

VALORACIÓN ECONÓMICA DE PASIVOS AMBIENTALES ESTUDIO DE CASO: PASIVOS GENERADOS POR EL CAMPO PETROLERO CICUCO-BOQUETE, MOMPÓS, COLOMBIA

Palabras clave: Pasivos ambientales, campo petrolero Cicuco-Boquete, Isla Mompós, Colombia.

Key Words: Compensation values, oil extraction field Cicuco-Boquete, Mompós Island, Colombia.

Jaime Alberto Moreno G.¹

Jaime Eddy Ussa G.²

RESUMEN

La gestión ambiental exige la incorporación de herramientas económicas para la toma de decisiones, no obstante uno de los aspectos cruciales comprende el establecer los valores de compensación exigibles, bajo parámetros de racionalidad aceptable en la sistémica y en la teoría de la complejidad propia de las relaciones ecosistémicas y de transmisión de impactos, que es donde se configura la definición de pasivo ambiental. El presente estudio pretendió establecer el valor de los daños causados por la actividad petrolera, a lo largo del tiempo, a las poblaciones asentadas en el área de influencia del campo petrolero Cicuco-Boquete, ubicado en la isla de Mompós en el departamento de Bolívar. La investigación consistió en desarrollar y aplicar una metodología para estimar el valor del daño configurado, como resultado de la modificación de las condiciones ambientales del recurso hídrico de soporte en las ciénagas intervenidas, en la alteración del excedente del productor-extractor de recursos pesqueros. Se encontró incidencia directa en la disminución del potencial pesquero, a consecuencia de la actividad petrolera allí desarrollada y afectación irreversible de la principal actividad productiva de las poblaciones allí asentadas.

El estudio fue realizado entre los meses de mayo y diciembre de 1999, con la participación del

Departamento Nacional de Planeación –DNP– y la Contraloría General de la República –CGR–, a solicitud de la Procuraduría Delegada para Asuntos Agrarios y Ambientales y los municipios de Talaigua Nuevo y Cicuco en el Departamento de Bolívar.

ABSTRACT

Environmental management demands the incorporation of economic tools to make decisions. One crucial aspect is to establish the compensation values demandable under parameters of acceptable rationality considering at the same time the systemic and complexity theory of ecosystemic relationships and transmission of impacts, where the definition of environmental passive is configured. This study intended to establish the value of the damage caused in time to human populations established in the influence area of the Cicuco-Boquete oil extraction field, located in Mompós island, department of Bolívar, Colombia. The research included developing and applying a methodology to appraise the value of damages derived from oil extraction activities on the fish production potential on the nearby area. Environmental changes on hydric resources directly impacted the area's fishing potential; consequently, there was an irreversible diminishing on the main productive activity of the region's inhabitants.

1 Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, jmoreno@udistrital.edu.co.

2 Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, jeussag@udistrital.edu.co.

The study was carried out from May to December 1999 by request of the Procuraduría Delegada para Asuntos Agrarios y Ambientales and the municipalities of Talaiga Nuevo and Cicuco in Bolívar's Department, with the participation of the Departamento Nacional de Planeación –DNP– and the Contraloría General de la República –CGR.

INTRODUCCIÓN

Las acciones económicas que incluyen recursos naturales tienen dos aspectos: por una parte crean valor, y por otra enfrentan costos (Field 1995). Para el caso de la extracción de un recurso natural, el costo de oportunidad de producirlo corresponde al máximo valor de los otros productos que se hubiesen obtenido utilizando los mismos recursos naturales involucrados para obtener el recurso referido, o también puede considerarse como el valor de los otros recursos que no se podrían obtener por que dependen de recursos naturales afectados en la extracción del bien en cuestión, por ende, el costo que asume quien no se ve beneficiado por el bien extraído, y que por el contrario se ve perjudicado por la privación de extraer otro bien dependiente de un recurso afectado, por una externalidad del proceso extractivo, puede asumirse como el *costo ambiental* que genera la actividad extractiva. Por supuesto que ésta es una valoración parcial, puesto que involucra tan solo el valor de uso del bien, sin considerar los demás valores inherentes al recurso afectado; así, una parte del pasivo ambiental objeto de la valoración es la pérdida de utilidad que un grupo de la sociedad tiene como resultado de la afectación de un recurso natural de soporte de su actividad económica primordial.

El pasivo ambiental puede entonces definirse como *un costo ambiental causado por la manifestación simple, sinérgica y/o acumulativa de uno o varios impactos ambientales derivado de una actividad específica ligada a un proyecto o una extracción, el cual desencadena externalidades en terceros, diferentes a los receptionadores del beneficio derivado de dicha actividad*. El valor del pasivo ambiental puede ser evaluado a través del valor de uso de un recurso, sea en su utilización de materia directa o como ecosistema de soporte, o a través

del valor de no uso, que se determina por medio del valor de opción o el valor de existencia.

De acuerdo con Pearce (1990), la valoración ambiental más homogeneizada no es otra que la de tipo económico, puesto que conduce a medir en términos monetarios el daño ambiental, permitiendo así estimar la curva de costos medios externos derivados de una actividad y no internalizados a través del manejo ambiental de las externalidades generadas por un proyecto o su operación, aspecto este que configura el pasivo ambiental. La justificación para la valoración monetaria no es otra que usar el dinero como un patrón de medida, que permita indicar las pérdidas de bienestar derivadas de la disponibilidad a pagar o preferencias reveladas de los consumidores a través del precio, esto bajo la premisa central de un modelo neoclásico. El principal atributo del dinero como unidad de medida es que se puede aplicar adecuadamente a los dos aspectos de las externalidades ambientales, tanto los beneficios como los costos, y a su vez refleja las preferencias.

En la cuantificación del pasivo ambiental, las técnicas de valoración de costos ambientales son, para este caso, una herramienta adecuada para valorar el pasivo ambiental causado por un impacto permanente, después de emplazado un proyecto o una infraestructura.

Un productor maximiza su función de utilidad dentro de su restricción tecnológica de producción al generar la mayor cantidad posible de un bien, dado un vector de precios, incluido el del producto, y/o la minimización del costo medio de producción; así, la función de utilidad y por ende de beneficios, está en función del vector de precios de la producción (Varian 1992): $f(p) = \max PY$.

Los cambios generados en la concepción de “desarrollo” durante las últimas décadas del siglo xx y su incidencia en Colombia, al quedar consignado en la constitución política de 1991, condujo a la incorporación del desarrollo sostenible como premisa fundamental de la acción antrópica, que implica asumir los costos ambientales del proceso depredador y degradador en el que se había encaminado el país por más de medio siglo al perseguir

un desarrollo a ultranza, basado en indicadores simplemente económicos de incremento nominal del producto interno bruto, acelerado por el *boom* petrolero azuzado por el modelo de desarrollo industrial imperante en el planeta para ese entonces.

El cambio en el paradigma conlleva modificaciones en el uso de las herramientas económicas basadas en valores revelados en precios, con la consecuente profundización en campos como el de la “economía del bienestar”, de tal manera que se logren establecer metodologías apropiadas para hacer conmensurables, a través de tasaciones monetarias, daños ambientales no internalizados como costos en la función de producción-extracción de bienes primarios como el petróleo; este esfuerzo implica la conceptualización de externalidades y su valoración, como es el caso de los pasivos ambientales, vagamente abordada por la economía. Esto requiere el establecimiento de metodologías de cálculo lo suficientemente consistentes para que basadas en las premisas microeconómicas permitan aproximaciones robustas de la cuantificación monetaria de daños ambientales causados en el tiempo.

Para establecer un valor de uso del pasivo ambiental causado por la explotación petrolera en inmediaciones del campo petrolero Cicuco-Boquete, resultado de una actividad ininterrumpida por más de cincuenta años, se hace necesario inferir información sobre situaciones pasadas, que permitan construir funciones de producción que revelen costos ocultos atribuibles a externalidades causadas, para de éste modo valorar el pasivo a través de la modificación de las funciones de producción de bienes dependientes de un factor ambiental afectado, manifiesto en la variación del costo que revela la incidencia de dicha modificación.

La dependencia existente entre comunidades palafíticas y el ecosistema en el que se encuentran inmersas es total, puesto que de él derivan sus comportamientos culturales, sociales y productivos, así como sus posibilidades de alcanzar niveles de vida aceptables. De lo anterior, es claro que para el caso del área de influencia directa del campo petrolero Cicuco-Boquete toda alteración negativa que sobre el complejo cenagoso se haya desarrollado a lo

largo del tiempo es la responsable de buena parte del deterioro de las condiciones de vida para la población del lugar, consecuencia directa de la condición de ser comunidades netamente “anfibia”. Con esto, no se desconoce que la gran cuenca del Magdalena, dada su amplia cobertura geográfica y la irrigación de zonas por su cauce principal, es una herramienta normal de transmisión de impactos negativos, como la contaminación y acumulación de sedimentos, lo que sumado a otras actividades impactantes negativamente, desencadena efectos sinérgicos altamente perjudiciales.

