segundo lugar, el propósito de esta etapa de la investigación es la identificación de un modelo metaheurístico, implementando la herramienta de “lógica difusa”, que permitiera la integración de la respuesta estimada por el “Factor de Impacto Ambiental” con algunas variables socioeconómicas para el análisis final de un “Indicador de Valor Ambiental (IVA)”. En enlace de las variables anteriormente descritas, no es manejable y por lo cual aquí se sugiere un modelo de lógica difusa que accediera a vislumbrar el comportamiento de la interacción paramétrica. Cuando se considera el uso de la lógica difusa para cualquier problema en ingeniería se debe ponderar el grado de imprecisión en la respuesta al problema, pues ciertamente, no solo la imprecisión dictamina la calidad de la

respuesta sino la baja manejabilidad del problema (Ross, 2009; Yager and Filev, 1994; Sugeno, 1977).

Las actividades antrópicas por naturaleza están generando intervención y daño al ecosistema. Sin embargo, la intensidad e impacto son diferentes de conformidad con varios parámetros que tienden a estar asociados directamente con la actividad económica y social (Suroswski, 1992). Las comunidades en general, están caracterizadas por varios indicadores que reflejan su condición. En el caso de la economía, los cambios en la situación pueden darse por múltiples factores, que en últimas están manifestando su relación directa o indirecta con su entorno ambiental. No todas las sociedades y situaciones económicas poseen la misma afectación al medio ambiente. El grado de asocio y la combinación de variables en relación a la construcción del valor de impacto ambiental, estarán argumentados posteriormente.

Las variables socioeconómicas que fueron seleccionadas (tres de ellas) toman en cuenta su primacía en la valoración del estado económico de una sociedad, estas son: el producto interno bruto (PIB), la tasa de crecimiento poblacional, y el coeficiente de GINI.

El indicador de crecimiento económico es el resultado del incremento en la producción agregada de un país por parte de sus agentes económicos a lo largo del tiempo, generalmente un año, expresado a través del Producto Interno Bruto PIB (Romer, Trinidad & Flamini, 2002). Existe un gran asocio entre el incremento del PIB y el impacto que tiene la economía en el medio ambiente. Se asume que un mayor crecimiento del aparato productivo en cualquiera de sus componentes, genera un mayor impacto en el deterioro ambiental. A mayor crecimiento económico, mayor es el daño ambiental que genera los agentes económicos (Romaggi, 1992).

La tasa de crecimiento poblacional, en sentido demográfico, se refiere a los desplazamientos demográficos de un determinado volumen de personas, desde un lugar de residencia a otro. La variación poblacional (crecimiento positivo o negativo) que experimenta el tamaño de la población, es el resultado de nacimientos y defunciones (crecimiento vegetativo) y el aporte neto de movimientos migratorios. La tasa de crecimiento se expresa en el porcentaje de la población que cambia de un periodo a otro.

La relación ambiental que existe con la variable se encuentra en la medida que exista un mayor número de personas que habiten en el territorio, también se presenta un incremento en la demanda de bienes y servicios ambientales tales, desde la apropiación de biomasa con fines energéticos, hasta el vertedero de residuos a la cuenca. A mayor crecimiento demográfico, mayor es el deterioro ambiental que se presenta en el territorio.

El coeficiente de GINI es un indicador de equidad, que muestra la forma porcentual en la que se distribuye una variable en la población. Generalmente se asocia al bienestar de la población en relación a su participación con el ingreso. Cero corresponde a una distribución perfectamente equitativa del ingreso (todos tienen el mismo ingreso) y 1 a una distribución perfectamente inequitativa (una sola persona tiene todo el ingreso y el resto no tiene nada). En otras palabras, mientras más cerca de 0 esté el índice de GINI más equitativa es una sociedad. El índice de GINI es el coeficiente de GINI expresado en porcentaje y es igual al coeficiente de GINI multiplicado por 100 (Lerman y Yitzhaki, 1984).

La relación existente entre el coeficiente de GINI con el componente ambiental, se asocia de manera tal que un incremento en el nivel de pobreza o inequidad en el ingreso dentro de una población, generará mayor deterioro ambiental. Entre más pobre sea una sociedad, mayores serán los conflictos ambientales generados debido a su precariedad en el ingreso, su nivel de educación y otras variables conexas.

