



# inúev aporte

PARA ESTIMAR EL VALOR DEL IMPACTO AMBIENTAL

Por: **POUEY, NORA**,  
Universidad Nacional de Rosario, Argentina; **México, Ricardo**, Universidad Santo Tomás



## AL A NIVEL DE CUENCA



**RESUMEN:** Hoy en día, en el que el mundo continuamente sufre transformaciones, el hombre se ha preocupado por conocer y hacer de su entorno ambiental un lugar vivible, pero al mismo tiempo, él mismo se ha encargado de maltratarlo y llevarlo a situaciones que generan un verdadero caos. Ese caos, conocido como Impacto Ambiental, es necesario medirlo, para lo cual se ha empleado la metodología de la Evaluación del Impacto Ambiental EIA, sin contar hasta hoy con un modelo sistémico para hacerlo cuantitativamente al nivel de una Cuenca Hidrográfica, generando así un Problema en términos de la Evaluación para la Gestión Ambiental. La aplicación del modelo desarrollado en este trabajo denominado IVAFIC, (Fase 1) , responde al problema presentado; evaluando a través de un modelo matemático y con la ayuda de herramientas computacionales de Programación Estructurada y de Sistemas de Información Geográfica, el impacto ambiental en una cuenca de forma cuantitativa definido como Factor de Impacto FI y Factor de Impacto Corregido FIC

**PALABRAS CLAVE:** Modelo Cuantitativo, Evaluación, Impacto Ambiental, Cuenca

**ABSTRACT:** Today, in which the world continually undergoes, man has endeavored to meet and make their environment a place livable, but at the same time, the same has been charged with mistreating and bring it to real situations that blur chaos. That chaos, known as environmental impact, it is necessary to measure, for which it has used the methodology of EIA Environmental Impact Assessment, to this day without a systemic model to make it quantitatively to the level of a basin, thus generating a Problem in terms of the Environmental Management Assessment. Applying the model developed in this work called IVAFIC, (Phase 1), responds to the problem presented, evaluated through a mathematical model and with the help of computer-based Structured Programming and Geographic Information Systems, an environmental impact Basin quantitatively defined as FI Impact Factor and Impact Factor Corrected FIC.

**KEY WORDS:** Model Quantitative Assessment, Environmental Impact Basin.

## I. INTRODUCCIÓN

El hombre a través de la historia se ha preocupado por conocer el mundo que lo rodea. Dada esa preocupación, los ingenieros han procurado hallar nuevos y novedosos sistemas de interpretación medio ambiental, en la búsqueda de soluciones que posibiliten espacios dignos y calidad de vida al ser humano.

En ese orden de ideas, se ha introducido el reconocido concepto de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA), en el cual, se ha avanzado a nivel mundial incluyendo los países en vía de desarrollo.

Con el anterior objeto, se han implantado técnicas y modelos para estimar las implicaciones de la acción antrópica sobre el medio ambiente, ajustándose a medidas de tipo cualitativo, que sin duda, procuran proteger el reconocimiento y generación de alternativas de solución a las distintas problemáticas que se puedan presentar.

En la actualidad, existen herramientas de tipo tecnológico que permiten ampliar el horizonte cognitivo, con el fin de explorar de una forma concreta conceptos que otrora, se encontraban lejanos a su estudio. Pues bien, ahora resulta más sencillo proyectar verdaderos escenarios de planeación y control sobre la realidad del hombre. Como ejemplo de ello, se manifiestan hoy los Sistemas de Información Geográfica, SIG, así como la Programación Estructurada configurada con el lenguaje propio de MATLAB; entre muchos otros que sin duda, posibilitan el ejercicio de cuantificación, en este caso, del impacto ambiental a nivel de cuenca.

Ahora bien, la formulación de planes de manejo y protección de cuencas, entendida como una política imprescindible dentro del esquema gubernamental de todo país, requiere de la información ambiental que tiene deficiencias en cuanto a su disponibilidad (cantidad). Para salvar la limitación de esta información, se requiere el uso de herramientas que permitan evaluarla, organizarla y generarla de modo rápido y con un grado de confiabilidad aceptable. (Ongay Enrique, 1998).

Este trabajo en concordancia con los argumentos expuestos, expone un modelo sistémico para la evaluación cuantitativa del impacto ambiental a nivel de cuenca denominado IVAFIC (Fase 1), producto del ejercicio de una tesis doctoral ( Monroy, 2009) el cual se desarrolla desde la perspectiva teórica inicialmente, para luego explicar la metodología y resultados encontrados, usando como caso de estudio la Cuenca del Río Garagoa.

## II. OBJETIVO

Formular un modelo sistémico que permita evaluar de forma cuantitativa el impacto ambiental a nivel de cuenca.

## III. DESARROLLO:

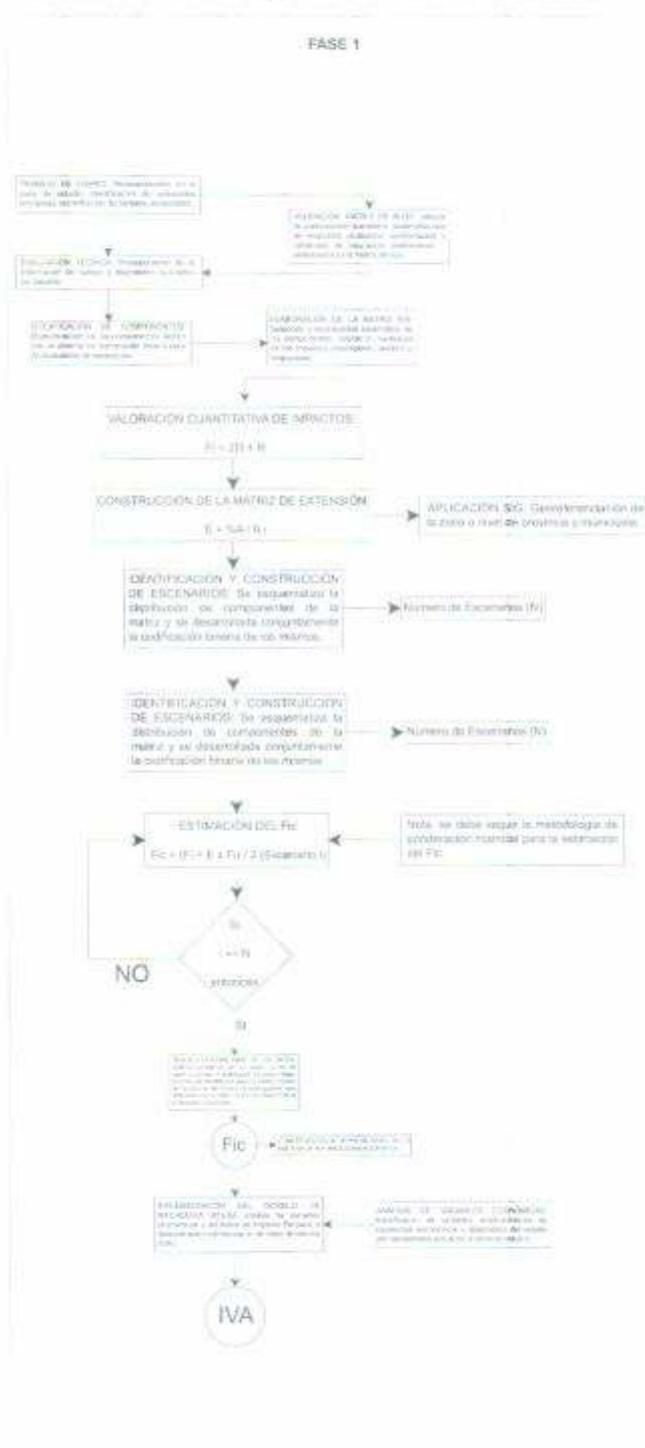
### DESCRIPCIÓN DEL MODELO IVAFIC (FASE 1)

