

## **SIG EN EL ANÁLISIS ECONÓMICO DE MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE Y LOS RECURSOS NATURALES**

**Carlos Adrián Saldarriaga Isaza\***

### ***RESUMEN***

La aplicación de sistemas de información geográfica al manejo de recursos naturales y del medio ambiente ha sido bien catalogada dentro de la literatura internacional. Estos sistemas están diseñados para el análisis de datos que están geográfica y espacialmente referenciados, lo que permite el análisis de problemas espaciales, tal como aquellos relacionados con la conservación de la biodiversidad y cambio de uso del suelo. El objetivo de este artículo es reflexionar sobre la manera en que puede ser aplicada esta herramienta al análisis económico del manejo y conservación de recursos naturales y del medio ambiente, partiendo por una breve explicación de lo que es un sistema de información geográfica, y presentando luego un caso estudiado por el autor, por medio del cual se muestran las bondades de esta herramienta. Finalmente, se dan algunas ideas de hacia dónde podría ir dirigida la investigación en este campo en el ámbito regional y nacional.

**Palabras clave:** economía ambiental, recursos naturales, análisis espacial, SIG.

---

\* Profesor auxiliar, Departamento de Economía, Universidad Nacional de Colombia - sede Medellín. [casaldarriagai@unal.edu.co](mailto:casaldarriagai@unal.edu.co)

## **ABSTRACT**

In the international literature, geographical information systems have been recognized as an important tool for the management of natural resources and the environment as well. These systems are designed to analyze data that is geographic and spatially referenced, which allows for the analysis of problems with spatial features, such as those related to conservation of biodiversity and land use change. The objective of this article is to reflect upon how this tool might be applied to the economic analysis of conservation and management of natural resources and the environment, starting by presenting what a geographical information system is, and presenting also an author's case study that will allow showing the virtue of this tool. Finally, I point out some ideas towards research in this field could be leaded in the regional and national context.

**Key words:** environmental economics, natural resources, spatial analysis, GIS.

**JEL:** Q23, Q24, Q27, Q51, Q57

## **Introducción**

El uso de Sistemas de Información Geográfica, o SIG como se le conoce usualmente, en el análisis económico del manejo de recursos naturales y del medio ambiente, ofrece un gran potencial considerando el análisis de tipo espacial que subyace y es menester realizar en tales casos.

En términos de su funcionalidad, puede afirmarse que los SIG están diseñados para el análisis de datos que están espacialmente referenciados a la Tierra, y en este sentido la utilidad de tal herramienta en la investigación de problemas ambientales surge cuando las relaciones entre elementos espaciales y geográficos forman parte de los elementos significativos del problema a ser investigado (Bateman et al, 2002).

Es así como existe una variedad de problemas que dentro del análisis económico del manejo de recursos naturales pueden y han sido estudiados. Entre otros podemos mencionar: Calidad del aire (Brainnard et al, 2002), valoración de bienes ambientales (Brainard et al, 1999), transferencia de beneficios (Bateman et al, 1999), valoración del carbono sequestrado en bosques (Bateman y Lovett, 2000), y evaluación del impacto de cambio en el uso de la tierra (Armenteras et al, 2006).

Y aunque el abanico podría abrirse aún más, en este documento nos interesará el último punto mencionado, vale decir, la evaluación del impacto generado por diferentes tipos de usos del suelo desde una perspectiva no meramente naturalista, sino también en términos del bienestar econó-

mico y social que tales cambios puedan generar; cambios que se dan en un marco de explotación o conservación de recursos naturales.

Con estos antecedentes, en este artículo se expone la manera en que puede ser aplicada esta herramienta al análisis económico del manejo y conservación de recursos naturales y del medio ambiente, partiendo por una breve explicación de lo que es un sistema de información geográfica, y presentando luego un caso estudiado por el autor, por medio del cual se muestran las bondades de esta herramienta.

En la siguiente sección se hace una breve descripción de lo que son los sistemas de información geográfica y su aplicabilidad en la economía. Luego de ello se presenta un estudio de caso particular, y para finalizar se exponen las futuras aplicaciones a problemas regionales o nacionales relacionados con el manejo de recursos naturales, haciendo mención de las limitaciones que su uso tendría.