Sistemas Difusos

Varias fuentes han mostrado y probado que los sistemas difusos son aproximadores universales (Kosko, 1994; Ross, 2009; Ying, et al., 1999), apoyados básicamente en conceptos de álgebra abstracta (e.g., grupos, campos y anillos) y álgebra lineal. Los sistemas difusos son muy útiles en dos contextos: i) en situaciones donde se involucre sistemas altamente complejos cuyos comportamientos no son bien entendidos, y ii) en situaciones donde se requiere una solución rápida y aproximada con una moderada garantía en la calidad de la solución. Para el análisis del Indicador de Valor Ambiental (IVA) un modelo de inferencia difusa contrasta los factores económicos determinantes del estado de un país o locación

geográfica, con el análisis de la matriz de impacto que se evalúa a partir del Factor de Impacto (FIC).

Aplicación del Modelo

Para el análisis del Indicador de Valor Ambiental (IVA), se han establecido tres variables económicas de interés y el Factor de Impacto (FIC) como los elementos funcionales del sistema de inferencia difusa. Las funciones de membresía seleccionadas para el estudio son de tipo trapezoidal y/o triangular, dada su estructura simple y de fácil definición (Pouey et al., 1994; Pouey y Portapila, 1999).

Para el índice de crecimiento económico PIB el universo de discurso es definido entre -1% y 15%, y compuesto por tres funciones de membresía (e.g., Bajo, Medio, Alto) en donde los indicadores se caracterizan así: i) “bajo” entre -1% y 3%, ii) “medio” entre 2.5% y 6%, y iii) “alto” entre 5% y 15% (Figura 2).

Para la tasa de crecimiento poblacional el universo de discurso es definido entre -1% y 15%, y compuesto por tres funciones de membresía (e.g., Bajo, Medio, Alto) en donde los indicadores se caracterizan así: i) “bajo” entre -1% y 2%, ii) “medio” entre 1.5% y 5%, y iii) “alto” entre 4.5% y 15% (Figura 3).

Para el índice de GINI el universo de discurso es definido entre 0 y 1, y compuesto por tres funciones

de membresía (e.g., Bajo, Medio, Alto) en donde los indicadores se caracterizan así: i) “bajo” entre 0 y 0.15, ii) “medio” entre 0.10 y 0.45, y iii) “alto” entre 0.42 y 1 (Figura 4).

Para el Factor de Impacto (FIC) el universo de discurso es definido entre -12 y 12, y compuesto por seis funciones de membresía en donde los indicadores se caracterizan así: i) “alto negativo” entre -12 y -9, ii) “medio negativo” entre -9 y -5, iii) “bajo negativo” entre -5 y 0, iv) “bajo positivo” entre 0 y 5, v) “medio positivo” entre 5 y 9, y vi) “alto positivo” entre 9 y 12 (Figura 5).

Para la salida del sistema, el Indicador de Valor Ambiental, el universo de discurso es definido entre 0 y 0.4, y compuesto por cinco funciones de membresía en donde los indicadores se caracterizan así: i) “bajo” entre 0 y 0.05 ii) “medio bajo” entre 0.045 y 0.185, iii) “medio” entre 0.18 y 0.24, iv) “medio alto” entre 0.225 y 0.31, y v) “alto” entre 0.3 y 0.4 (Figura 6).

En el análisis del IVA se han establecido 23 reglas, y en la Figura 7 se puede apreciar el resultado del proceso de agregación para las 23 reglas definidas en el análisis del IVA, las cuales fueron procesadas en el “Toolbox” de lógica difusa de la herramienta “MATLAB versión 7.5”.

Observemos como se puede aplicar la metodología a otros escenarios mostrados en la Tabla 1.

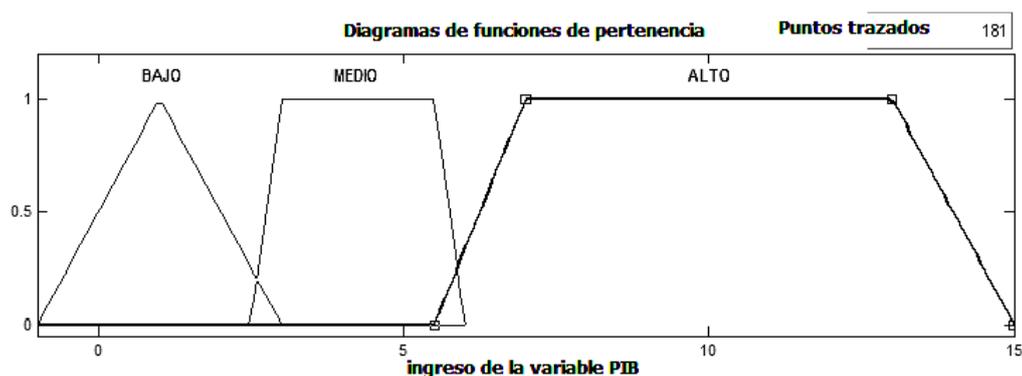


Figura 2. Funciones de membresía del conjunto difuso definido por el PIB.