#### Esquema Conceptual:

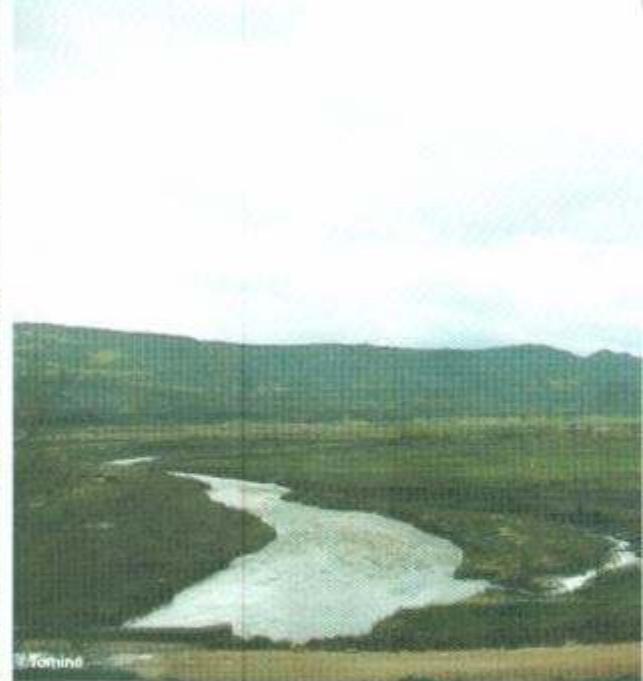
A continuación se muestra el diagrama de flujo para el

desarrollo del Modelo IVAFIC en su fase 1, el cual abarca hasta la obtención del FIC, Factor de Impacto Corregido. Desde ya mencionemos que para la aplicación del modelo fue necesario seleccionar una zona de estudio, que para este caso fue la Cuenca del Río Garagoa.

Figura No 1 diagrama de flujo para el desarrollo del Modelo IVAFIC en su



Fuente: Monroy, 2009



El modelo IVAFIC en su fase 1, es un procedimiento sistémico de tipo matemático meta heurístico, fundamentado en una aproximación cualitativa representada en una matriz de evaluación de impacto ambiental EIA, con el objeto de medir o valorar cuantitativamente el impacto producido por las acciones antrópicas en los diferentes factores ambientales que representan el escenario ambiental de una cuenca. Dicha cuantificación, contempla la asignación de tres atributos como son: la Durabilidad Reversibilidad y Naturaleza, que para la escala de trabajo, correspondiente a una cuenca hidrográfica, resultan significantes en la medida que reflejan el comportamiento dado.

Asociando dicha valoración a una unidad de área específica, como lo es para éste caso el municipio agrupado a su vez en provincias, resulta interesante determinar un factor de impacto FI y un Factor de Impacto corregido FIC que denota un valor numérico el cual posibilita la interpretación sencilla y rápida de las consecuencias producidas por la acción de una actividad o proyecto a un factor ambiental en un área específica de terreno. De este modo así, a través de la ejecución de una fórmula matemática es posible identificar de manera cuantitativa las acciones de mayor impacto en una cuenca, los factores más altamente impactados y por último el factor de impacto total presentado en una cuenca, utilizando herramientas computacionales que facilitan el ejercicio y a su vez lo hacen amigable para la aplicación de cualquier usuario.

Existen varios modelos de aplicación para elaborar una EIA, con sus distintos atributos a evaluar dependiendo a su vez del tipo de acción a desarrollarse. Como se pretende encontrar una valoración cuantitativa a nivel de cuenca, es necesario definir los atributos más relevantes y que a su vez sean claros y sencillos a efectos de lograr un proceso sistémico.

En este trabajo, como ya lo habíamos mencionado anteriormente, se plantea un modelo que considera tres atributos de evaluación que reflejan la Naturaleza, Duración y Reversibilidad de los impactos, a los cuales se les ha asignado una valoración, que se observa en la siguiente tabla:

butos de evaluación que reflejan la Naturaleza, Duración y Reversibilidad de los impactos, a los cuales se les ha asignado una valoración, que se observa en la siguiente tabla:

Tabla No 1 Valoración de atributos.

Valoración de atributos

ATRIBUTO	VALORACIÓN	DEFINICIÓN
Duración (D)		Se refiere al tiempo que, supuestamente, el efecto permanecerá.
Temporario	2	Cuando los efectos permanecen por un periodo de tiempo después de la conclusión de la acción que los generó.
Permanente	4	Cuando, una vez ejecutada la acción, los efectos no cesan de manifestarse en un horizonte temporal conocido.
Reversibilidad (R)		Cuando es posible revertir la tendencia, teniendo en cuenta la aplicación de medidas para la reparación del mismo, o la suspensión de la actividad generadora.
Reversible	1	Cuando, cesado el origen o controlado el impacto, el medio impactado puede volver a su condición original.
Irreversible	4	Cuando, cesada la causa controlado el impacto, el medio impactado no retorna a su condición original.
Naturaleza (N)		
Positiva	4	Cuando el impacto es beneficioso, o sea cuando una acción resulta una mejora de la calidad ambiental.
Negativa	-	Cuando la acción resulta en un daño a la calidad de un factor o parámetro ambiental.

Fuente: Morroy, 2008

La magnitud del impacto denominado en este trabajo como Factor de impacto, está apoyada en la expresiones dadas por Lázaro Lago Pérez que contempla diversos atributos y evalúa cuantitativamente los mismos a través de una expresión matemática que concluye en lo que él denomina Importancia del Efecto, y Gundysalvo Morales en su trabajo de tesis doctoral de la Universidad Federal de Pará en Brasil año 2000, de la misma manera estima el denominado Importancia de impacto en función de la Intensidad, Efecto, Extensión, Temporalidad, Duración y Reversibilidad.