Dentro de estos impactos, es importante resaltar como perjudicial para la zona la interrupción de la dinámica fluvial entre ciénagas y la función autopurificante que los interfluvios naturales tienen para el complejo hídrico en zonas de baja pendiente, además de su función correctora de torrentes por retención de excesos de agua, o alimentación de la corriente principal en épocas de disminución crítica de caudales. Si a lo anterior se suman incrementos súbitos de vertimientos contaminantes, la desestabilización ecosistémica supera la resiliencia de éste, atentando contra el sostenimiento y perpetuación de las poblaciones palafíticas allí asentadas.

Es entonces el desencadenamiento de impactos negativos sinérgicos –derivado de la actividad petrolera continua– el problema más grave sobre el complejo cenagoso, soporte de las comunidades “anfibia” de los municipios de Cicuco y Talaigua, las cuales, de tiempo atrás, han venido percibiendo el desmejoramiento progresivo de las condiciones para adelantar su actividad productiva, las cuales recaen directamente sobre la función de ingreso familiar y sobre los beneficios de la sociedad; sin mencionar la afectación que en sus condiciones de salubridad han tenido que soportar. No se cuestiona desde ningún punto de vista la realización de la actividad extractiva ya que se trataba, y se trata, de una prioridad estatal, pero sí es cuestionable el manejo que se le da a las externalidades intrínsecas a la actividad en el lugar.

El estudio responde a la búsqueda del desarrollo de metodologías de valoración de pasivos ambientales como instrumento de apoyo para la toma de

decisiones y la gestión sectorial, a través de una cuantificación del impacto por el uso y deterioro de los recursos naturales basados en la metodología de costos inducidos, bajo la técnica denominada de pérdida de productividad. El objetivo consiste en determinar el valor de uso del pasivo ambiental generado por el campo petrolero Cicuco-Boquete sobre la población de pescadores existentes en su área de influencia directa.

MÉTODOS

Con el fin de definir la localización del área de estudio y establecer los cambios sufridos en el complejo cenagoso y sus posibles causas, se recurrió a la cartografía disponible de mayor detalle (escala 1:25.000) y se realizó un análisis aerofotográfico multitemporal, desde 1947 hasta 1993.

El análisis aerofotográfico se distribuyó en dos zonas, uno para el municipio de Cicuco y otro para Talaigua. En el primer caso se trabajaron fotografías de cinco periodos de tiempo diferentes, de los años 1947-1948 a escala aproximada de 1:20.000, del año 1967 a escala 1:25.000, de 1977 a una escala aproximada de 1:28.400, y del año 1993 a escala 1:40.000. Para la segunda área se trabajaron cuatro periodos diferentes, del año 1947 a escala 1:20.000 aproximadamente, del año 1955 a escala aproximada 1:38.000, de 1969 a escala aproximada de 1:30.000, y de 1976 a una escala aproximada 1:57.600

Adicionalmente, para conocer la calidad ambiental actual de los recursos suelo y agua, como información primaria y prueba de auditoría se solicitó a los municipios caracterizaciones de suelo y agua en diez puntos que cubrieran el área de afectación.

INFORMACIÓN SOCIOECONÓMICA

Para establecer las variables socioeconómicas de la región se procedió al levantamiento de información primaria mediante la formulación de una serie de encuestas a una muestra representativa de la población.

Para el análisis de información primaria socioproductiva, se desarrolló un instrumento que corresponde a

una encuesta la cual se aplicó a los pescadores ubicados tanto en la zona afectada por el área de incidencia de la explotación petrolera, corregimientos del municipio de Cicuco –Caño Hondo, El Patico, Puerto Amor y Cabecera Municipal– y Talaigua nuevo –El Vesubio–, como en la zona no afectada representativa en el corregimiento de La Peña, municipio de Cicuco. El objetivo de la encuesta fue conocer el comportamiento de las variables socioeconómicas de las zonas de afectación y no afectación.

La primera parte de la encuesta estuvo dirigida a conocer la actividad económica de las personas que residen en el área de influencia, su calidad de vida y sus ingresos totales. La segunda parte se orientó a cuantificar los costos de obtención directa del producto pesquero mercadeable y de consumo, con esto se pretendió incorporar los costos monetarios de adelantar la labor, como horas del esfuerzo de pesca, los costos fijos (tipo de transporte, duración o depreciación, redes, atarrayas o trasmallos, etc.) y los costos variables involucrados (hielo, neveras, anzuelos, pitas, gasolina, alimentación, etc.), así como la inversión no monetaria de los pescadores para desarrollar dicha pesca. La descripción del producto obtenido significa establecer la talla y el peso del producto pesquero, las especies y las cantidades de cada uno de ellos, las formas de comercialización y los precios de mercado que manejan.

La última parte pretendió establecer la afectación a la fauna representada por la pérdida de especímenes según densidad, con la consecuente disminución de ingreso generada a la comunidad de pescadores. Otra parte permitió conocer la afectación que el deterioro ambiental ha generado sobre la salud tanto del pescador como de su familia.

Inicialmente se practicaron 400 encuestas de las cuales sólo se incluyeron para el análisis 276, de las que pertenecen a la zona no afectada 72 y 204 a la afectada. Las restantes fueron excluidas por distintas razones, en algunos casos por inconsistencia en la información, en otras por la dedicación a la actividad pesquera, que resultaba ser extremadamente esporádica, y en otros casos por lo incompleto de la información suministrada.

LEVANTAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Lamentablemente, se carece de una línea base completa que permita identificar con claridad los niveles de deterioro de las condiciones ecosistémicas; no obstante, con el resultado del estudio multitemporal de la fotointerpretación, de las caracterizaciones de lodos y aguas y el concepto generado en la visita de campo se determinó hacer un análisis que permitiera establecer la dinámica de las variables socioeconómicas tanto del área afectada como de la no afectada, para así poder establecer la relación existente entre el deterioro de la calidad ambiental y el comportamiento de estas variables. Por lo anterior, se procedió a adoptar como metodología un análisis de corte transversal y posteriormente uno longitudinal.

CÁLCULO DEL EXCEDENTE DEL PRODUCTOR

La evaluación de la función de producción con respecto al costo, entre el costo medio mínimo (costo de no producción, igual a cero) y el costo máximo aceptable (costo medio = ingreso marginal) para una cantidad Q de extracción, representa el valor del excedente del productor percibido por el extractor del recurso. Se expresa según la ecuación 1 como:

$$EP = C(Q) - C(0) = \int_0^{C(Q)} c'(Q) dx$$

Ecuación 1.

Considerando la función de costos bajo el teorema envolvente:

$$EP = C(Q) - C(0) = \int_0^{C(Q)} c'(Q) dx$$

Ecuación 1 (transformada).

Así, para una cantidad Q , éste es el excedente del productor EP ; otra forma de ver el mismo cálculo es presentada en la ecuación 2:

$$EP(Q(\phi)) = P * Q(\phi) - CM * Q(\phi)$$

Ecuación 2.

PÉRDIDA DEL EXCEDENTE DEL PRODUCTOR

La pérdida del excedente del productor, como resultado de la afectación de un ecosistema, puede entonces calcularse como la diferencia que se obtiene entre los excedentes del productor que extrae el recurso de áreas con ecosistema de soporte no afectado y el que realiza la actividad en áreas con afectación, lo anterior bajo la premisa de que existen factores independientes al costo que inciden en la cantidad producida, o mejor en la posibilidad de captura. El valor de uso de un recurso natural afectado, que es una parte del pasivo ambiental generado por la actividad causante del impacto, pasa entonces a estar cuantificado por el costo incremental de producción, que diferencia los valores del excedente del productor en cada uno de los sitios.

Entonces, el costo ambiental (CA) desencadenado por la extracción del recurso natural no renovable sobre el recurso natural renovable, objeto de aprovechamiento, puede ser calculado como la diferencia en los excedentes del productor (EP), por tanto:

$$CA = EP(\text{zona no afectada}) - EP(\text{zona afectada})$$

Ecuación 3.

VALOR DEL PASIVO AMBIENTAL

Para adelantar la estimación del valor del pasivo ambiental se hace un análisis estático que permita comparar con facilidad las circunstancias bajo las cuales se desarrolla la actividad extractiva; como dijimos, el pasivo ambiental es un costo ambiental no internalizado y configurado a lo largo del tiempo, por lo que su cálculo debe involucrar la agregación de la pérdida a lo largo del tiempo, de tal forma que el valor del pasivo VP_t puede calcularse como la sumatoria de los costos ambientales CA para todos los productores N desde el año $i = \text{cero}$ hasta el año n , así:

$$VP_t = \sum_{i=0}^{Nn} CA_i$$

Ecuación 4.