### ***SIG y análisis espacial en la economía ambiental y de recursos naturales***

Desde las teorías de David Ricardo sobre la renta de la tierra, pasando por Hotelling con su deducción de la explotación óptima de recursos no renovables en 1931, hasta nuestros días con diversas teorías sobre el manejo de recursos renovables (ver por ejemplo Sanchirico y Wilen, 2001; Nalle et al, 2004), y la estimación de beneficios de bienes ambientales por medio de los métodos de preferencias reveladas (Day et al, 2007; Brannard et al, 1999; Lake et al, 2000; Bateman et al, 1999), dentro de la economía ambiental y de los recursos naturales (de ahora en adelante referido como Economía Ambiental), el *espacio* ha jugado un papel fundamental dentro del estudio de diversos fenómenos.

Es en los últimos años donde quizá se ha formado un interés creciente en la literatura económica ambiental por el estudio de fenómenos que incorporan una alta dosis de complejidad espacial (y en algunos casos espacio-temporal) que hace de tales análisis no meramente un ejercicio formal, sino más real en cuanto hacen caso de las interrelaciones altamente complejas que caracterizan el funcionamiento de los ecosistemas (incluidos los urbanos). Estudio que a su vez es facilitado por la revolución suscitada en otras disciplinas en el desarrollo de técnicas de análisis espacial, y en particular, de sistemas de información geográfica.

Pero, ¿qué se entiende por análisis espacial? Para ponerlo en un contexto sencillo, estamos en presencia de un fenómeno espacial por ejemplo cuando miramos un ecosistema caracterizado por diferentes tipos de coberturas vegetales que pueden estar asociados a distintos usos del suelo; además

de variabilidad entre algunas características geográficas como la pendiente de un sitio, altitud y distancia; o variabilidad en aspectos socioeconómicos como por ejemplo cambios en el ingreso familiar o del productor ligado a determinadas actividades económicas y geográficas al interior de una región<sup>1</sup>.

En la generación de datos que lleven a estructuras de SIG se utilizan dos enfoques. En primer lugar, en el modelo por *raster* se parte de la separación espacial en celdas o píxeles con un único valor, cada uno de los cuales representa un tipo de información diferente (ver Figura 1), siendo especialmente útil para describir fenómenos que varíen de manera continua a través del espacio tales como tipo de suelo o cobertura vegetal, y cuya fuente de información sean fotografías aéreas o satelitales. Por otro lado, el modelo por *vectores* está ligado a objetos en el espacio con características discretas, y diseñado en base a información proveniente de mapas. Para la modelación vectorial se toman tres objetos componentes del espacio: el punto, la línea, y el polígono o área (ver Figura 1). Por otro lado, el conjunto de los datos modelados es obtenido a partir de la separación de la información en diferentes capas que son almacenadas independientemente, de acuerdo al tipo de dato almacenado (ver Figura 2).

Con el fin de ilustrar un poco más la utilidad de esta herramienta en el manejo de recursos naturales, y muy en particular desde un punto de vista económico, a continuación se presenta un estudio de caso. Para una mayor ilustración, no obstante, en el artículo de Bateman et al. (2002) puede encontrarse una revisión ampliada de literatura con aplicaciones de SIG dentro de la economía ambiental.

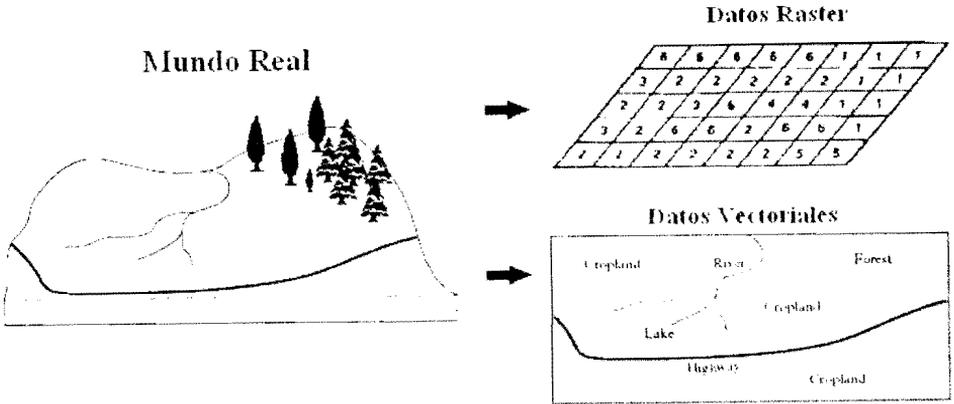
### ***Aplicación de SIG al análisis de conservación de especies***