Con el ánimo de buscar practicidad en el desarrollo de un modelo descriptor denominado en este trabajo como Factor de Impacto, y teniendo en cuenta el orden de magnitud que representa evaluar toda una cuenca, se ha definido una expresión matemática que pondera los atributos de acuerdo a su importancia y significado, así:

$$F_i = 2D + R$$

Ec. 3.1

Donde:

Fi = Factor de Impacto

D = Duración

R = Reversibilidad

El signo de Fi, está dado según el atributo de Naturaleza.

La importancia o factor de impacto tendrá las siguientes fajas de valores:

Tabla No 2 Clasificación de los impactos

Clasificación de los Impactos

Definición	Valor +/-
Temporario - Reversible	5
Temporario - Irreversible	8
Permanente - Reversible	9
Permanente - Irreversible	12

Debe entenderse que la faja de valores puede ser negativa, si el impacto es negativo, o positiva de ser positivo el impacto.

Una vez elaborada la matriz EIA (cualitativo), se procede a realizar la valoración, con base en los atributos mostrados en la tabla anterior, de cada uno de los factores de impacto asociados a las actividades y factores ambientales de la cuenca. Esta labor se desarrolla con el respaldo de los técnicos expertos en cada una de las áreas y

que reconocen el escenario ambiental como quiera que su ejercicio profesional se desenvuelve en este ámbito como trabajadores de las corporaciones autónomas regionales presentes en la zona de estudio: Corpoboyacá y Corpochivor.

Esta cuantificación se efectúa a través de una hoja de cálculo con la ayuda de la herramienta MS Excel

Una vez efectuada esta tarea, se propone optimizar el procedimiento por intermedio de la herramienta de cálculo matemático MATLAB, para lo cual se exporta desde la hoja de cálculo que contiene la EIA y que a su vez tiene asignado para cada color un valor de FI conforme a la Ecuación así:

Tabla No 3 Valoración de Impactos para exportar a MATLAB

DESCRIPCIÓN IMPACTO	COLOR	FI
IMPACTO NEGATIVO IRREVERSIBLE	Orange	-12
IMPACTO NEGATIVO PERMANENTE	Pink	-9
IMPACTO NEGATIVO TEMPORARIO	Light Orange	-5
IMPACTO POSITIVO PERMANENTE	Green	9
IMPACTO POSITIVO TEMPORARIO	Cyan	5
IMPACTO CON MEDIDA MITIGADORA	Yellow	5

$$F_i = \sum_{i=1}^2 W_i \times F_i \quad i = \begin{cases} 1 = \text{Componentes por fila} \\ 2 = \text{Componentes por columna} \end{cases}$$

Nota:

$$W_i = \frac{\text{Número de componentes por fila o por columna sectorial}}{\text{Número total de componentes sectorial}}$$

Los valores totales de FI correspondientes a la incidencia de todas las acciones a un factor específico (sentido horizontal) o también la implicación de una actividad a todos los factores ambientales (sentido vertical), resultan del cálculo del promedio aritmético de los valores parciales ponderados, lo que desde el punto de vista procedimental requiere de un gran consumo operacional dada la cantidad de variables o de componentes que conforman la matriz de impacto.

El factor de impacto total de la cuenca, mencionado anteriormente, se calcula realizando un promedio ponderado

en virtud a la existencia de dos valores de FI totales (horizontal y vertical). Este promedio con el ánimo de establecer un valor ponderado se sugiere establecer algunos pesos basados en el número de componentes que se introducen en el análisis de la matriz de impacto, es decir, la existencia del mayor número de actividades obtendrá mayor primacía en la valoración final. La ecuación que responde al factor de impacto ponderado (total) es :

$$F_i = \sum_{i=1}^2 w_i \times F_i \quad i = \begin{cases} 1 = \text{Componentes por fila} \\ 2 = \text{Componentes por Columna} \end{cases}$$

Donde

$$W_i = \frac{\text{Número de componentes por fila o por columna de la matriz de impacto}}{\text{Número total de componentes de la matriz de impacto}}$$

$F_i$  = Factor de impacto ponderado por componentes sectoriales

Ha de manifestarse a partir de lo anterior, las bondades que presta la utilización de una herramienta de cálculo matemático MATLAB, como quiera que las múltiples iteraciones y combinaciones para la obtención de los FI parcial y total, en una hoja de cálculo resultaría extremadamente dispendioso.

En ese orden de ideas, estos promedios se calculan algebraicamente lo cual implica tener valores dentro de la faja definida en la tabla siguiente y que se pueden explicar y detallar de la siguiente manera, conforme al criterio del evaluador y tomando como referencia Lázaro Lago Pérez (1998) así:

Tabla No 4 Clasificación factores de impacto

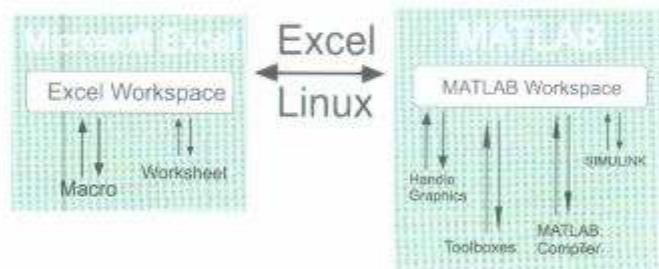
FACTOR DE IMPACTO	VALORACION +/-	DEFINICION
BAJO	0 - 5	Temporal menor a 2 años - reversible
MEDIO - BAJO	5 - 8	Temporal de 2 a 4 años - reversible
MEDIO	8 - 9	Temporal de 4 a 6 años - reversible
MEDIO - ALTO	9 - 11	Permanente mayor a 6 años - reversible
ALTO	11 - 12	Permanente mayor a 6 años - irreversible

El rango definido en la tabla en relación con el número de años aparte de soportarse en un concepto técnico, también lo hace desde un intangible administrativo que corresponde al tiempo utilizado por las administraciones ambientales para generar y aplicar los planes de manejo y protección ambiental. Normalmente estos periodos son trianuales y en ese sentido las políticas derivadas de la formulación de un Plan ambiental adquieren sentido y responsabilidad en el lapso máximo de dos periodos.