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LA CALIDAD AMBIENTAL

Para realizar la valoración económica existen métodos que se distribuyen, según lo expuesto por Azqueta (1994), en indirectos u observables y en métodos directos o hipotéticos. Los métodos indirectos u observables analizan la conducta de la persona tratando de inferir, a partir de la observación, la valoración implícita que le otorga al bien objeto de estudio. Dentro de este grupo se encuentra el método de costos evitados o inducidos, el método del costo de viaje y el método de los precios hedónicos. Los métodos directos o hipotéticos buscan sencillamente que la persona revele directamente esta valoración mediante encuestas, cuestionarios, votaciones, etc. En términos amplios pertenece a este método el de valoración contingente en sus diversas modalidades. En los métodos indirectos se recurre a mercados simulados, con el fin de dar precio a bienes que no cuentan con un mercado establecido y presentan unas condiciones particulares de existencia y consumo; por tanto, se consolida el precio a través de los costos relacionados (Mitchell & Carson 1989).

Los métodos directos establecen un valor hipotético para bienes adimensionales, basado en el concepto de las personas que hacen uso de él o derivan beneficio económico de la extracción directa de los mismos, para lo cual se identifican los factores determinantes que permitan la consolidación de dicho valor (Freeman 1993). Debido al hecho de que los bienes y servicios ambientales de soporte ecosistémico para recursos aprovechables no cuentan con un mercado plenamente establecido que le asigne un valor, es necesario recurrir al valor de uso, que sería detectable si se analiza el cambio producido en la función de oferta del recurso natural comercializable asociado a su condición de existencia. El método de los costes evitados o inducidos, como método indirecto de valoración, se basa en la función expresada por el teorema de la envolvente de la función de producción (Varian 1992), dada la relación existente entre los bienes resultado del vector de precios involucrado en la función normal de producción y el bien exógeno no dependiente del precio que incide en la cantidad disponible para la

extracción del recurso natural renovable objeto de comercialización.

VALORACIÓN ECONÓMICA

En la práctica, la oferta agregada es el resultado de agregar ofertas individuales, donde, dado el costo medio de producción individual de los extractores del recurso natural renovable, se configura a diferentes escalas de producción y disponibilidades del recurso la oferta agregada para el sitio del bien objeto de comercialización. La oferta se obtiene como:

$$OO_A \therefore QT = \sum_{i=1}^n Q \cong \sum_{i=1}^n f(P, Y)$$

Ecuación 5.

Consolidado el costo medio de producción que cada extractor tiene para el desarrollo de la actividad, la diferencia entre el costo medio (CM) y el precio de venta ponderado por distribución de las especies de peces capturadas (Pp) cuantifica el excedente del productor (W) al ser amplificado por el volumen total de captura (Q); la cantidad estará en función de los costos que recogen el esfuerzo de pesca y la tecnología, y de variables independientes que reflejan la calidad ambiental del sitio donde se desarrolla la actividad. La ecuación de cálculo es:

$$W = (Pp - CM) * Q(CM, H)$$

Ecuación 6.

Se van a obtener dos valores perfectamente diferenciables, los excedentes del productor en zonas afectadas por contaminación de hidrocarburos (W_1), y los excedentes obtenibles en áreas no afectadas (W_0). En cada una de las situaciones existe un nivel medio estimado de producción, calculado en función de las variables independientes (medias estadísticas) del costo medio (CM) y los niveles de hidrocarburos polinucleares detectados, calculados a través de la función de producción con estimadores de máxima verosimilitud para variables no lineales, calculados bajo el modelo Box-Cox con transformación idéntica de las variables dependientes e independientes.

$$\hat{Q}_1 = C + B_1 \overline{CM}_1 + B_2 \overline{H}_1 \text{ y}$$

$$\hat{Q}_0 = C_1 B_1 \overline{CM}_0 + B \overline{H}_0$$

Ecuación 7.

Cada uno de los excedentes, por unidad de producción, amplificado por el promedio de captura en una unidad de tiempo determinada, establece el excedente del productor durante ese período, así:

$$\hat{W}_1 / t = W_1 / \text{Uni} * \hat{Q}_1 * \text{Mes} \text{ y}$$

$$\hat{W}_0 / t = W_0 / \text{Uni} * \hat{Q}_0 * \text{Mes}$$

Ecuación 8.

El valor del excedente del productor para cada una de las dos zonas, afectada o no afectada, será igual al resultado de amplificar el excedente estimado durante un periodo de tiempo para un productor de esa zona, por el número de productores (Pob) que allí desarrollan esa actividad. Este valor así calculado representa el excedente del productor para la oferta zonal de pescados, entonces:

$$\hat{W}Z_1 = \hat{W}_{1t} * \text{Productores } Z_1 \text{ y}$$

$$\hat{W}Z_0 = \hat{W}_{0t} * \text{Productores } Z_0$$

Ecuación 9.

La diferencia entre el excedente de un productor tipo estimado para la zona no afectada (wz_1) y dicho excedente estimado para un productor tipo en la zona afectada (wz_0) cuantifica el valor estimado de la pérdida del excedente de un productor en un período de tiempo determinado, como acción de la contaminación residual producto de la explotación de petróleo. Entonces:

$$\Delta \hat{W} = \hat{W}Z_1 - \hat{W}Z_0$$

Ecuación 10.

El valor estimado de pérdida del excedente para un productor que desarrolla la actividad en zona

afectada ($\Delta \hat{W}$), amplificado por la población asentada en la área de influencia de la contaminación (Pa) que se dedica a la pesca (%Pp), cuantifica la pérdida de ingreso para un conglomerado específico de productores (PI); por lo tanto, la pérdida para el período de tiempo de cálculo es:

$$P_1 = \Delta \hat{W} * \%Pp * P_a$$

Ecuación 11.

MODELOS DE REGRESIÓN NO LINEALES

El desarrollo de modelos que son intrínsecamente no lineales en los parámetros, ya que sus condiciones de primer orden para la estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) resultan ser no lineales, exige modelaciones más elaboradas que las que se abordan en modelos lineales bajo MCO, puesto que, no obstante la flexibilidad que ofrecen, no permiten estimar otras formas funcionales más útiles que sí recogen otros modelos transformados y que mantienen la sencillez en la especificación, como es el caso de los modelos Box-Cox.

De acuerdo con modelaciones desarrolladas por Zellner & Revankar (1970), en un estudio de oferta propusieron la generalización de la función de producción Cobb-Douglas, o con la modelación de costes directamente con una forma funcional flexible como los translogarítmicos, modelo que permite que las economías de escala varíen con el output:

$$\ln y + \theta y = \ln \delta + \alpha(1 + \sigma) \ln K + \alpha \delta \ln L + E$$

Ecuación 12.

Con la dificultad de que en la parte derecha del modelo manifiesta comportamientos intrínsecamente lineales y el modelo en su conjunto es intrínsecamente no lineal dada la transformación paramétrica de y que aparece en la parte izquierda de la ecuación que representa el modelo. Como posibilidad operativa para solucionar el problema de no linealidad se trabaja con el modelo Box-Cox reportado por Greene (1999), que desarrolla transformaciones de tipo:

$$X^{(\lambda)} = \frac{X^\lambda - 1}{\lambda}$$

Ecuación 13.

Donde, en un modelo de regresión, el análisis se haría condicionado (Greene 1999); así, para un determinado valor de λ , el modelo corresponde a :

$$Y = \infty + \sum_{i=1}^n B_K X_K^{(\lambda)} + \varepsilon$$

Ecuación 14.

En la mayoría de las aplicaciones se considera λ igual para todas los parametros del modelo, adicionando mayores niveles de ajuste si se desarrolla la transformación igualmente sobre la variable y por $y^{(\theta)}$. Caves, en 1980 (citado por Greene 1999), en un caso de función de costes flexibles, encontró que muestras que involucran productores indiscriminados, con observaciones de producción cero, imposibilitan el uso de los translogarítmicos (implicaría el logaritmo de cero), razón por la cual, como alternativa, recurrió a la transformación de las variables con el Box-Cox, que se puede evaluar para producción cero, con la restricción de que $0^{(\lambda)}$ sólo está definido si λ es estrictamente positivo. Debe realizarse el análisis de la practicidad, más que del artificio matemático, que permita establecer si será que producciones nulas deben tratarse igual que producciones distintas a cero, o si cero representa una decisión discreta de producción.

La transformación del modelo se desarrolla bajo la generalización inmediata de:

$$Y^\theta = \infty + \sum_{K=1}^K B_K X_K^{(\lambda)} + \varepsilon$$

Ecuación 15.

Por lo que en la ecuación tenemos:

$$Y^{(\theta)} = \beta X^{1(\lambda)} + \varepsilon$$

Ecuación 16.