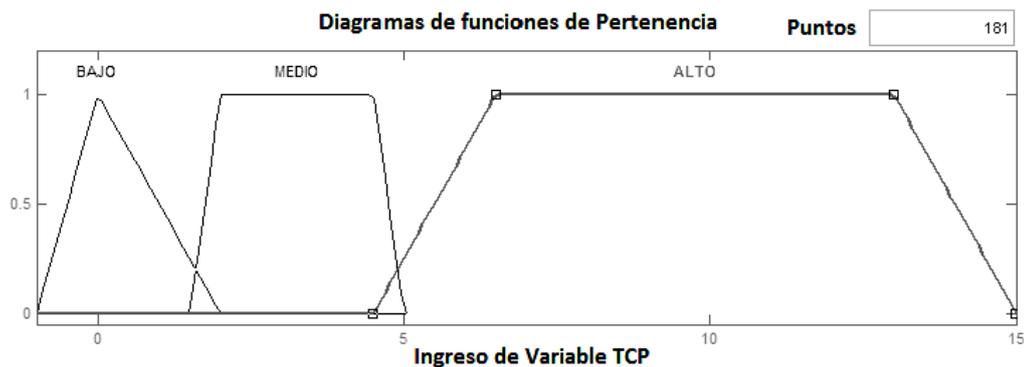


Figura 3. Funciones de membresía del conjunto difuso definido por la TCP.

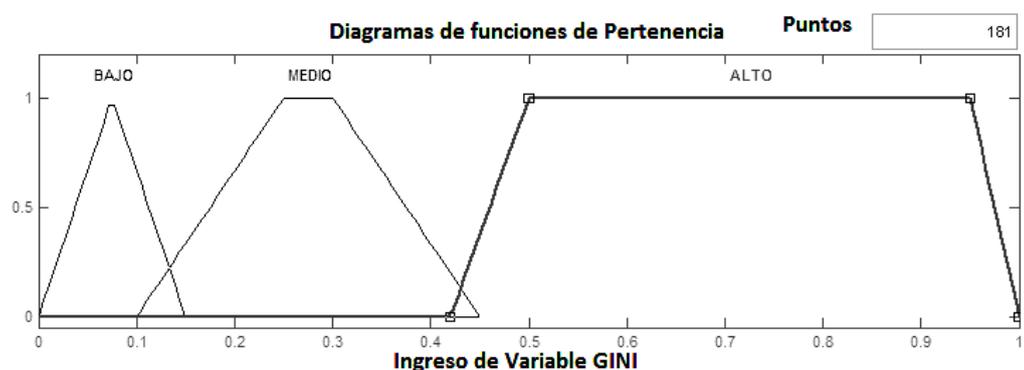


Figura 4. Funciones de membresía del conjunto difuso definido por el índice de GINI.

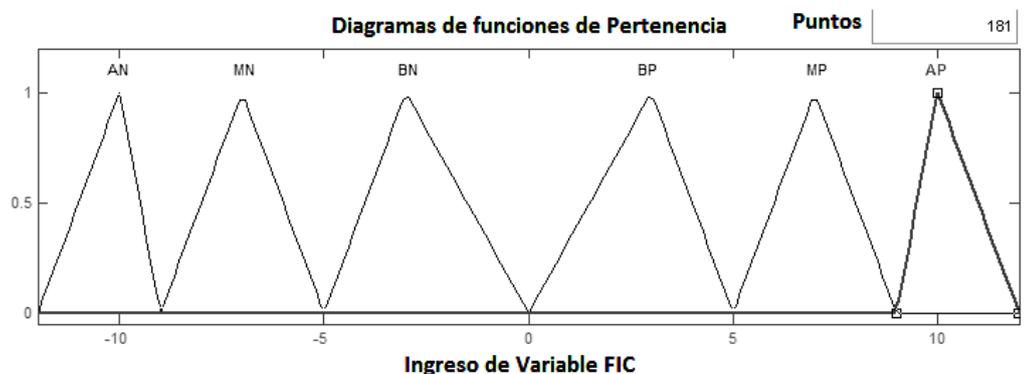


Figura 5. Funciones de membresía del conjunto difuso definido por el FIC.