## Interacción Excel - MATLAB

MATLAB integra Microsoft Excel con MATLAB en un ambiente de cómputo basado en Microsoft Windows. Al poder conectarse MS Excel con MATLAB, el usuario podrá acceder desde una hoja de cálculo al poder numérico, gráfico y computacional de MATLAB, permitiéndose un intercambio y sincronización entre los dos ambientes computacionales

Figura No 2 Interacción Excel - MATLAB



## PROGRAMA FI ( Factor de Impacto) y FIC ( Factor de Impacto Corregido)

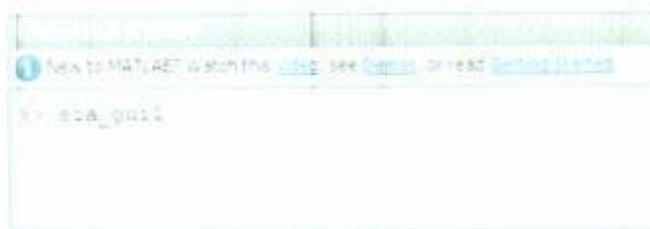
El programa se conforma por un núcleo central que llama a la subrutina principal de cálculo, y a su vez se podrá indicar la ruta donde se localizan los archivos o base de datos para analizar.

Para poder visualizar esta pantalla inicial se requiere en primera instancia haber cargado en MS Excel las tres matrices de información de entrada, la cuales son:

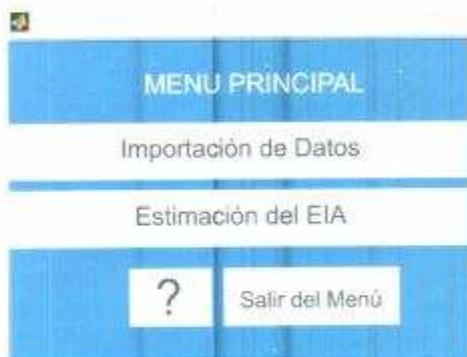
- La matriz en policromía (EIA).
- La matriz indicadora de los saltos entre factores de análisis. Esta matriz debe ser almacenada en un archivo de extensión xls, en la cual se mostrará los índices de las celdas donde se agrupan los subfactores que intervienen en el análisis.
- La matriz indicadora de los saltos entre las actividades de análisis. Esta matriz debe ser almacenada en un archivo de extensión xls, en la cual se mostrará los índices de las celdas donde se agrupan las subactividades que intervienen en el análisis.
- Después de almacenadas las matrices en Excel y guardadas en su formato nativo, se procede a la inicialización

del programa de MATLAB. Debe indicarse en el "Path Browser" la ruta donde se encuentran las tres matrices y en la ventana de comandos escribir "eia\_gui1"; así como se indica:

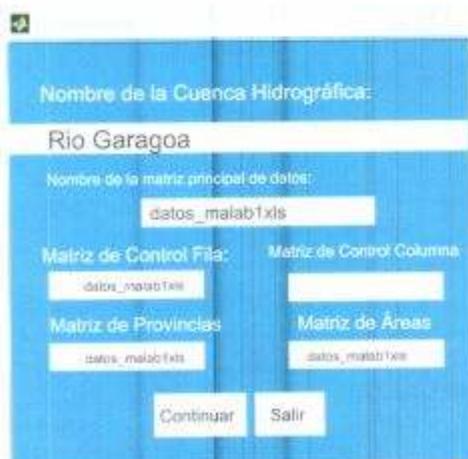
Figura No 3 inicialización del programa de MATLAB



Entrada al programa EIA



El menú principal comprende dos elementos principales implicados en el procesamiento sistemático; en el primer elemento se aborda la importación de datos desde MS Excel a MATLAB y el segundo elemento la ejecución del algoritmo de cálculo de la matriz de impacto y sus resultados derivados.



Habiéndose finalizado el análisis, el algoritmo almacena en formato .xls el detalle de los resultados de la matriz de impacto ambiental, el resumen de los análisis sectorizados por factores y actividades y la respuesta final de la caracterización de impacto ambiental ejercidos para la totalidad de la cuenca



### FACTOR DE EXTENSION

Ahora bien, es posible identificar un factor de corrección correspondiente al área de aplicación del impacto, el cual llamaremos E, como factor de extensión. Este factor aplicará para la cuantificación de actividades o proyectos totales conforme a su afectación al componente global o factor ambiental global. En aras de unificar argumentos generales, se ha seleccionado como unidad de área El Municipio como quiera que se hace más sencilla su valoración cualitativa en el momento del desarrollo de la matriz EIA, y a su vez, asociado a la dimensión municipal, dentro del desarrollo de la biopolítica, el biopoder y el "buen gobierno" temas que desarrolló Michel Foucault a lo largo de su vida docente. Del mismo modo, podemos asociar los municipios en una unidad que dada la magnitud de una cuenca resulta ventajoso y no menos importante como lo es la PROVINCIA, entendida como una entidad local con personalidad jurídica propia, determinada por la agrupación de municipios y división territorial para el cumplimiento de las actividades del Estado. Iniciado el modelo de cuantificación, este factor de corrección denominado de Extensión E, está asociado a un valor numérico expresado como la relación entre el área de los municipios asociados en provincias/área total cuenca.

$$E = \left( \frac{\text{Área provincia}}{\text{Área total cuenca}} \right)$$

en todo caso la suma de todo los E es igual a 1.0  
A partir de lo anterior tenemos que:

$$Ec = E \times \% \text{ Área}$$

Donde el % de Área indica la cantidad de porción de E que efectivamente es impactada de la provincia y

$$Fic = \left( \frac{fi + Ec \times fi}{2} \right)$$

Donde:

Fic = factor de impacto corregido

Ec = factor de extensión corregido

Fi = factor de impacto

Las fajas de valores para FIC, de acuerdo a la expresión anterior son:

Tabla No 5 fajas de valores para FIC

Definición	Intervalo + ( )
Bajo	0 - 5
Bajo - Medio	5 - 8
Medio	8 - 9
Medio - Alto	9 - 11
Alto	11 - 12

A efectos de procurar agilidad en el desarrollo de los cálculos para el Fic, se procede a elaborar una matriz de extensión Ec para cada provincia, la cual describe el área de afectación de una actividad sobre un factor ambiental. Esta matriz ha de construirse en una hoja de cálculo que posteriormente se exporta a la herramienta de cálculo matemático MATLAB, siguiendo el mismo procedimiento desarrollado para el cálculo del Fi.

En resumen, a partir de los resultados obtenidos en la matriz de Fi, se desarrolla una nueva matriz Fic, la cual contiene las actividades generales y factores ambientales asociados a un factor de extensión o área Ec, tomando al municipio como la unidad ambiental básica territorial inmersa dentro de la unidad llamada Provincia.

#### Codificación de las matrices Fi y Fic

Con el ánimo de encontrar una fácil interpretación del resultado obtenido de la matriz de impacto, se propone a continuación un sistema de codificación de los componentes subyacentes del análisis del factor de impacto. En primer lugar, la codificación consistirá en dar una representación numérica distinguible a las agrupaciones de componentes, ya sea por actividad o por factor ambiental, es decir la agrupación de los factores hidrometeorológicos, económicos y de suelo deben dar una respuesta

diferente o parcialmente diferente, en el factor de impacto, a si se tomase los factores cultural, de paisaje y calidad del aire. En segundo lugar, la codificación permitirá observar los datos o resultados, de una forma sencilla y fácilmente comprensible.