Permitir que θ difiera de λ se considera complicar más de lo necesario el modelo. El coste computacional aumenta mucho con el nivel de generalidad, por lo que asumiremos que son iguales. Si $\varepsilon \sim N[0, \sigma^2]$, el logaritmo de la función de verosimilitud para una muestra de n observaciones es:

$$\ln L = -\frac{n}{2} \ln 2\pi - \frac{n}{2} \ln \delta^2 - \frac{1}{2\delta^2} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$$

Ecuación 17.

Transformando la distribución de ε para obtener la de y , utilizamos el resultado de cambio de variable:

$$f_y(y) = \left| \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right| f_\varepsilon(y); \text{ en términos matemáticos}$$

$$\varepsilon = y^{(\lambda)} - x^{(\lambda)} \beta$$

Ecuación 18.

Por tanto el jacobiano es:

$$\left| \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right| = y^{(\lambda-1)}$$

Ecuación 19.

El valor de λ surge del proceso de iteración en parrilla unidimensional, donde λ se estima en el rango de -1 a 1 , se examinan las desviaciones al cuadrado para un λ determinado, donde el valor óptimo será el valor que concentre la mínima desviación al cuadrado. Es importante aclarar que los coeficientes en un modelo no lineal no son iguales a las pendientes con respecto a las variables. Cuando se transforma y , las estimaciones por máxima verosimilitud de λ y σ^2 están positivamente correlacionadas, ya que ambos parámetros reflejan la escala de la variable dependiente del modelo.

El modelo Box-Cox a regresionar con el Limdep corresponde a la cantidad de producción Q , extracción del recurso natural renovable, obtenida dadas

unas condiciones de costos CM , dedicación a la actividad HJ , presencia de contaminantes residuales de hidrocarburos H , presencia de contaminantes en los cuerpos de agua como grasas y aceites GA , y número de ciénagas donde se desarrolla la actividad de pesca C , entre otros. Basados en el modelo (ecuación 13), la ecuación obtenida es:

$$QT = \frac{Q^\lambda - 1}{2} \quad Q\text{-Variable dependiente y}$$

$$VT = \frac{V^\lambda - 1}{2} \quad V\text{-Variable Independiente}$$

Ecuación 20.

$$\frac{Q^\lambda - 1}{2} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{CM^\lambda - 1}{\lambda} \right) + \beta_2 \left(\frac{HJ^\lambda - 1}{\lambda} \right) +$$

$$\frac{Q^\lambda - 1}{2} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{CM^\lambda - 1}{\lambda} \right) + \beta_2 \left(\frac{HJ^\lambda - 1}{\lambda} \right) +$$

Ecuación 21.

PROCESO DE MODELACIÓN

Para el análisis de corte transversal se utilizó un modelo de Estimación de Máxima Verosimilitud (MV) consistente en estimar los parámetros desconocidos de tal manera que la probabilidad de observar los Y dados sea la más alta posible (o máxima) con propiedades más fuertes que las de MCO (Gujarati 1997). Por tanto, el ajuste que se busca con el modelo está determinado por la máxima convergencia de la estimación. Dado que el modelo a desarrollar (función de oferta) es intrínsecamente no lineal en los parámetros, exige modelaciones más elaboradas que las que se abordan en modelos lineales, que sí recogen otros modelos transformados como es el caso de los modelos Box-Cox.

Una vez definidas y tabuladas las variables se inició el proceso de modelación en el cual se plantearon diferentes alternativas, hasta llegar a seleccionar la que más convergencia y mayor probabilidad de predicción presentó. La forma funcional del modelo está dada por:

$$\hat{Q}_1 = C + B_1 \overline{CM}_1 + B_2 \overline{H}_1$$

En donde C es una constante, $\hat{Q}$ representa el estimado de las cantidades capturadas, $\overline{CM}$ corresponde al Costo Medio, y $\overline{H}$ introduce los hidrocarburos como variable ambiental de afectación. Dado que en el modelo deregresión se hacía necesario incluir una variable ambiental que permitiera correlacionar la afectación en la variable dependiente (producción) con la calidad ambiental de las zonas de estudio (variable independiente), se tuvieron en cuenta los valores reportados en las caracterizaciones de lodos y aguas del laboratorio Ecoquímica.

VARIABLE AMBIENTAL

Sin desconocer que la problemática de deterioro ambiental que arrastra consigo el río Magdalena, al llegar a la depresión momposina, influye en la pérdida de calidad medioambiental del área de influencia del campo petrolero Cicuco-Boquete, es posible lograr una desagregación de los parámetros reportados en las caracterizaciones que muestren el aporte de la contaminación proveniente de la cuenca de aquellos que evidencian lo aportado directamente por la actividad petrolera. Los parámetros escogidos para el recurso agua fueron grasas y aceites. Aunque este parámetro no permite asegurar por completo el origen petrogénico de los compuestos, se tomó por cuanto los resultados de las caracterizaciones no determinaron la presencia de fenoles ni HAPN (Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares); sin embargo, la inspección visual de la zona permitió constatar que en los sitios donde se realizó la toma de muestras grandes manchas de aceite cubrían la superficie del agua y, en la mayoría de sitios, había un burbujeo permanente de fracciones de crudo que al llegar a la superficie formaban dichas manchas.

En el caso de los fenoles, debido a su relativa volatilidad y solubilidad por la acción de la hidrodinámica de la zona, que produce un arrastre y dilución de los mismos, su presencia no es determinada por los análisis realizados a las muestras de agua. La

presencia de los HAPN se evidencia principalmente en los suelos, ya sea por derrames de crudo o vertimientos aceitosos que ocurren en épocas de estiaje o por la decantación de estas fracciones pesadas, con lo que su persistencia sólo es posible determinarla en ellos, razón por la cual se escogió este parámetro para ver la afectación del suelo.

Estos dos parámetros se refuerzan sinérgicamente, produciendo un deterioro en la calidad medioambiental del ecosistema cenagoso que afecta de manera notoria su productividad y, por extensión, disminuye las posibilidades de producción o de captura de los pescadores, o bien aumenta los costos de captura por efecto del cambio de los sitios habituales de pesca a otros más distantes, lo que significa aumentos en las horas de jornada y aumento de insumos (comida, hielo), entre otros; de igual forma, la presión sobre el recurso ocasiona que no se respeten tallas mínimas de pesca, lo que origina una disminución del precio de venta y de la conservación de las diferentes poblaciones. El resultado final de esta serie de posibles efectos es la reducción drástica en el excedente de los productores de la zona afectada.

Sin embargo, para poder ser incluida esta variable en el modelo de regresión, era necesario identificar los lugares en donde cada pescador realiza sus habituales faenas de pesca, según lo reportado en las encuestas realizadas, con el fin de poder asignar un valor a cada pescador encuestado, de acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio de agua y lodos adelantado por la empresa Ecoquimia.

Para tal efecto, aprovechando la conceptualización metodológica de los Polígonos de Thiessen, y con el propósito de delimitar la irradiación de estos puntos a lo largo del complejo cenagoso, se procedió a realizar una triangulación de los puntos de muestreo en los municipios de Cicuco y Talaigua Nuevo; a los ángulos resultantes se les trazaron las bisectrices y desde el punto de unión de éstas se proyectaron las perpendiculares a los catetos de los triángulos quedando delimitadas siete (7) zonas afectadas, versus la zona considerada como testigo de no afectación.

Zona 1: Irradiación del primer punto de muestreo, ubicado en el pozo Boquete 8. Comprende la zona urbana del caserío El Vesubio y algunas ciénagas y caños adyacentes. El valor de grasas y aceites (G) corresponde a 70 mg/l y de HAPN es de 7.086.92 mg/l.

Zona 2: Irradiación del segundo punto de muestreo en el pozo Boquete 14, presenta valores de 5 para G y 1.892.19 para HAPN. De acuerdo con la metodología, es el área con menor influencia.

Zona 3: Irradiación del punto tres, ubicado en la Batería Boquete, tiene importantes sitios de pesca como las ciénagas El Pital, Los Rastrojos y Los Pisingos; el valor para G es de 5 y para HAPN es de 389.51.

Zona 4: Irradiación desde el punto seis de muestreo en el pozo Cicuco 18, cerca de la ciénaga de Las Tortugas o Remolinos, presenta la mayor área de afectación y se ubican ciénagas de importancia como Veladero, Guacamayas o El Medio y Caño Hondo. Los valores asignados fueron 7.5 para G y 1.08 para HAPN.

Zona 5: Irradiación a partir del punto siete de muestreo, en la ciénaga Los Ponches, abarca, además de esta ciénaga, parte de la ciénaga Remolinos, parte del brazo Chicagua, la ciénaga Pajalar, el caño Cicuco o Violo y el corregimiento de Punta Cartagena. Se le asignó valores de 7.5 para G y de 2.19 para HAPN.