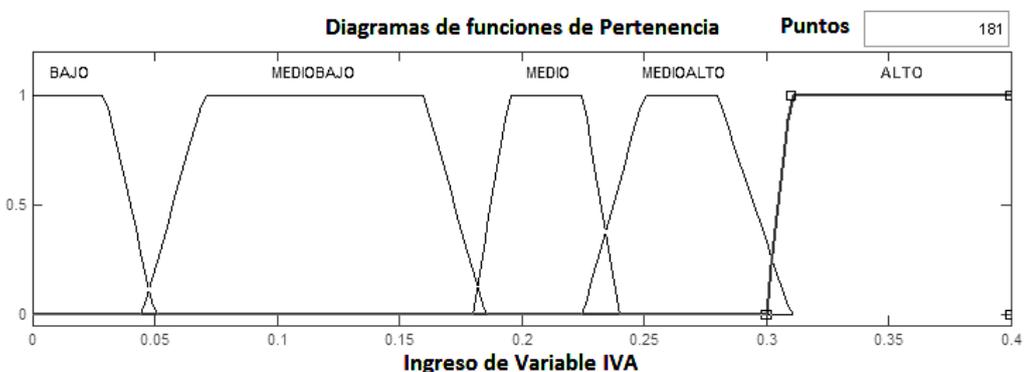


Figura 6. Funciones de membresía del conjunto difuso de salida que define el IVA.

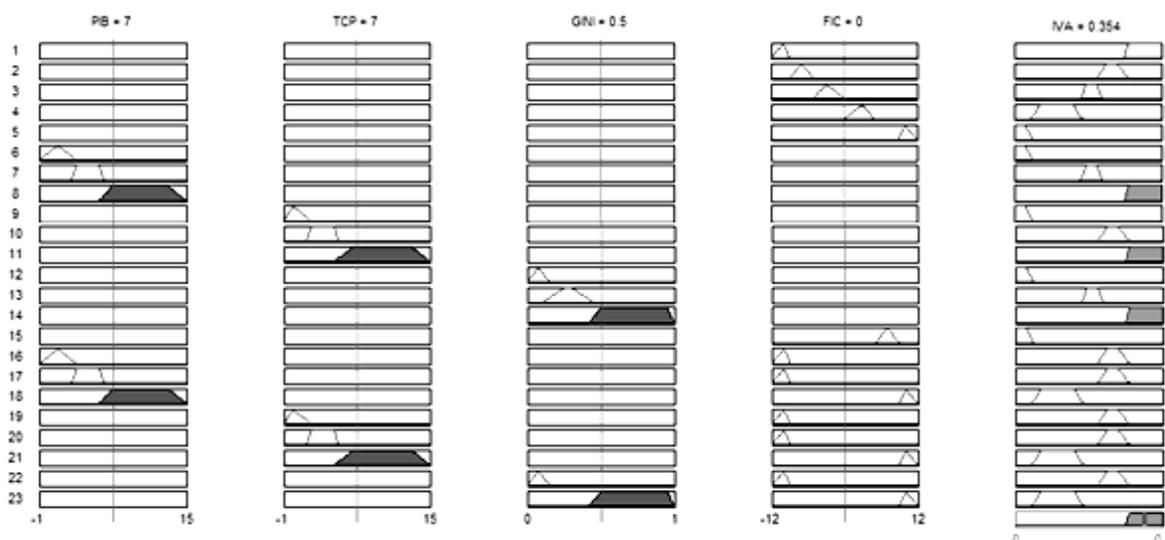


Figura 7. Proceso de agregación de las 23 reglas del sistema de inferencia difusa para el análisis del IVA.

Tabla 1. Escenarios de estudio para el análisis del IVA. Fuente: Autor.

ESCENARIO DE ESTUDIO	PIB	TCP	GINI	FIC	RESULTADO OBTENIDO
País desarrollado (condición americana)	8%	1%	0.15	-1.92	Medio Alto IVA = 0.272
País en vía de desarrollo	2%	4%	0.55	-1.92	Medio IVA = 0.271
Colombia 2007	3.5%	2.5%	0.58	-1.92	Alto IVA = 0.297
País en transición (e.g., Vietnam)	10%	2.0%	0.38	1.00	Medio Alto IVA = 0.269
Colombia (condiciones esperadas)	10%	4%	0.55	-7.00	Alto IVA = 0.321
País desarrollado (Luxemburgo)	10%	0%	0.05	3.00	Medio Bajo IVA = 0.190
Sierra Leona	0%	8%	0.79	-10.00	Medio Alto IVA = 0.283

CONCLUSIONES

A mayor crecimiento económico y poblacional y con mayores niveles de pobreza los conflictos ambientales tendrán una mayor dimensión; si las variables se comportan de manera inversa la situación será más favorable. Sin embargo, cada país y condición, reflejan resultados diferentes, aunque el objetivo final no se orienta a la condición económica y social del país, sino a la afectación o deterioro ambiental del ecosistema ilustrado y objeto a medir.