En el trabajo elaborado por Saldarriaga *et al.* (2007) se abordó el análisis de costo-efectividad de la conservación del ciervo denominado Huemul (ver Figura 3), en el Área de Protección Cordillerana (APC) de la Región VIII de Chile (ver Figura 4). Dicha área fue creada hace más de 30 años a través decretos ministeriales con el fin de proteger recursos de fauna y flora, varios de los cuales, entre ellos el Huemul, han estado bajo amenaza a causa de la presión ejercida por algunas actividades económicas como la ganadería, la agricultura y el propio asentamiento humano. Siendo la especie más documentada de la zona, y considerada una especie "paraguas", es decir, el hábitat necesario para su protección es tan extenso

---

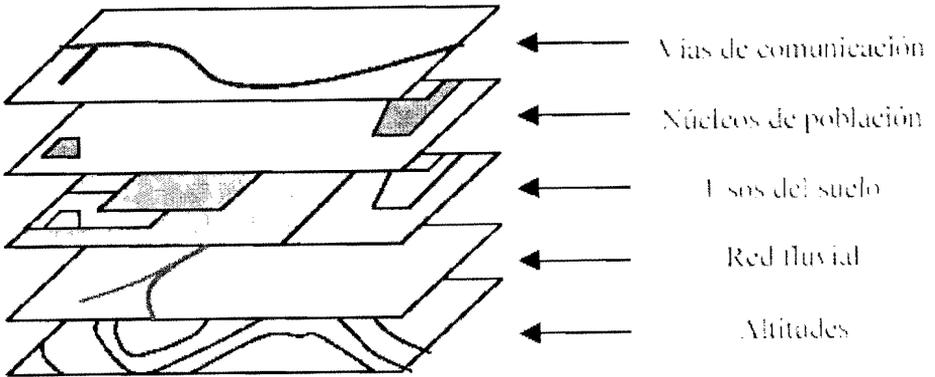
<sup>1</sup> Varias de estas consideraciones han sido recogidas en áreas referidas al estudio de la organización industrial, urbana y regional en modelos econométricos espaciales.

FIGURA 1. Representación de características del uso de la tierra por medio de datos en retículas (raster) y en vectores.



Fuente: Adaptado de Bateman et al. (2006)

FIGURA 2. Capas de Información en el SIG.



Fuente: <http://es.wikipedia.org> (2007)

que se llega a proteger una gran diversidad de especies, estos autores analizaron el manejo del APC bajo un criterio de costo-efectividad, considerando solamente la especie Huemul en su análisis.

Adaptando algunos de los criterios principales de Lichtenstein y Montgomery (2003), se construyó una frontera de posibilidades de producción a partir del cálculo de la capacidad productiva potencial para diferentes niveles de un índice de población de la especie. Los resultados de este proceso de simulación de una frontera de posibilidades de producción (FPP) se compara

FIGURA 3. Imagen del Huemul.

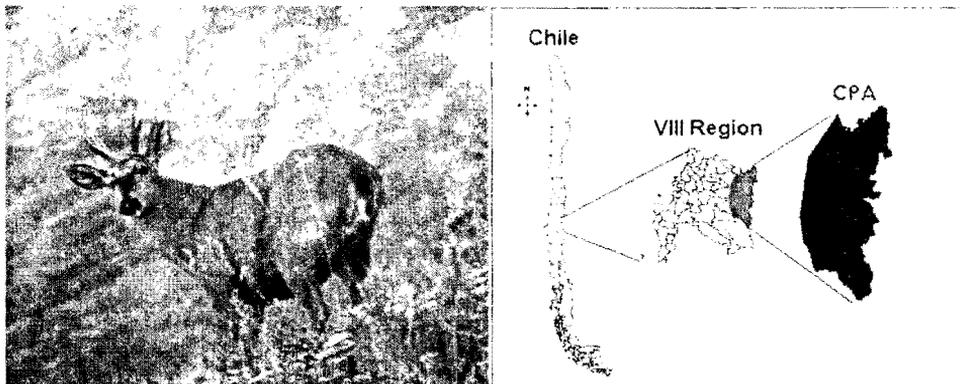


FIGURA 4. Área de Estudio

Fuente: Povilitis (2002)

Fuente: Elaboración Propia

raron con una línea base para el horizonte de tiempo propuesto (10 años). Esta comparación de la línea base con la FPP para un nivel fijo del índice de población permitiría determinar y medir la costo-efectividad del manejo.