Zona 6: Irradiación a partir del punto nueve de muestreo, ubicado en el antiguo vertimiento de El Mechón; comprende la ciénaga El Mechón, el casco urbano del corregimiento El Limón y las instalaciones de la infraestructura del campo petrolero. Presenta valores de 10 para G y de 5.58 para HAPN.

Zona 7: A partir del punto 10 de muestreo, en la ciénaga La Borda, con valores de 10 para G y de 407.48 para HAPN.

Zona no afectada: Ubicada en los alrededores del corregimiento de La Peña, jurisdicción del municipio de Cicuco, norte de la isla. En esta área existen importantes sitios de pesca como las ciénagas Chicagua, Lavadero, Guarapo, Caño Larga y el Brazo de Loba, entre otros. Se tomó, únicamente, el parámetro de grasas y aceites (G) con un valor de 2, dato obtenido 100 metros arriba del punto de vertimiento de aguas residuales industriales, en el caño Chicagua.

Estimadas las variables explicativas del modelo, se calculó el excedente del productor tanto de la zona afectada como de la no afectada, para lo cual se utilizó el precio ponderado del pescado calculado a partir de la información reportada por las encuestas.

PRECIO PONDERADO

Esta variable se tomó como límite máximo de costos medios para estimar el excedente del productor maximizador del beneficio. Para tal efecto se calculó un precio ponderado que recoge la participación del precio de venta de cada una de las especies capturadas. El factor de ponderación fue el volumen por especie capturada que reportó cada pescador. Una vez obtenido este factor se aplicó al precio de venta que los encuestados informaron por cada unidad de especie vendida, para finalmente conformar el precio ponderado con la sumatoria resultante.

ANÁLISIS LONGITUDINAL

Identificadas las variables explicativas del modelo, se procedió a hacer el análisis regresivo para especificar los resultados derivados de la acción petrolera y así proceder a valorar dentro del modelo los aspectos deteriorados. Puesto que el resultado del análisis de corte transversal condujo a establecer el comportamiento prototipo de afectación (pérdida del excedente del productor) en la zona afectada, para el cálculo regresivo desde el inicio de la explotación petrolera en la zona se hizo necesario contar con información relacionada a la población que se dedica a la actividad pesquera, para lo que se realizaron las proyecciones respectivas.

POBLACIÓN DEDICADA A LA ACTIVIDAD PESQUERA

Las proyecciones de la población de cada municipio se realizaron con base en la información reportada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística —DANE— en los censos de Mayo 9 de 1951, Junio 15 de 1964, Octubre 30 de 1973, Octubre 15 de 1985 y Octubre 24 de 1993 (Tabla 1).

Tabla 1. Proyecciones poblacionales.

Censo	Mompós	Talaiga Nuevo	Cicuco
09 Mayo-51	24.848*		
15 Junio-64	38.126*		
30 Octubre-73	24.086**	15.802**	
15 Octubre-85	34.763*	20.582*	
24 Octubre-93	38.261*	21.446*	
1998		15.565***	9.991****

* Censos de población DANE.

** SISMUN.

*** Diagnóstico agropecuario Municipal 1998, Talaigua.

**** Censo centro de salud Cicuco 1998.

El registro base para realizar las proyecciones en el período 1955-1984 fue la población del municipio de Mompós, puesto que hasta el año del último censo considerado Talaigua Nuevo y Cicuco pertenecieron a ese municipio. A este valor se le aplicó el porcentaje de ponderación del registro de población para Talaigua Nuevo, como segunda ciudad en importancia de Mompós, que reportó el SISMUN (Sistema de Información Municipal), el cual para 1973 correspondió al 39.62% del total. Posteriormente, en el año de 1994, Cicuco se constituye en municipio y el factor de ponderación se calcula con base en la población reportada en el Diagnóstico Agropecuario Municipal 1998-2000 del municipio de Talaigua Nuevo y el censo del centro de salud de Cicuco de 1998, con un equivalente al 39.09% del total de la población. La tasa intercensal se proyectó bajo el método de crecimiento logarítmico para estimar la cantidad $P_t = P_0 e^{gt}$; $\ln P_t = \ln P_0 + gt$; $g = (\ln P_t / \ln P_0) * t$, en donde e es la base de los números naturales, P_t la población del último censo, P_0 la población del censo anterior, y g es la tasa de crecimiento (Tabla 2).

Tabla 2. Tasa Intercensal.

Período	Tasa
51-64 Mompós	0.032932
51-64 Mompós	0.032932
64-73 Mompós	0.005020
73-85 Talaigua Nuevo	0.02202337
85-93 Talaigua Nuevo	0.00514016

Una vez obtenida la población proyectada por municipio, se calculó el porcentaje de la población que ha visto afectado su bienestar por la degradación del recurso pesquero, el cual recae directamente sobre la población económicamente activa (PEA) que se dedica a la actividad pesquera y que está ubicada en la zona de influencia del campo petrolero Cicuco-Boquete. Debido a que las características hídricas y morfológicas de los dos municipios son muy similares, teniendo en cuenta que la dinámica y el comportamiento del plano inundable en esta área de la depresión momposina determinan el tipo de actividad o explotación de los suelos, se ha considerado para los dos municipios el dato que reporta el municipio de Talaigua Nuevo en el Diagnóstico Agropecuario Municipal 1998-2000, donde se establece que en promedio el 63.4% de la población se dedica a esta actividad.

En este orden de ideas y teniendo en cuenta que en el municipio de Cicuco existe un corregimiento que no está siendo afectado por el campo de producción se deben descontar, del total de la población (9.991 habitantes), las 1.022 personas reportadas para este corregimiento, que corresponden al 11% del total de habitantes.

RESULTADOS

ANÁLISIS DE CORTE TRANSVERSAL

Para la zona de los corregimientos de El Limón y Punta Cartagena (Municipio de Cicuco), en la observación situacional de 1947 se observan los ríos, caños y quebradas cercanas al corregimiento de El Limón con cauces bien definidos, en especial el caño Las Piñas; las ciénagas Los Ponches y El Mechón

se distinguen con claridad, al igual que la ciénaga La Borda, con la salvedad de que su espejo de agua es más pequeño que en la actualidad. La cobertura predominante de los suelos era bosques de galería y la presencia de cultivos mínima. Para el año 1967 se visualizan construcciones de lo que hoy es el complejo petrolero, con algunas de sus vías, el bosque de galería se ve disminuido, la pista de aterrizaje ha modificado el cauce de algunos riachuelos y caños, y es clara la disminución del espejo de agua de las ciénagas de El Mechón y Los Ponches.

En la fotografía tomada en enero de 1977, a escala aproximada de 1:28.400, se comienza a divisar la desecación de algunos cuerpos de agua existentes, causada probablemente por la carencia de obras de interconexión hidráulica durante la construcción de la infraestructura vial de la región. Además, presenta cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal, con la ampliación de la frontera agrícola en las inmediaciones de los corregimientos de El Limón y Punta Cartagena, así como la disminución del bosque de galería que se encontraba en los límites de las ciénagas El Mechón y Los Ponches.

Para el año de 1993 buena parte de los interfluvios que se apreciaban en las primeras fotografías han desaparecido en su totalidad y otros acortan su longitud; además, las ciénagas continúan disminuyendo su espejo de agua, con una progresión severa en la disminución del área en bosques de galería, a costa del incremento en áreas de cultivos y pastos. Adicionalmente, en inmediaciones de estos dos corregimientos, hoy cabecera municipal de Cicuco, sobre la margen izquierda del brazo Chicagua, se observa que esta zona del complejo cenagoso no ha sufrido ningún tipo de transformación o deterioro significativo, lo cual se pudo constatar durante la visita de campo realizada.

Para la zona de El Vesubio en el municipio de Talaigua Nuevo, las fotografías de 1947 muestran con claridad el caño Los Rastrojos y sus efluentes, en la parte inferior las ciénagas de El Roble y Los Pisingos se encuentran inundadas; para el año 1955, se observa con claridad la ciénaga de Los Rastrojos, los caños Campanal y Los Pisingos, evidenciándose lo cenagosa del área, con poca o nula intervención

humana y ocupación dominante de bosques de galería y pastos. En 1969 aparecieron las primeras modificaciones que ha sufrido la zona, con la construcción de vías y del complejo industrial petrolero el bosque de galería comienza a disminuir y a interrumpirse su continuidad, conformándose relictos, y las ciénagas continúan guardando sus proporciones. En las fotografías para el año 1976, si bien no es clara la secuencia de las líneas de interfluvios de los caños y riachuelos, es claramente identificable la red de vías tanto principales como secundarias de acceso a los campos petroleros.