El proceso de codificación debe entenderse bajo la siguiente metodología:

Se debe establecer una organización clara y bien definida de los componentes por actividad o por factor ambiental que participarán en la matriz de impacto y el orden enfoque en que se dispongan estos componentes no podrán ser permutables durante los análisis posteriores.

Ya establecidos los componentes y su orden intrínseco, se enumerará el número de elementos por fila y el número de elementos por columna. Esta enumeración establecerá una composición binaria, es decir el número de elementos por fila o por columna representará el tamaño en bits de los grupos por componentes. Para el caso de estudio se tienen 13 factores ambientales y 19 actividades, por consiguiente se tendrá dos representaciones binarias, la primera de 13 bits y la segunda de 19 bits, correspondientemente.

El empleo de todos los componentes activará el mayor número en la composición binaria indicada anteriormente. Por ejemplo para la composición de 13 bits el número más alto que podrá representarse es 8191. Ahora bien, si se omiten algunos componentes en el análisis o bien se suprimen actividades o factores ambientales, como consecuencia de una verificación de sensibilidad en los componentes de la determinación del factor de impacto, podrá obtenerse cifras menores a 8191.

Mediante el esquema de codificación establecido se podrá construir escenarios de análisis, que permitirán visualizar la interacción de las variables en juego y la predominancia participativa de cada uno de los mismos.

#### DIAGRAMACIÓN DE RESULTADOS

Al haber analizado un conjunto de escenarios que se definieron en la codificación binaria, la respuesta del Fi o FIC podría adoptar valores que difieren de acuerdo a la composición de los elementos en la matriz de impacto; por lo cual se hace necesario analizar la variabilidad que podría adoptar la respuesta del modelo. Teniendo en cuenta que cualquier combinación de factores o actividades representa un único par ordenado de valores, podría obtenerse una representación visual del Fi y FIC, adaptando este último como un objeto tridimensional en el espacio geométrico que definen las variables de estudio.

Entre las múltiples formas que existen para visualizar campos tridimensionales, se ha adoptado para los propósitos de esta investigación, un diagrama de contornos y la superficie 3D. No obstante la construcción misma de estos diagramas requiere de un proceso de interpolación preliminar (e.g., tipo Kriging, SPLINE, entre otros), para la conformación del campo en los puntos donde no se tiene un muestreo. En esta investigación se tomaron 220 puntos en un espacio plano (aquel que define la composición binaria de actividades y factores ambientales), cuyo dominio va desde 1 hasta 8191 (factores ambientales) y el rango que parte desde 1 hasta 524.287 (actividades). La variable FI de acuerdo con los resultados obtenidos va desde 2 hasta -6 (estos valores responden al eje Z en la diagramación tridimensional).

La selección del método de interpolación estará sujeta a una verificación del comportamiento de los datos en un espacio tridimensional, por lo cual se sugiere verificar las técnicas de validación cruzada y de geoestadística para validar el método seleccionado. Se sugiere revisar las siguientes referencias: Beers y Kleijnen (2004), Kerry y Hawick (2005), Oliver (1990).

#### INTERACCIÓN SIG - IVAFIC (FASE 1)

"La disponibilidad de datos e información sobre los recursos de un territorio son imprescindibles para lograr de manera racional y sostenible su gestión y manejo. La aplicación de los sistemas de información geográfica SIG son una alternativa válida para estudios regionales, por la cobertura espacial, multispectral y temporal que alcanza. Los SIG se constituyen en la mejor forma de almacenar, administrar y gestionar dinámicamente datos territoriales". (Carriell y Belmonte, 2001).

Actualmente, los sistemas de información geográfica SIG, se han posicionado dentro del ámbito de la ingeniería como una herramienta fundamental para la representación, medición y proyección de contextos actuales y futuros. En virtud de lo anterior, éste trabajo asocia la interpretación cuantitativa dada como FI y FIC a una demostración gráfica que en términos didácticos facilitan la interpretación de los resultados obtenidos, y a su vez escenifican los comportamientos relevantes producto del ejercicio desarrollado.

Esta herramienta permite ejemplificar, entre otros, mapas que en éste trabajo se han denominado ISOFICS, que permiten llevar la evaluación del impacto ambiental formulado en su fase 1 a la unidad básica territorial o de extensión que para éste trabajo se ha designado como el municipio, facilitando así, la toma de decisiones en materia ambiental, por parte de los alcaldes, intendentes o gobernantes que por su condición socioeconómica carecen de los recursos suficientes para presupuestar un estudio de las condiciones dadas en éste trabajo.

#### ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO IVAFIC

##### Diseño experimental

Una vez calculado la matriz EIA, FI y FIC, por el método descrito anteriormente, se procede a hacer un análisis de sensibilidad del modelo planteado, para lo cual se recrean diversos escenarios aleatoriamente, eliminando actividades y factores y recalculando los distintos valores de FI y FIC. La construcción de un escenario estima la eliminación de actividades y factores en la matriz EIA, para luego exportarlo a la herramienta de cálculo matemático MATLAB, siguiendo el procedimiento descrito para la obtención del FI. Realizado este ejercicio, se procede a ajustar las matrices de extensión E, eliminando de la misma forma que en la matriz EIA, las actividades y factores de dicho escenario. A continuación, se exportan dichas matrices a la herramienta de cálculo matemático MATLAB, hasta obtener la matriz FIC del escenario planteado.

Un análisis de sensibilidad, requiere de la recreación de varios escenarios en el sentido de poder estimar tendencias, fronteras, máximos, mínimos, etc; validándose para el ejercicio de este trabajo, la construcción de 220 escenarios.

##### Visualización gráfica del comportamiento del FI y FIC. (Factor de Impacto y Factor de Impacto Corregido)

En respuesta al análisis de sensibilidad el factor de impacto y su consecuente codificación de componentes en su matriz intrínseca se pueden apreciar a continuación un espectro gráfico que representa el comportamiento de estos indicadores bajo la alteración u omisión de algunos componentes del estudio. Puede verse en el diagrama un panorama normalizado provisto de picos en los extremos próximos al inicio del dominio del campo de diagramación consecuencia de la carencia de componentes principales que deben incorporarse en cualquier estudio de impacto ambiental. Así mismo, se puede destacar que una representación de múltiples componentes no necesariamente conlleva al mejor resultado y la respuesta final está supeditada a una interpretación estadística tal como se indicará en secciones posteriores.