En el proceso de simulación de la FPP, se utilizó un modelo de optimización en donde las variables de decisión eran proporciones ( $Y$ ) de área de cada unidad de manejo (UM) asignada a cada actividad económica. Utilizando información georeferenciada obtenida del Catastro de Bosque Nativo de Chile, se partió por considerar cada uno de los diferentes polígonos entre los que el APC es dividida en el SIG, como una unidad de manejo. En este caso, se pretendía encontrar la proporción ( $Y_j$ ) de cada actividad  $i$  en la UM  $j$  de tamaño  $A_j$ , que maximizara el beneficio neto de costos de la producción total, teniendo como restricciones más relevantes el tamaño de población de la especie y cambios de usos de la tierra que no fueran en contra de la conservación de especies. Así, por ejemplo, para no ir en contra de la conservación de otras especies diferentes a la estudiada, se introdujo como restricción la conversión de zonas existentes destinadas a la conservación.

De acuerdo a los datos provistos en SIG, se identificaron 8 tipos de uso del suelo agrupados en 6 categorías: sitios de reserva, manejo de bosque nativo, recreación, producción de madera, agricultura y cría de ganado. De estas seis, la actividad de recreación fue excluida del análisis considerando que su desarrollo se da en zonas como sitios de nieve o cuerpos de agua, en los que es poco probable que la actividad antrópica de poca envergadura modifique ostensiblemente el tipo de cobertura.

Dentro del modelo de optimización, y más específicamente en su restricción biológica, la cantidad de área de hábitat apropiados para la especie, con determinadas características topográficas<sup>2</sup>, jugaba un papel importante para mantener el índice de población dentro de un rango permisible. Y a su vez, esta cantidad dependía directamente del tipo de actividad desarrollada en cada unidad de manejo.

Si bien, en algunas situaciones la no disponibilidad de información no permite un tipo de análisis que se acerque más a la realidad, es posible establecer algunas consideraciones que reflejen en cierta medida ciertos aspectos que no son ajenos a actividades productivas llevadas a cabo en zonas rurales. Es así como para este estudio de caso se incorporaron algunos supuestos relacionados con la productividad de la tierra para cada tipo de actividad, dependiendo de características topográficas como la altitud y la pendiente: se espera que la rentabilidad de un sitio disminuya mientras mayor sea la altitud o el grado de la pendiente de un sitio, dado que las condiciones de acceso o facilidad en la explotación son menos favorables.

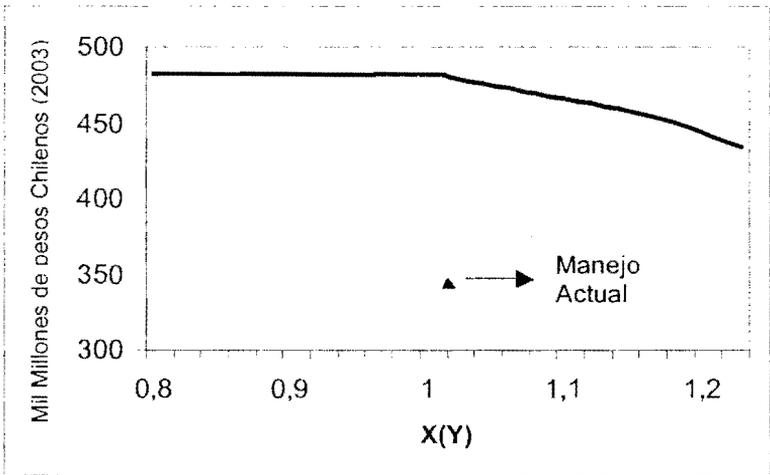
De acuerdo a los datos utilizados más los supuestos empleados, Saldarriaga *et al.* (2007) lograron modelar una frontera de posibilidades de producción que da cuenta de un manejo no costo-efectivo del sitio de estudio (el Área de Protección Cordillerana en la Región VIII de Chile). En la figura 5 se muestra como el valor de la función objetivo (CL\$4.8 mil millones) para un índice de población que representa la situación de la especie al momento de hacer el estudio, es mayor en un 42.2% al valor de la línea base simulada (CL\$3.4 mil millones).