El análisis aerofotográfico, en conclusión, permitió identificar que existe un área que está siendo afectada directamente por la infraestructura del campo petrolero Cicuco-Boquete (pozos, baterías, carretables, etc.), al sur del caño Chicagua, en tanto que al norte del mismo se diferencia otra área que pertenece a este complejo cenagoso y que no se ve afectada por la infraestructura del campo gracias a la capacidad que tiene el caño, por su permanente y fuerte caudal, de arrastrar el contaminante y conducirlo directamente al río Magdalena sin afectar las ciénagas de la zona norte de la isla.

CARACTERIZACIONES DE AGUAS Y LODOS

Los análisis de las caracterizaciones de aguas y lodos se realizaron en el laboratorio Ecoquimia, reportado como autorizado por el IDEAM para adelantar estos análisis. Se llevaron a cabo diez (10) análisis de aguas y once (11) de suelos, de once (11) sitios como se consigna en la Tabla 3. En los resultados de los análisis de aguas no se detecta la presencia de HAPN, debido a la hidrodinámica de la zona; sin embargo, los valores de concentración de estas sustancias en los análisis de lodos hace pensar que posiblemente se presente un grado importante de persistencia por ser el suelo su elemento natural de retención y depósito, y porque muchos de los derrames ocurrieron en época de estiaje. Un parámetro que evidencia la contaminación lo constituye la elevada concentración de grasas y aceites (entre 5 y 10 mg/L), registradas en los diez puntos de muestreo, que sobrepasan, de 500 a 1000 veces, los límites permisibles para la concentración letal (CL) media, $CL = 0.01$ mg/L.

Tabla 3. Sitios de muestreo para el análisis de aguas y lodos.

Punto	Agua	Suelo
1	Pozo Boquete 8	Pozo Boquete 8
2	Boquete 14	Boquete 14
3	Batería Boquete	Batería Boquete
4	Línea de Conexión Boquete 10	Línea de Conexión Boquete 10
5	Irradiación Boquete 10	
6	Cicuco 18 Las Tortugas	Cicuco 18 Las Tortugas
7	Los ponches	
8	El Mechón	El Mechón
9	Antiguo vertimiento El Mechón	Antiguo vertimiento El Mechón
10	Ciénaga La Borda Oriental	Ciénaga La Borda Oriental
11		Ciénaga La Borda Occidental

Fuente: Resultados análisis de laboratorio Ecoquimia (1999).

Los valores obtenidos para los diferentes parámetros analizados en cada uno de los puntos escogidos para el muestreo indican que no se detecta la presencia significativa de residuos de contaminantes, provenientes de los derrames ocurridos, por una parte porque se aplicaron las medidas de contingencia correspondientes, retirando gran cantidad del crudo derramado, y por otra debido al efecto de dilución y lavado que la hidrodinámica de la zona lleva a cabo. Los dos parámetros que sobrepasan valores permisibles son los de conductividad, grasas y aceites. El primero debido al arrastre de iones PO_4^- , SO_4^- , NO_3^- , y el otro por el origen petrogénico y biogénico de residuos aceitosos, estos últimos producidos en los procesos de descomposición de material orgánico y de vertimientos de otras actividades antrópicas diferentes a la actividad petrolera.

En el caso de los resultados de suelos, los altos valores en la concentración de HAPN en los puntos 1, 2, 3 y 4 pueden considerarse como casos puntuales de contaminación, debido a que las muestras fueron tomadas a distancias no mayores a 30 m de las bocatomas de los pozos, donde es factible obtener dichas cifras. Aunque, debe tenerse cuidado con el antraceno, criseno, fenantreno y pireno, sustancias encontradas en estos puntos y clasificadas de acuerdo con la Environmental Protection Agency –EPA–, de los Estados Unidos, como sustancias lipofílicas

y altamente lipofílicas, con un coeficiente de partición (Kow) mayor de 3, lo que da indicios de su gran movilidad a través del suelo y de mayores probabilidades de distribución en la biota o de acumulación en los seres vivos.

Los resultados de la caracterización de aguas y lodos, realizados por Ecoquimia, así como las pruebas documentales, fotográficas, filmicas y testimoniales sobre los derrames ocurridos en la zona de influencia del campo Cicuco-Boquete, permiten asegurar que éstos han causado impactos negativos sobre el ecosistema, cuyo mayor grado de afectación se da de manera temporal (6 meses) y en áreas de pequeña o mediana extensión (entre 1 y 2 ha), principalmente por contaminación de agua y suelos y afectación a la flora y fauna acuática.

Los efectos sobre las condiciones de los ecosistemas ha obligado a que las especies de fauna acuática (especialmente piscícolas) abandonen su hábitat natural, las ciénagas, para llevar a cabo sus fases de crecimiento y maduración en otras que les ofrezcan condiciones favorables, con la consecuente disminución de la productividad en estos cuerpos de agua, lo que origina problemas de orden socioeconómico en la región, primordialmente entre las comunidades de pescadores que ven disminuido su ingreso.

El análisis de la información obtenida permitió establecer que en la zona afectada el 59% de los encuestados es mayor de 35 años y en la zona no afectada el 54%. Los menores de edad tienen el menor porcentaje de dedicación de tiempo a la actividad pesquera con el 1.24% del total general, siendo más alto en La Peña con el 4.05%. Más del 70% de pescadores encuestados presenta algún grado de educación, sin embargo, cerca del 85% manifiestan no haber recibido ningún tipo de capacitación en el área ambiental. En cuanto a la calidad de vida de la población se puede observar que es superior en la zona de no afectación que en la zona afectada, puesto que el 50% del total presenta hacinamiento en ésta frente a un 36% de la zona no afectada. Con relación a la cobertura de servicios públicos el porcentaje de cubrimiento se sitúa, en ambos escenarios, en cerca del 66% para

viviendas que cuentan con agua y luz. Ninguno de los corregimientos posee servicio de alcantarillado, recolección ni tratamiento de basuras.

La actividad económica predominante en la zona de no afectación es la pesca, con un 74% de la población dedicada exclusivamente a esta actividad. En el otro escenario, solamente el 42% de los encuestados se dedican a esta actividad en forma permanente, teniendo que complementar sus ingresos monetarios con otra actividad económica. Así, el 78% de la población, en la zona afectada, percibe ingresos totales, provenientes de la actividad pesquera, inferiores a un salario mínimo mensual (SMM) y el 21% entre 1 y 3 SMM, y en la zona no afectada, el 42% percibe entre 1 y 3 SMM y el 26% supera los 3 SMM. Con relación a la jornada de pesca, se pudo establecer que en el corregimiento de La Peña el 55% de la población dedica a la actividad entre 8 y 16 horas, en tanto que en la zona de afectación el 61%; alternativamente el 31% utiliza entre 17 y 24 horas en la zona afectada y el 27% en la otra zona.

En cuanto a la conformación de la estructura de costos de producción, es marcada la diferencia entre el costo medio de la zona afectada y la no afectada. En la primera la mediana de los costos representa \$212 por unidad en tanto que en la segunda \$83.5/ unidad (pesos corrientes de 1999). Esta diferencia se explica por las capturas que realizan mensualmente los pescadores de cada zona, así, en la zona afectada la mediana de capturas equivalía, para el año del estudio, a 864 unidades/mes en tanto que en la no afectada a 1934 unidades/mes.

Una vez tabulada la información, mediante comparaciones se establecieron las diferencias existentes entre lo que sucede al interior del área de incidencia ambiental directa de la explotación de hidrocarburos con respecto a las áreas con características ecosistémicas y morfodinámicas similares, no afectadas por la presión petrolera. Posteriormente se seleccionaron las variables que permitirían cuantificar, mediante la técnica de valoración de pérdida de productividad, la afectación en la función de producción de los pescadores ubicados en la zona afectada.

Con estos resultados se establecieron correlaciones de interdependencia que permitieron identificar las variables dependientes y los factores de incidencia en la evolución o en el estado de dichas variables, para finalmente diseñar y correr, bajo el programa Limdep, el modelo de regresión que permitirá estimar la afectación.