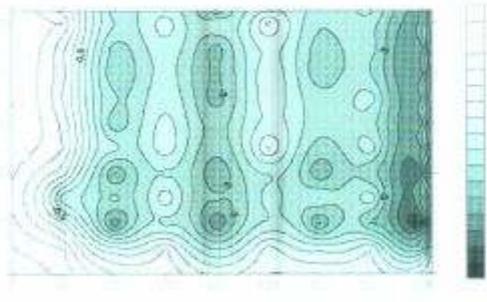


Figura No 4 Gráfico de contorno del FI

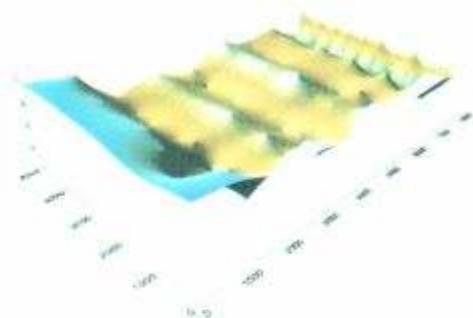


Figura No 5 Vista Tridimensional de FIC.

## Estadística descriptiva de los resultados

Tukey (1977) desarrolló un procedimiento que denominó EDA: Análisis Exploratorio de Datos, que representa un enfoque y no un conjunto de técnicas, es decir, una actitud o filosofía acerca de cómo un análisis de los datos debe llevarse a cabo. Se encuentran entre las diversas herramientas de tipo estadístico: Histograma FI y FIC

Un recurso común e importante para presentar datos es el histograma. Consiste en una escala horizontal para valores de los datos que se están representando, una escala vertical para las frecuencias, y barras que representan la frecuencia de cada frecuencia de valores (Triola, 2000).



Figura No 6 Histograma FI

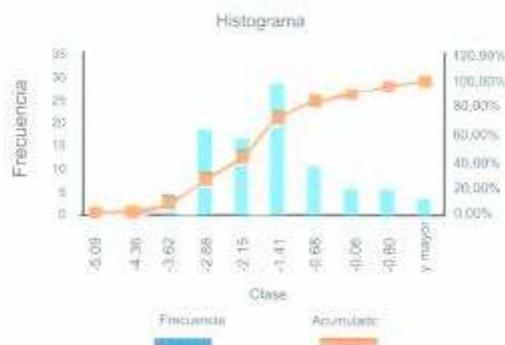


Figura No 7 Histograma FIC

## Ajuste de los datos FI y FIC a una función de densidad de probabilidad

A partir del resultado obtenido del histograma mostrado en la Figura anterior, se procede a realizar un ajuste de distribución mediante la prueba de hipótesis Chi-cuadrado y Kolmogorov-Smirnov. El objetivo de las pruebas de hipótesis es comprobar si son verdaderas las afirmaciones sobre los parámetros de una afirmación. En cualquier prueba existen dos hipótesis: la hipótesis nula  $H_0$  y la hipótesis alternativa  $H_1$ . La hipótesis nula representa el status Quo, es decir, la circunstancia que está siendo examinada, y el objetivo de las pruebas de hipótesis es siempre tratar de rechazar la hipótesis nula. La hipótesis alternativa representa lo que se desea probar o establecer, siendo formulada para contradecir la hipótesis nula (López, 2000).

Cuando no se puede emplear una prueba paramétrica, esto es, que, o no se puede suponer honestamente la normalidad o cuyos datos no se ajustan a una medida de nivel por intervalos, se puede utilizar pruebas no paramétricas de significancia, cuya lista de requisitos no incluye una distribución normal o el nivel de medición por intervalos. Para comprobar la importancia de una prueba no paramétrica es relevante entender el concepto estadístico de potencia. La potencia de una prueba es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando esta es realmente falsa y debe ser rechazada. La potencia varía de una prueba a otra. Las pruebas más poderosas son las que tienen los requisitos más fuertes o los más difíciles de satisfacer (Levin y Levin, 1999).

La prueba de significancia no paramétrica más popular se conoce como Chi-cuadrada. Esta prueba se emplea para hacer comparaciones entre frecuencias. Tiene que ver esencialmente con la distinción entre las frecuencias esperadas y las frecuencias obtenidas. Las frecuencias esperadas se refieren a los términos de la hipótesis nula, y en contraste, las frecuencias obtenidas se refieren a los resultados que se obtienen generalmente al realizar un estudio. Solo si la diferencia entre las frecuencias esperadas y obtenidas es lo suficientemente grande, se rechaza la hipótesis nula y se decide que hay una diferencia poblacional verdadera (Levin y Levin 1999). La prueba de Kolmogórov-Smirnov es otra prueba no paramétrica que se utiliza para determinar la bondad de ajuste de dos distribuciones de probabilidad entre sí.

Bien vale la pena aclarar, que para los ajustes a distribuciones log normal y gama, fue necesario realizar una transformación de datos de tipo box cox, en virtud a que estos métodos no trabajan con valores negativos. No obstante, los valores resultantes no se ven perturbados en su valor estadístico real.

Veamos a manera de ejemplo, el procedimiento para evaluar el ajuste de FI a una distribución Normal con sus respectivos resultados:

## Ajuste del factor FI a una distribución normal

Tabla No 6 Pruebas estadísticas

Parámetros estimados				
Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica
98	-5.093	1.516	-1.963	1.310
Parámetro		Valor		
μ		-1.963		
sigma		1.310		
Estadística	Datos	Parámetros		
Media	-1.963	-1.963		
Varianza	1.716	1.716		
Asimetría (Pearson)	0.386	0.000		
Curvosis (Pearson)	-0.098	0.000		
D	0.081			
p - valor	0.530			
alfa	0.05			

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 53.02%. Teniendo en cuenta que el nivel de significancia es del 5% lo que indica asegurar un grado de confiabilidad del 95% en los resultados, de la prueba realizada se observa que el valor de frecuencias observadas FI (D) es menor que el p-valor y a su vez se aproxima a cero, lo que conduce a concluir que la curva observada FI se ajusta a una distribución normal

Tabla No 7 Pruebas estadísticas

Chi-cuadrado ajustado (Valor observado)	9.999
Chi-cuadrado ajustado (Valor crítico)	14.067
alfa	0.05

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 18.86%. Efectuada la prueba de Chi-cuadrado, se concluye que el valor observado es menor al crítico, lo que nos conduce a estimar que la curva de frecuencias FI observada se ajusta a una distribución normal. Entre tanto más se acerque es valor observado a cero, la curva de frecuencias se ajustará a una distribución normal.