Un resultado interesante de este trabajo es la posibilidad que se abre para las comunidades de la zona en el sentido de poder acceder a unos mayores beneficios totales por la producción en cada una de las actividades desarrolladas en la zona. Esto condicionado a una redistribución (cambios en el uso de la tierra) de tales actividades a lo largo de toda la zona, y favoreciendo en algunos casos la expansión de ciertas actividades como la producción agrícola, y desfavoreciendo otras como la actividad ganadera. Y a la vez que se incrementan estos beneficios sociales es posible pensar en un incremento en el número de individuos de la especie en cerca de un 23%, aunque con un costo de oportunidad creciente a medida que se incrementa el nivel de población protegido.

---

2 Según Povillitis (1998), esta especie prefiere sitios con pendiente entre 30-40%, y al menos altitud de 1750 msnm.

FIGURA 5. Frontera de Posibilidades de Producción que combina la producción forestal, ganadera y agrícola, con la protección del Huemul en el APC.



Fuente: Saldarriaga et al. (2007)

**SIG en el análisis económico de problemas de conservación y manejo de recursos naturales y del medio ambiente en la región**

Para finalizar, se presentan algunas direcciones hacia dónde podría ir dirigida la investigación en economía ambiental aplicando este tipo de herramientas. Cabe aclarar que existe una gama de sectores en donde los SIG pueden ser utilizados para la gestión y toma de decisiones, tales como: cartografía, gestión territorial, manejo del medio ambiente y demografía, y que de hecho son utilizados en nuestro país por varias instituciones como el Instituto Alexander von Humboldt, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y el IDEAM. Para nuestro caso, centremos la mirada en su aplicación al manejo de recursos naturales desde una perspectiva económica.

En primer lugar, podría pensarse en la elaboración de estudios de valoración de bienes ambientales como la calidad del aire o bienes recreacionales considerando el uso de los sistemas de información geográfica, adicional a las técnicas tradicionales por los métodos de preferencias reveladas o declaradas (Brainard et al. 1999; Lake et al. 2000), y extendiéndolo además a la implementación de la técnica conocida como Transferencia de Beneficios. Respecto a esto último, Brainard et al. (1999) y Bateman et al. (1999) han logrado mostrar cómo el uso de SIG puede generar mejores estimaciones al momento de trasladar beneficios (costos) desde un sitio donde ya anteriormente se ha realizado un estudio de valoración de un determinado recurso natural o bien ambiental, hacia otro lugar en donde se desea conocer ese beneficio asociado a un bien con características

similares. No obstante tener ciertas limitaciones, el uso de SIG en la Transferencia de Beneficios puede poseer ciertas ventajas frente a la manera tradicional de aplicación de esta metodología. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la principal ventaja de realizar una transferencia de beneficios es la de evitar costos que se derivan de la elaboración de un estudio de valoración ambiental. Y por lo tanto, la implementación de una transferencia de beneficios estará supeditada a la existencia previa de SIG, puesto que no vendría al caso tener que crear una base de datos de tal envergadura para después pensar en la transferencia del valor.

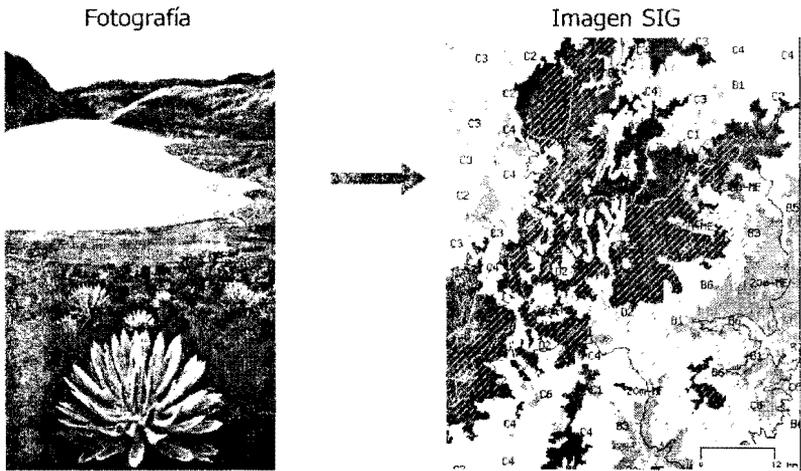
Un campo por explorar tiene relación con el manejo costo-efectivo de las áreas protegidas en Colombia. Dados los compromisos suscritos por Colombia en materia de protección de la biodiversidad, especies, y humedales; y además de los intereses propios de conservación que puedan tenerse como nación soberana, el manejo de estos sitios reviste un problema económico, además de ecológico y biológico, desde el momento en que para ejecutar estas actividades de conservación es menester destinar recursos del fisco nacional. Recursos fiscales que son limitados y que diversos sectores sociales demandan constantemente.