MODELO ECONÓMÉRICO DE ESTIMACIÓN

Al correr el modelo de la función de oferta de pesca para el área de estudio con los datos recogidos con la encuesta (observar implicaciones de la encuesta), estimada por el modelo Box-Cox, corrido bajo el paquete econométrico software Limdep versión 7.0, se obtiene como ecuación con mayor convergencia:

$$QT = 4.1219 - 1.6284CMT + 0.021675HT$$

Ecuación 22.

y la transformada de las variables corresponde a:

$$QT = \frac{Q^\lambda - 1}{\lambda} \Rightarrow QT = \frac{Q^{0.17117} - 1}{0.17117};$$

$$HT = \frac{H^\lambda - 1}{\lambda} \Rightarrow HT = \frac{H^{0.17117} - 1}{0.17117};$$

$$CMT = \frac{CM^\lambda - 1}{\lambda} \Rightarrow \frac{(CM/100)^{0.17117} - 1}{0.17117}$$

$$\hat{QT} = 4.1219 - 1.6284CMT + 0.021675HT; \\ (14.266)^{***} \quad (-10.510)^{***} \quad (1.1754)^{**};$$

que significa

$$\bar{Q} = 1375.69_{\text{peces/mg}}, \bar{CMT} = \$228.3, \bar{H} = 127_{p.p.m}$$

Log-likelihood = 840.68 y probabilidad de los valores *** = 99.99%; ** = 99%

Nota: Las cifras en paréntesis bajo cada variable representan el nivel de confianza Z de estimación de cada variable, en tanto que los valores de las variables con el símbolo $\bar{}$ corresponden a los valores medios estimados por el modelo.

Donde la cantidad de pesca producida (Q) está en unidades con un comportamiento discreto positivo, los costos medios totales de extracción (CMT) se presentan en pesos y el indicador de contaminación por presencia de hidrocarburos aromáticos polinucleares en lodos (H) se expresa en partes por millón detectadas en los análisis de laboratorio de los lodos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS DEL MODELO

De acuerdo con el modelo que presentó la mayor convergencia con mínima desviación del factor de transformación y mayor probabilidad de predicción del valor, resultaron como variables explicativas de la cantidad de producción (extracción de pescados) el costo medio, incluido el tiempo en el que se incurre para desarrollar la actividad, reportado por los pescadores de acuerdo a la tecnología que emplean y los sitios adonde se desplazan para desarrollar la actividad con los “mejores resultados posibles de captura”, y el nivel de contaminación por hidrocarburos residuales en lodos de las ciénagas, registrados como hidrocarburos aromáticos polinucleares reportados por los análisis de laboratorio realizados a muestras tomadas en el área de influencia del campo petrolero donde se adelanta actividad pesquera.

La variable horas por jornada (HJ), con su inclusión, no permitía la convergencia del modelo en presencia de los costos medios; sin costos medios ajustaba con probabilidades del valor estimado por debajo del 50%. La pesca en la zona es de tipo artesanal, por lo que en la composición del costo el tiempo de dedicación tiene un peso preponderante, pero en número de horas la diferencia no es representativa, de otro lado la dedicación medida por días de trabajo incluida en forma normal a los costos no asume comportamientos lógicos, por lo que la formación del costo medio total incluyendo la

hora de trabajo como patrón de inclusión permite ajustar la convergencia.

El indicador de contaminación grasas y aceites (GA) presentes en el agua no mostró comportamiento de correlación con Q, evento que se explica por la manifestación temporal sobre los espejos de agua de las ciénagas, que si bien ocasionan un impedimento físico al intercambio de oxígeno para el proceso de respiración de los peces, genera respuestas de desplazamiento inmediato de los bancos de peces y a su vez los aprovechadores del recurso piscícola se anticipan al fenómeno realizando capturas; no obstante, manifestaciones masivas derivadas de derrames voluminosos ocasionan repercusiones severas en las cantidades de captura, pero su identificación se logra en el levantamiento de información inmediatamente después de presentarse un evento de este tipo y si bien configura afectaciones a la producción es de tipo temporal, difícil de extrapolar a eventos pasados sucedidos a lo largo del tiempo.

El número de ciénagas (C) es una variable que tiene correlación no lineal inversamente proporcional con Q, se manifiesta cuando se introduce la variable C_M sin el costo del tiempo y explica cómo en la medida en que existe mayor número de ciénagas se da menor producción o un mayor costo medio: a menor número mayor cantidad de capturas. Es importante considerar que si el ecosistema de soporte no está afectado, difícilmente se buscará cambiarlo, puesto que la producción tiende a ser predecible. El poder de predicción de valores convergentes es bajo, presentando alta dispersión en el valor predecible, cuando se introduce el costo medio incluido el costo del tiempo (CMT) con lo que el modelo no converge, quizás por un comportamiento asintótico de la variable C con menor similitud del derivable del CMT, razón por la cual se prefiere excluirla del modelo como variable explicativa.

La variable costo medio total (CMT), minimizada su magnitud con la simplificación en centenas, es estadísticamente la variable más significativa (al 99%); donde el signo es indiferente dada la transformación desarrollada sobre las variables, el Z alcanza valores superiores a 10 unidades, lo que representa un nivel de confiabilidad de la distribución normal

del coeficiente estimado en favor de la convergencia hacia la máxima verosimilitud, dada la muestra de 276 observaciones superior al 95%, en tanto que el signo negativo ratifica la relación inversamente proporcional que existe entre el comportamiento del productor maximizador de su excedente, en términos de ampliar la diferencia entre el costo medio y el precio de venta, que para la opción de comercialización se comporta en forma constante dada la escala de oferta individual.

La variable contaminación hidrocarburos aromáticos polinucleares (H) es de bajo impacto en la composición de la transformada de la cantidad de captura, no obstante contribuye ostensiblemente a la convergencia del modelo en conjunción con la variable C_M aumentando el poder estadístico de la estimada. El Z de la variable H es superior a 1.7 unidades, lo que representa un nivel de confiabilidad de la distribución normal del coeficiente estimado en favor de la convergencia hacia la máxima verosimilitud, dada la muestra de 276 observaciones, superior al 90%. De otra parte la concentración del H en 0.01, para áreas de no afectación, genera un principio de especialización y anidamiento de esta variable explicativa, lo que contrasta con los mayores valores de captura tras el desenvolvimiento de la transformación de la variable explicada estimada. Este hecho, sumado al principio de mayor ajuste del modelo, ratifica la relación inversa que existe entre los niveles de concentración de H y los volúmenes de captura. Evento similar sucede con las áreas afectadas, en las cuales H se distribuye alrededor de 2.19, reportando volúmenes de captura menores.

Los coeficientes asociados a las variables muestran el cambio en la transformada de la cantidad de pesca por variaciones en la transformada del nivel de contaminación H o por variaciones en la transformada de los costos medios de extracción.

CÁLCULO DEL EXCEDENTE DEL PRODUCTOR

Considerando que, dada la situación de producción (extracción) del recurso pesquero, existen dos valores de costo medio total (CMT) plenamente

diferenciables que pueden ser asumidos como típicos o representativos de los productores, uno de esos valores es el que se sucede en áreas afectadas por la extracción del recurso natural no renovable (petróleo) que afecta el recurso natural de soporte (hídrico) de la disponibilidad de peces para extracción, y otro CMT que es el que se tiene para áreas no afectadas por la contaminación por hidrocarburos; así, la mediana del CMT para los productores (aprovechadores o extractores), en la muestra tomada, que desarrollan la actividad pesquera en área contaminada, fue de \$248.39, en tanto que en área no contaminada el CMT se redujo a \$87.84 por unidad, en pesos corrientes del año 1999. En área contaminada la mediana muestral fue de 225 datos levantados y validados para la inclusión en el modelo como información primaria representativa de productores (extractores) en zonas de pesca afectada por contaminación con hidrocarburos. En área no contaminada con hidrocarburos la mediana muestral fue de 50 datos.

El excedente para un productor en cada zona queda entonces valorado como la diferencia entre el precio de venta ponderado (P_p) (dada la variabilidad de especies comerciales capturadas y su diferencia en precio se construye un uno representativo a través de la ponderación de precio según el peso de cada especie en la captura total) y el costo medio de producción (extracción), incluido el tiempo de dedicación, amplificado por las unidades de producción (captura) $\hat{Q}$ estimada con el modelo Box-Cox³; así, para el área contaminada el excedente de un productor en un mes es de:

$$EP = (P_p - CMT)\hat{Q} = (195 - 248.40) * 824.30 = 44.015,58$$

Ecuación A.

Para el área no contaminada el excedente de un productor en un mes es de:

$$EP = (P_p - CMT)\hat{Q} = (295 - 97.84) * 2454.17 = 509.059,38$$

Ecuación B.

Así, el excedente del productor tipo en el área contaminada es de \$-44.015.58 pesos corrientes de 1999, lo que significa que el pescador experimenta una pérdida mensual que supera los cuarenta y cuatro mil pesos y es asumida por el tiempo que dedica a la actividad, si se consideran los costos efectivos sin valorar el costo de oportunidad del tiempo, asumido en 0 y en ausencia de otra alternativa, el productor justifica desarrollar la pesca. Para el caso de las áreas no contaminadas, el excedente del productor es de \$509.059.38 pesos corrientes de 1999, lo que significa que mensualmente el pescador obtiene una utilidad por encima de sus costos superior a dos salarios mínimos legales vigentes, que si bien no son suficientes para sostener familias de en promedio seis (6) personas, sí garantizan unas condiciones mínimas.