El Modelo IVAFIC en su fase 2, a partir del desarrollo de un modelo de Lógica Difusa, proporciona un ejercicio sencillo para la estimación

de un Indicador económico Ambiental denominado: Indicador de Valor Ambiental (IVA), que para los fines prácticos, infiere el costo de la condición ambiental de una Cuenca.

El Modelo IVAFIC en su fase 2, proporciona una herramienta de tipo Indicador (IVA) que asocia variables de tipo económico y ambiental, en este caso el Factor de Impacto Corregido FIC, y que para la autoridad ejecutiva o legislativa, resulta de gran validez para la comprensión del comportamiento económico ambiental de una Cuenca y su consecuente formulación de decisiones, ya sea a través de acuerdos, ordenanzas, leyes, o a niveles locales, planes de Manejo y Protección de Cuencas.

Actualmente se utiliza esta metodología a otra cuenca como Proyecto de investigación postdoctoral, con el fin de acotar nuevos escenarios y variables, que se espera pueda afinar resultados con mayor certidumbre.

La metodología propuesta puede extrapolarse a otros entornos como microcuencas y MacroProyectos, ajustando factores y variables específicas económicas y ambientales, pero que seguramente, implicará un ejercicio juicioso y crítico que demanda de personal altamente calificado, así como de recursos y tiempo propios de una investigación de generación de nuevo conocimiento.

REFERENCIAS

- Kosko, B. 1994. Fuzzy systems as universal approximators. *Computers, IEEE Transactions on*, 43(11), 1329–1333.
- Lerman, R. I. y Yitzhaki, S. 1984. A Note on the Calculation and Interpretation of the Gini Index. *Economics Letters*, 15(3), 363–368.
- Monroy Vargas, E. R. 2010. Modelo sistémico para la evaluación del impacto ambiental a nivel de cuenca. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Rosario. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/280713684_MODELO_SISTMICO_PARA_LA_EVALUACION_DEL_IMPACTO_AMBIENTAL_A_NIVEL_DE_CUENCA.
- Pouey, N. y Monroy Vargas, E. R. 2010. Nuevos Aportes para estimar el impacto ambiental a nivel de cuenca. *Revista Ingenio Magno*. Retrieved from http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingenio_magno/article/view/18.
- Pouey, N. y Portapila, M. 1999. An environmental impact assessment matrix model for embankments in flatland landscapes. *Journal of Environmental hydrology*, 7(11), 1-6.
- Pouey, N. E.; Vasallo, O. A. y Portapila, M. I. 1994. Aspectos metodológicos para la evaluación del impacto ambiental en proyectos de saneamiento urbano. En: *Ingeniería ambiental para el desarrollo sostenible* (p. 18). AIDIS. Retrieved from <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=58698&indexSearch=ID>.
- Romaggi, M. 1992. Metodologías para la Gestión Ambiental: Evaluación de impacto ambiental, planificación física integrada, cuentas patrimoniales. Documento MAM-72. Programa de Capacitación ILPES/CEPAL. Santiago.
- Romer, D.; Trinidad, G. y Flamini, E. 2002. *Macroeconomía avanzada*. McGraw-Hill. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=ESECA.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=005899>
- Ross, T. J. 2009. *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons. Retrieved from https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=nhz1f9j6_SMC&oi=fnd&pg=PR7&dq=Ross,+Timothy+J.+Fuzzy+Logic+with+engineering+application.&ots=vfs4WALuv_&sig=3he4ceYwBJCB-cVEMuPgsYOmOtM.
- Sugeno, M. 1977. Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey. (M.M. Gupta, G. N. Saridis, and B.R. Gaines, editors) *Fuzzy Automata and Decision Processes*, North-Holland, New York, 1977. p. 89-102.
- Suroswski, A. 1992. *La Variable Población en la Gestión Ambiental: Un Ejemplo de Evaluación de Impacto Ambiental*. CELADE. Santiago.
- Yager, R. y Filev D. 1994. Generation of Fuzzy Rules by Mountain Clustering. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, Vol. 2, No. 3, 1994. p. 209-219.
- Ying, H.; Ding, Y.; Li, S. y Shao, S. 1999. Comparison of necessary conditions for typical Takagi-Sugeno and Mamdani fuzzy systems as universal approximators. *Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans*, *IEEE Transactions on*, 29(5), 508–514.

Artículo recibido el 08/2015 y aprobado para su publicación el 03/2016.