Considerando algunos de los aspectos discutidos en la sección anterior, podría pensarse entonces en un problema de manejo de un parque nacional natural. Teniendo el objetivo sobre qué es lo que se desea conservar, debe mirarse también en cómo hacerlo teniendo siempre en mente esta limitante de recursos ya mencionados, y un conjunto de variables que inciden de una u otra forma en los resultados que se obtengan. Así, además de pensar en aquellos hábitat que se quieren conservar con el fin de proteger una o varias especies, o en general un gran conjunto de diversidad biológica, hay que tener presente aspectos como la continuidad de los espacios protegidos, variables socioeconómicas y factores institucionales y políticos que en determinado momento lleguen a influir sobre un objetivo específico. Y siendo un poco más estrictos, se vuelve necesario incluir la dimensión temporal, pues más que un problema estático, el manejo de los recursos naturales envuelve en sí una dinámica cambiante, más que de equilibrio.

En esta misma línea, es necesario anotar también que esta clase de análisis debe ir dirigido hacia un manejo a gran escala que tenga en cuenta las interrelaciones subyacentes al funcionamiento de los ecosistemas, con lo cual se estaría pasando de aquella visión reduccionista de ver solamente una planta o especie de interés para una comunidad, a una visión más general que permita dar cuenta de esta correspondencia mutua entre los diferentes componentes de un paisaje. Por ejemplo, pasar de ver aquella planta o laguna de agradable vista al ojo humano, a una escala más amplia (ver Figura 6).

Por último, otro gran aporte que puede hacerse está en el campo del análisis del cambio en el uso de la tierra. Son varios los determinantes a considerar en un estudio, tales como la disponibilidad de vías de acceso, los tipos de cobertura vegetal existentes en un momento determinado y variables socioeconómicas relacionadas con niveles de ingreso a lo largo de una región o factores institucionales subyacente a cada comunidad. En este caso, además del uso de SIG hay que incluir también el empleo de las herramientas que ofrece la econometría espacial, que viene siendo aplicada no sólo a esta clase de problemas, sino a otros relacionados con el estudio de fenómenos urbanos y regionales como la migración social intraregional, la movilidad laboral y productividad industrial (economía laboral), entre otros más (ver Moreno y Vaya 2000).

FIGURA 6. PNN Sumapaz



Fuente: [www.parquesnacionales.gov.co](http://www.parquesnacionales.gov.co) (2007), [www.humboldt.org.co](http://www.humboldt.org.co) (2007)

## Conclusiones

En este artículo se ha pretendido exponer la manera en que los sistemas de información geográfica se vienen aplicando al análisis económico del manejo y conservación de recursos naturales y del medio ambiente. Teniendo en cuenta los dos enfoques que existen para la generación de datos en estructuras de SIG, vectorial y raster, se han mencionado algunas posibles aplicaciones de esta herramienta de información, poniendo particular atención al análisis económico de la conservación de especies.

Obviamente todas las aplicaciones acá mencionadas, más otras que no se han traído a colación, involucran un trabajo interdisciplinario pues las variables en base a las cuales debe estudiarse un fenómeno son de diversa

índole: sociales, económicas, ecológicas, ambientales, etc. Y ligado a ello, está entonces la formación de grupos de investigación que consoliden un área que requiere atención y recursos de apoyo: humanos, físicos y financieros.