Hecho el análisis estadístico para los datos de FI y FIC, puede observarse cómo, al presentarse un comportamiento de distribución normal, el valor de la media corresponde al resultado que más se aproxima al comportamiento general y real. En el apartado siguiente se mostrarán los escenarios para FIC que se aproximan con

un nivel de confianza del 95% del valor dado por la media correspondiente a FIC. Este nivel de confianza está dado por la expresión:

$$X = \bar{X} + \frac{\sigma}{8}$$

Donde:

X= valor de FIC a calcular  
 valor de la media  
 desviación estándar

En conclusión, las actividades y factores pertenecientes a cada uno de los escenarios siguiente, garantizan un valor de FIC en un grado de confianza del 95%, para el desarrollo de esta investigación. En virtud de lo anterior, se sugiere al usuario cualquiera de los catorce escenarios que resultan del ejercicio de sensibilidad aclarando no obstante, que sólo hasta tanto se desarrolle el ejercicio para varias cuencas, se ajustará el modelo en la búsqueda de la precisión y certeza propia de todo modelo.

## ESCENARIOS FINALES DE ANÁLISIS

### •Escenario 1.

Factores: Hidrometeorológicos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Calderas de alfarería, Mataderos, Hidroeléctrica, industrias avícolas.

### •Escenario 2.

Factores: Hidrometeorológicos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Sistemas de riego, Edificaciones, Calderas de alfarería, Mataderos, Disposición de basuras, Hidroeléctrica, Agroindustria, Industrias avícolas, Industrias porcícolas, Proyectos de minería, Educación, Salud, Proyectos de comercio, Cultura recreación y turismo, Seguridad ciudadana.

### •Escenario 3.

Factores: del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, Socioculturales, Históricos.

Actividades: Obras de acueducto, Sistemas de riego, Mataderos, Agroindustria, Industrias avícolas, Industrias porcícolas, Proyectos de minería, Educación.

### •Escenario 4.

Factores: Suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, del paisaje.

Actividades: Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Sistemas de riego, Calderas de alfarería, Industrias avícolas, Educación.

### •Escenario 5.

Factores: Geosféricos, Hidrometeorológicos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Económicos, del Paisaje, Históricos.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Sistemas de riego, Edificaciones, Calderas de alfarería, Mataderos, Disposición de basuras, Hidroeléctrica, Agroindustria, Industrias avícolas, Industrias porcícolas, Proyectos de minería, Educación, Salud, Proyectos de comercio, Cultura recreación y turismo, Seguridad ciudadana.

•**Escenario 6.**

Factores: Geosféricos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Históricos.

Actividades: Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Disposición de basuras, Hidroeléctrica, Industrias avícolas, Proyectos de minería.

•**Escenario 7.**

Factores: Suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, del Paisaje.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Edificaciones, Agroindustria, Proyectos de minería.

•**Escenario 8.**

Factores: Geosféricos, Suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Económicos, Socioculturales, Paisaje.

Actividades: Obras de acueducto, Sistemas de riego, Mataderos, Agroindustria, Industrias avícolas, Industrias porcícolas, Proyectos de minería, Educación.

•**Escenario 9.**

Factores: Geosféricos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Históricos.

Actividades: Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Mataderos, Basuras, Agroindustria, Industrias porcícolas.

•**Escenario 10.**

Factores: Hidrometeorológicos, Suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales.

Actividades: Infraestructura vial, Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Edificaciones, Agroindustria, Proyectos de minería.

•**Escenario 11.**

Factores: Geosféricos, Hidrometeorológicos, suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos. Hidrológicos y de calidad del agua, Calidad de aire y la atmósfera, de Salud.

Actividades: Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Mataderos, Disposición de basuras, Agroindustria, Industrias porcícolas.

•**Escenario: 12**

Factores: Hidrometeorológicos, suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales.

Actividades: Infraestructura eléctrica, Sistemas de riego, Hidroeléctrica, Agroindustria, Industrias porcícolas. Educación.

•**Escenario: 13**

Factores: Hidrometeorológicos, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos.

Actividades: Obras de acueducto, Obras de alcantarillado, Mataderos, Disposición de basuras, Agroindustria, Industrias porcícolas.

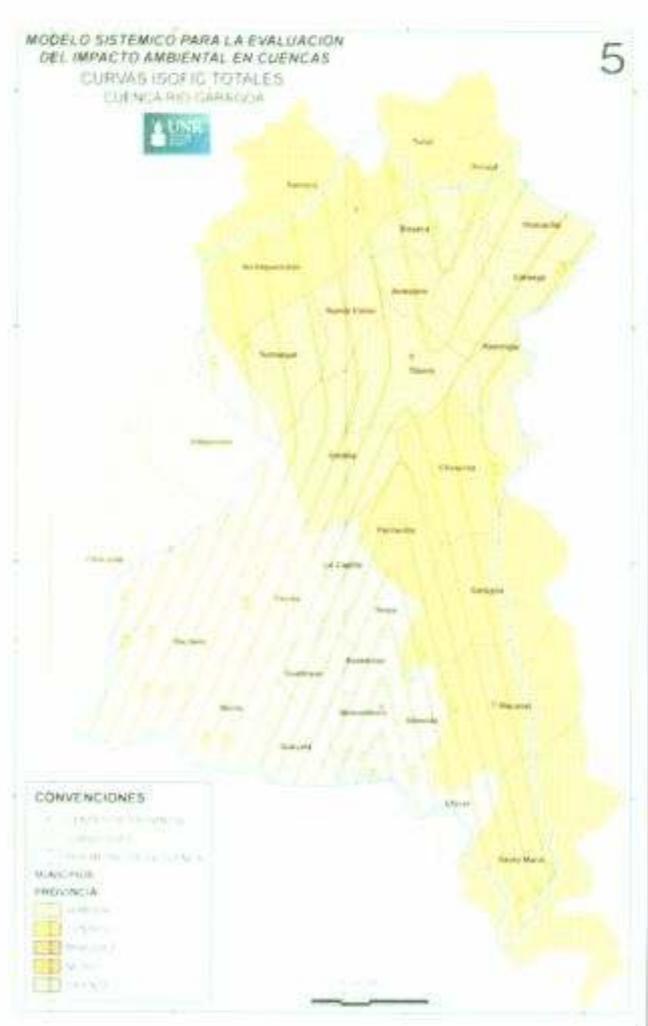
•**Escenario: 14**

Factores: Geosféricos, Hidrometeorológicos, suelo, del Ecosistema, de Biodiversidad, Demográficos, Económicos, Socioculturales, del Paisaje, Históricos. Hidrológicos y de calidad del agua, Calidad de aire y la atmósfera, de Salud.

Actividades: Obras de alcantarillado, Infraestructura eléctrica, Disposición de basuras, Hidroeléctrica, Industrias avícolas, Proyectos de minería.

Interactuando con los Sistemas de información Geográfica, se puede presentar entre varios, un mapa a nivel de Municipio que muestra los valores de impacto total resultantes del desarrollo del modelo, y que se ha denominado Mapa de ISOFIC.