PÉRDIDA DE EXCEDENTE PARA EL PRODUCTOR AFECTADO

El productor (extractor) del recurso pesquero en áreas incididas por la afectación ecosistémica del recurso natural de soporte del bien objeto de aprovechamiento se cuantifica como la diferencia entre el excedente del productor en la zonas fuera del área de incidencia directa del campo petrolero y el excedente que obtienen los pescadores que adelantan la actividad en ciénagas influenciadas por el campo. Recurriendo a la ecuación 10, la pérdida económica estimada para un productor en el área afectada es:

$$\Delta \hat{W} = \hat{W}Z_1 - \hat{W}Z_0 = (509.059.38 - (-44015.58))$$

Ecuación C.

La pérdida estimada del excedente económico para un pescador que se ha visto afectado por la explotación petrolera, el ecosistema natural soporte del recurso natural renovable fuente de sus ingresos totales, resulta ser de \$553.074.96 pesos corrientes de 1999

3 Ecuación A:

$$Q^{0.17117} = 4.1219 - 1.6234 \left(\frac{CMT_w^{0.17117} - 1}{0.17117} \right) + 0.02167 \left(\frac{H^{0.17117} - 1}{0.17117} \right)$$

en un mes de actividad, valor que contempla, además de la pérdida por incremento en los costos de producción, la reducción en la oferta del recurso apto para ser capturado en las ciénagas de la isla de Mompós, influenciadas por impactación ambiental negativa acumulativa derivada de la instalación y operación del campo petrolero Cicuco-Boquete.

VALOR DE USO DEL PASIVO AMBIENTAL

El valor de uso estimado para el pasivo ambiental (valoración parcial por no incluir otros valores inherentes a los recursos naturales como el valor de existencia), sólo desde el punto de vista pesquero, se calcula de acuerdo con el comportamiento histórico de la población asentada en el área y su dedicación a la actividad pesquera, amplificado por el promedio de pérdida de excedente para un pescador tipo en zona afectada; en virtud del cálculo con información primaria a precios de 1999, se pueden hacer estimaciones para este año directamente a pesos constantes sin ningún tipo de ajuste. Así, para los cerca de 45 años se estima la población mensual afectada entre enero de 1955 y enero de 1999, considerando que del total de población municipal en Cicuco y Talaiagua, municipios donde se levantó la información primaria, una parte se encuentra en área no afectada directamente. Igualmente, no toda la población se dedica a la pesca y no se cuenta con información histórica para determinar con exactitud la población afectada, pero es de esperarse que en el pasado la proporción poblacional dedicada a este tipo de actividades fuese mayor a la consolidada por las autoridades para los últimos años; esto introduce un factor de seguridad que tiende a subestimar la afectación. El valor estimado del pasivo (VP) es:

$$VP = \sum_{i=1}^{531} PA_i * \Delta W = \%PP * Pa$$

$$= \sum_{i=1}^{531} PA_i * 553.074 = 3'084.321'240.478$$

Ecuación D.

El valor parcial del pasivo ambiental configurado sobre la población dedicada a la pesca durante este

tiempo, en el área cenagosa de los municipios de Talaiagua y Cicuco, como resultado de la extracción de los hidrocarburos, es de \$3.084.321.240.478 pesos de 1999. Este valor es el mínimo puesto que no incluye la tasa natural de interés derivada del costo de oportunidad del dinero por su no causación y por permitirse su acumulación intertemporal sin tomar las acciones pertinentes para mitigar o impedir la configuración del pasivo ambiental.

CONCLUSIONES

La valoración parcial del pasivo ambiental generado por la extracción del petróleo en el campo Cicuco-Boquete se puede estimar a través de la cuantificación de la disminución en el beneficio económico por uso del recurso pesquero, que sufre la población dependiente de esta actividad, como resultado del paulatino deterioro del recurso hídrico en las áreas de influencia directa del campo petrolero.

De acuerdo con la muestra, se estima que la diferencia en cantidad de peces extraídos entre áreas no afectadas y afectadas alcanza proporciones de 2.24 veces más en las ciénagas no influenciadas por el campo petrolero. Considerando la mediana muestral en términos de costos medios de producción incluido el tiempo, esta diferencia sube a 2.54 veces mayor que en las áreas contaminadas, lo que revela diferencias significativas en el esfuerzo de pesca que, sumadas a la merma ostensible en la captura, da una idea de la incidencia de la afectación por la extracción petrolera sobre el recurso pesquero para las comunidades asentadas en el área y con mínimas opciones de generación de ingresos y alimentación.

El precio ponderado que se obtuvo de la muestra refleja, con la mediana muestral, una diferencia por unidad comercializada de \$100.27 pesos corrientes de 1999 entre las dos áreas, aspecto que recoge diferencias en talla y peso entre los productos obtenidos en los dos sitios considerados. En este punto es importante recalcar el carácter artesanal de la actividad, con niveles de producción reducidos que no admiten, dada la tecnología de extracción que se utiliza, economías de escala y una alta representación del precio como parámetro de mercado ya que ningún productor incide en precios ni en cantidades.

El pasivo, para el caso de la explotación del recurso pesquero en la isla de Mompós, se cuantifica como la disminución en el excedente del productor por incremento en los costos medios de producción y disminución en los volúmenes de captura, evaluado a lo largo del tiempo de la explotación petrolera; así, el valor del pasivo en uso del recurso, para los 529 meses considerados, es de \$3.084.321.240.478 pesos de 1999, con un rango de confianza superior al 95%, valor que al no darse una compensación previa o paralela significa una deuda de la actividad extractiva hacia el conglomerado social afectado, representado en las diferentes generaciones que durante ese tiempo han tenido expuesta su actividad pesquera a las externalidades de la extracción petrolera.

Es de esperar que con la disminución del nivel de extracción petrolera que tiene en la actualidad el campo y las acciones de manejo ambiental que se encuentran en proceso, si se realizan actividades de siembra de alevinos tendientes a recuperar la capacidad piscícola, se pueda recuperar la riqueza pesquera derivada de las particulares condiciones ecosistémicas del área cenagosa, pero ésta no sería una compensación al pasivo causado, sino que es la forma de evitar a futuro seguir configurando el pasivo ambiental por deterioro progresivo del ecosistema de soporte de la actividad pesquera.

El valor del pasivo calculado mediante esta estimación no es una deuda con los pescadores actuales, sino el valor de la afectación o la disminución en la utilidad que pudieron haber percibido las distintas generaciones de pescadores en la zona. De otro lado, se pueden considerar las transferencias que por concepto de regalías le han sido entregadas a los municipios afectados, pero ese valor, además de ser ínfimo frente al daño causado, se refiere a una prerrogativa que por ley se entrega a los entes territoriales para facilitar su desarrollo de infraestructura social, de tal forma que se garantice la mitigación del impacto social derivado de la expectativa generada por la actividad extractiva, y a las mismas necesidades del extractor de contar con las condiciones adecuadas para adelantar su actividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azqueta, D.** 1994. Valoración económica de la calidad ambiental. McGraw-Hill. Madrid. Págs. 70-75.
- Field, B.** 1995. Economía ambiental. McGraw-Hill. Barcelona. Pg. 53.
- Freeman, A.** 1993. The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods. Resources for the Future. Washington, D.C. Pg. 275.
- Greene, W.** 1999. Análisis econométrico. Prentice Hall. México. Págs.391-416.
- Guajarati, D.** 1997. Econometría. Tercera edición. McGraw-Hill. Bogotá. Pg. 109.
- Müller, K.** 1991. International Environmental Problems. En: Helm, D. (ed.). Economic Policy Towards the Environment. Londres. Págs 7-36.
- Mitchell, R. & R. Carson.** 1989. Using Surveys to Value Public Goods. Johns Hopkins University Press. Baltimore. Pg. 164.
- Moskowitz, P.** 1982. Oxidant Air Pollution: A Model for Estimating Effects on U.S. Vegetation Journal of the Air & Waste Management Association. Stanford 32: (2) 155-159.
- Page, W., J. Ciecka & G. Arbogast.** Estimating Regional Losses to Agricultural Producers from Airborne Residuals in the Ohio River Basin Energy Study Region, 1976-2000. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C. Final Report West Virginia Univ. Morgantown. Pg. 81.
- Pearce, D.** 1990. An Economic Approach to Saving the Tropical Forests. University of Oxford and Oxford Economic Research Associates. Londres. Pg. 9.
- Pearce, D. & K. Turner.** 1995. Economía de los recursos naturales y del medio ambiente. Madrid. Pg. 17.
- Varian, H.** 1992. Análisis microeconómico. Antoni Bosch Editor. Barcelona. Pg. 16.
- Zellner A. & N. Revankar.** 1970. Generalized Production function. Review of Economic Studies 37: 241-250.