Es bueno dar luces sobre la utilidad en términos sociales de esta clase de investigaciones. Al igual que otros trabajos en el área de la economía ambiental, gran parte de la relevancia de los resultados que se obtengan va a estar supeditada a la importancia que le den los entes encargados de la ejecución de la política ambiental en Colombia. Se ha visto cómo en los últimos años ha ido perdiendo fuerza la institucionalidad y la política ambiental en el ámbito nacional (Becerra, 2007), y ante esta realidad, surge la pregunta de si vale la pena o no el esfuerzo que se haga en este sentido. Sin embargo, si se piensa en las bondades ofrecidas por esta herramienta, y especialmente en la rigurosidad de sus resultados, debería hacerse una apuesta por la ejecución de estudios que vayan en esta vía.

Recibido: 30-04-2008

Aprobado: 28-07-2008

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Armenteras, Dolors, Guillermo Rudas, Nelly Rodríguez, Sonia Sua y Milton Romero. 2006. "Patterns and causes of deforestation in the Colombian Amazon." *Ecological Indicators*, 6(2): 353-368.
- Bateman, Ian, Andrew Lovett y Julii Brainard. 1999. "Developing a Methodology for Benefit Transfers Using Geographical Information Systems: Modelling Demand for Woodland Recreation." *Regional Studies*, 33(3): 191-205.
- Bateman, Ian y Andrew Lovett. 2000. "Estimating and valuing the carbon sequestered in softwood and hardwood trees, timber products and forest soils in Wales." *Journal of Environmental Management*, 60(4): 301-323.
- Bateman, Ian, A.P. Jones, Andrew Lovett, I.R. Lake y B.H. Bay. 2002. "Applying Geographical Information Systems (GIS) to Environmental and Resource Economics." *Environmental and Resource Economics*, 22(1-2): 219-269.
- Bateman, Ian, Wanhong Yang y Peter Boxall. 2006. "Geographical Information Systems (GIS) and Spatial Analysis in Resource and Environmental Economics." En *The International Yearbook of Environmental and Resource Economics 2006/2007*, ed. T. Tietenberg y H. Folmer. Northampton: Edward Elgar Publishing.
- Brainard, Julii, Andrew Lovett y Ian Bateman. 1999. "Integrating geographical information systems into travel cost analysis and benefit transfer." *International Journal of Geographical Information Science*, 13(3): 227-246.
- Becerra, Manuel. 2007. "S.G.S. a Miravallente." Diario *El Tiempo* 7-Enero-2007.

- Day, Brett, Ian Bateman, y Iain Lake. 2007. "Beyond implicit prices: Recovering theoretically consistent and transferable values for noise avoidance from a hedonic property price model." *Environmental and Resource Economics*, 37(1): 211-232.
- Lake, Iain, Andrew Lovett, Ian Bateman y Brett Day. 2000. "Using GIS and large-scale digital data to implement hedonic pricing studies." *International Journal of Geographical Information Science*, 14(6): 521-541.
- Lichtenstein, Mark y Claire Montgomery. 2003. "Biodiversity and timber in the coast range of Oregon: inside the production possibility frontier." *Land Economics*, 79(1): 56-73.
- Moreno, Rosina y Esther Vaya. 2000. *Técnicas econométricas para el tratamiento de los datos espaciales: la econometría espacial*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Nalle, Darek J., Claire A. Montgomery, Jeffrey Arthur, Stephen Polasky y Nathan Schumaker. 2004. "Modeling joint production of wildlife and timber." *Journal of Environmental Economics and Management*, 48(3): 997-1017.
- Povilitis, Anthony. 1998. "Characteristics and conservation of a fragmented population of huemul *Hippocamelus bisulcus* in central Chile." *Biological Conservation*, 86(1): 97-104.
- Povilitis, Anthony. 2002. "El estado actual del huemul (*Hippocamelus bisulcus*) en Chile central." *Gayana*, 66(1): 59-98.
- Saldarriaga, Carlos A., Walter Gómez y Hugo Salgado. 2007. "Cost-effective Species Conservation: an Application to Huemul (*Hippocamelus Bisulcus*) in Chile." *Environment and Development Economics*, 12(4): 535-551.
- Sanchirico, James y James Wilen. 2001. "A Bioeconomic Model of Marine Reserve Creation." *Journal of Environmental Economics and Management*, 42(3): 257-276.