Figura No 8 Curvas ISOFIC totales cuenca rio garagoa



#### IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En consideración a que el modelo planteado como IVAFIC en su Fase 1 es de tipo Meta-heurístico, es fundamental que el trabajo de campo para la elaboración de la EIA, surta un desarrollo serio y dedicado que asocie la participación de expertos, trabajo de campo y participación ciudadana, toda vez que es a partir de esta matriz que se integra o parte el modelo planteado, siendo esta evaluación cualitativa inicial, el sustento de validación de los resultados numéricos que se obtengan del desarrollo del modelo.

De otro lado, los atributos de cuantificación dados por el autor responden a los interrogantes necesarios que al nivel de escala trabajado como lo es el de una Cuenca resulta suficiente, en el sentido de valorar la naturaleza, durabilidad y reversibilidad de un impacto, que para los efectos de la formulación de un Plan de Manejo y Protección de Cuencas, constituyen un elemento de partida que diagnóstica, aproximando a un orden de magnitud el estado en el que se puede encontrar una Cuenca. Debe reconocerse que la aplicación del modelo es permitida para cualquier tipo de Cuenca, toda vez que el modelo planteado no limita la cantidad de actividades y factores a evaluar, que indiscutiblemente pueden variar de una Cuenca a otra.

Realizar el ejercicio de evaluación a través del modelo sistémico propuesto, sin una herramienta de tipo computacional estructural como MATLAB, sin duda entorpecería la aplicación del mismo para el usuario final, toda vez que la cantidad de información y operaciones a realizar que pueden extraerse para la Evaluación del Impacto de una Cuenca, puede ser tan extensa, que el desarrollo entraría en una fase de error, extralimitación de tiempo, costos y demás; situación compleja que con esta propuesta se reduce ostensiblemente, convirtiéndose así,

en un modelo ágil, útil, confiable, sistémico, económico y de sencillo manejo.

El citado modelo IVAFIC en su fase 1, puede extraerse para evaluar impactos ambientales a niveles más pequeños, ya sea de proyecto y extensión de área, e igualmente la variable tiempo no es problema en la medida que pueden obtenerse valores de FIC actuales y futuros, desarrollándolos independientemente.

La calibración del modelo IVAFIC, en su fase 1, correspondiente a la obtención del factor de impacto corregido FIC, a través del análisis de sensibilidad que requirió la modelación de cientos de escenarios probables para la Cuenca de Estudio, que a su vez pueden ser escenarios equivalentes a otra Cuenca, arrojaron después de hacer el análisis estadístico, una aproximación a una Distribución Normal, lo que sustenta un ejercicio aún más sencillo y dinámico, en virtud de la propuesta de escenarios de matriz EIA por evaluar, que pueden conducirnos a estimar un valor en orden de magnitud confiable de FIC para una Cuenca.

El modelo propuesto resulta bondadoso a partir de la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica, en la medida que se puede generar un mapa de valores parciales o totales de FIC a nivel de Municipio, lo que favorece adoptar decisiones de tipo político, administrativo, económico, y ambiental a nivel local, cuando hay ausencia de información y/o se carece del capital para generar un estudio de esta envergadura.

El modelo formulado denominado IVAFIC en su Fase 1, responde al cuestionamiento y problema planteado al inicio de este trabajo en el sentido de aportar un modelo sistémico que permite cuantificar el impacto ambiental (Parcial y Total) a nivel de Cuenca.

#### REFERENCIAS

- Bonríquez - Tello, L.A. y E. Gray-Dehruais. 1992. "International lending and resource development in Mexico: Can environmental quality be assured". *Ecological Economics*, Amsterdam, vol. 3, 1992, pp. 297-311.
- Bonríquez - Tello, S. Díaz, F. Sauro. 1997. Ordenamiento ecológico de la Costa Norte de Nayari. Organización de Estados Americanos y Universidad Nacional Autónoma de México D.F.
- CORPOBIVACIA. 2004. Plan de Gestión Ambiental Regional PSAR 2001-2005. Documento electrónico. Tomado de <http://www.derechos.org/nizkor/latam/doc/psar/psar.html>, Junio de 2004.
- CORPOCHIVOR. 2000. Caracterización y evaluación de las actividades y creencias en la comunidad frente al uso, conservación y explotación del recurso hídrico en los municipios de Guatuzá, Somondoco y Sutambo. Informe final CORPOCHIVOR - Consultoría Ciudad Inés Borrillo. Contrato 113-01. 179pp.
- CORPOCHIVOR. 2004. Plan de Gestión Ambiental Regional PSAR 2001-2006. Documento electrónico. Tomado de <http://www.corpochivor.gov.co/psar.html>, Marzo de 2004.
- Espinoza, B.A. 1998. Informe de Consultoría: Políticas y Procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental para el País. Santiago, Chile.
- IBAM. 2004. Guía técnica científica para la ordenación y manejo de cuencas hidrográficas en Colombia (Decreto 1759 de 2002). Bogotá. 106pp.
- Marcolli Sando, Pável. 2001. Cuencas fluviales. Prácticas críticas para su pronóstico. UNF EDITORA pp.167. Rosario, Argentina. 2001.
- Gray Emelio y Buzar Castillo Eduardo. 1996. La gestión ambiental: marco de referencia para las evaluaciones de impacto ambiental. Editorial fundación proa. Caracas Venezuela.
- Paerl, J.C. 1998. Introducción a la Evaluación de Impacto Ambiental. CAAM, Ecuador.
- Pimentel, G., Pires, S.H. 1992. Metodología de evaluación de impacto ambiental: aplicaciones e sus límites. *Revista de Administración Pública*, Vol. 25, N° 1.
- Puary, N. 1998. Erosión hídrica en cursos de lámina sobre techos cohesivos. UNF editors. <http://www.unfpa.org/uyph/itros/erosion/>
- Puary, N. and M. Portocarrero. 1995. Contribution to "Integrated River Basin Development". Ed. Wiley, Wallingford, England.
- Puary, N. and M. Portocarrero. 1995. "Environmental Impact Evaluation Model for Dredging Activities." Fourteenth World Dredging Congress. Proceeding WCDIA Amsterdam.
- Puary, N. E. 1997. "Erosión hídrica en suelos cohesivos". Tesis Doctoral. FCEIA, Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- Puary Nora, Portocarrero Mariparis. 1999. An environmental impact assessment matrix model for embankments in floodland landscapes. *Journal of Environmental Hydrology*, 7.
- Teley, John W. 1977. *Excavatory Data Analysis*. Addison-Wesley, Reading & Brooks/Cole, Statistics Probability Series.
- Wood, C. 1996. Evaluación de Impacto Ambiental: un análisis comparativo de ocho sistemas de EIA. Centro de Estudios.
- Párra, Doc. de Trabajo N° 247. Abel, Chile.