

**FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES
SEDE ECUADOR
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO, AMBIENTE Y TERRITORIO
CONVOCATORIA 2011-2013**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA CON
MENCION EN ECONOMÍA DEL DESARROLLO**

**ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA PRIORIZACIÓN DE ZONAS
AFECTADAS POR DERRAMES DE PETRÓLEO**

WASHINGTON RICARDO LARA CAPA

MARZO DE 2016

FACULTAD LATINOAMERICANA DE CIENCIAS SOCIALES
SEDE ECUADOR
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO, AMBIENTE Y TERRITORIO
CONVOCATORIA 2011-2013

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE MAESTRÍA EN ECONOMÍA CON
MENCION EN ECONOMÍA DEL DESARROLLO**

**ANÁLISIS MULTICRITERIO PARA PRIORIZACIÓN DE ZONAS
AFECTADAS POR DERRAMES DE PETRÓLEO**

WASHINGTON RICARDO LARA CAPA

ASESOR DE TESIS: DRA. MARÍA CRISTINA VALLEJO

LECTORES: DR. TEODORO BUSTAMANTE

MSC. PEDRO ALARCÓN

MARZO DE 2016

DEDICATORIA

A mis padres, Washington y Editha; por su amor y formación...
A Viviana, mi compañera de vida...

AGRADECIMIENTOS

A Dios por llenar de bendiciones mi vida y de todo lo necesario para culminar esta meta, sobre todo su amor. A mi esposa y familia, por su aliento permanente para seguir adelante. A todos mis profesores de la Maestría en Economía del Desarrollo, por los valiosos conocimientos impartidos, y en especial a la Dra. María Cristina Vallejo por su paciencia y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE

Contenido	Páginas
RESUMEN	10
CAPÍTULO I.....	13
MARCO TEÓRICO	13
Enfoque de estudio del ambiente.....	13
La ciencia postnormal y el análisis multicriterio.....	20
Indicadores ambientales	26
Conclusiones.....	30
CAPÍTULO II.....	32
EL PETRÓLEO EN EL ECUADOR	32
El petróleo en el Ecuador.....	32
Contaminación petrolera.....	38
La gestión ambiental en el Ecuador.....	41
Conclusiones.....	44
CAPÍTULO III	46
ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES	46
Información considerada para el análisis.....	46
Análisis de variables de contaminación.....	48
Análisis de variables ambientales.....	58
Análisis variables sociales	60
Indicadores de afectación	61
Conclusiones.....	72
CAPÍTULO IV	74
MODELO MULTICRITERIO	74
Elementos para el análisis multicriterio.....	74
Funciones de homologación y método de agregación.....	78
Resultados.....	82
Análisis de sensibilidad y comparativo	86
CAPÍTULO V	95

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
BIBLIOGRAFÍA	99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Volumen de derrames por periodo (barriles)	43
Tabla 2: Volumen de derrames por periodo (bls).....	54
Tabla 3: Parroquias con mayor volumen de derrames de petróleo.....	59
Tabla 4: Variables sociales para las parroquias con mayor volumen de derrames	60
Tabla 5: Alternativas	75
Tabla 6: Matriz de Impacto	78

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Zona de influencia hidrocarburífera estatal.....	47
Mapa 2: Zona de influencia hidrocarburífera no estatal.....	47
Mapa 3: Zona de influencia Hidrocarburífera nacional.....	48
Mapa 4: Pozos por parroquia en operadoras estatales	50
Mapa 5: Piscinas por Parroquias	52
Mapa 6: Análisis de aguas de formación por parroquias.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Diagrama de complejidad de las ciencias	22
Grafico 2: Matriz de Impacto	25
Gráfico 3: Modelo Presión Estado Respuesta	29
Gráfico 4: Modelo FPEIR	30
Gráfico 5: Variable de pozos por cantón	49
Gráfico 6: Variable de Pozos por Parroquia.....	50
Gráfico 7: Piscinas por periodo	51
Gráfico 8: Piscinas por parroquia	52
Gráfico 9: Distancia Oleoductos (Km).....	53

Gráfico 10: Volumen de derrames por periodo	54
Gráfico 11: Volumen Derrames Vs. Eventos Derrames.....	55
Grafico 12: Agua de Formación	56
Gráfico 13: Análisis de aguas de formación por parroquia	58
Gráfico 14: Nivel de vulnerabilidad Vs. Nivel de contaminación	63
Gráfico 15: Indicador Afectación de Permeabilidad	64
Gráfico 16: Afectación por permeabilidad	65
Gráfico 17: Volumen de derramen por cobertura vegetal	66
Gráfico 18: Volumen de derramen por ríos simples	67
Gráfico 19: Volumen de Aguas de Formación por Cobertura Vegetal	68
Grafico 20: Cálculo de indicadores de afectación social.....	69
Grafico 21: Riesgo de afectación de la población en situación de pobreza por el volumen derramado de petróleo	70
Grafico 22: Riesgo de afectación de viviendas que consumen agua no segura por derrames de petróleo.....	71
Grafico 23: Riesgo de afectación de viviendas que consumen agua no segura por derrames de agua de formación.....	71
Grafico 24: Función de Homologación Discreta.....	79
Gráfico 25: Función de Utilidad Para una Variable	80
Gráfico 26: Función de Utilidad en Función de la Distribución de la Variable.....	80
Gráfico 27: Función de Utilidad para la variable descarga aguas de formación.....	81
Gráfico 28: Resultado de Ordenamiento de Afectación Total	82
Gráfico 29: Resultado de Ordenamiento en la Dimensión Presión	83
Gráfico 30: Resultado de Ordenamiento en la Dimensión Afectación Social	84
Gráfico 31: Resultado de Ordenamiento en la Dimensión Afectación Ambiental.....	85
Gráfico 32: Resultado de Sensibilidad Dimensión Presión.....	87
Gráfico 33: Resultado de Sensibilidad Afectación Social.....	88
Gráfico 34: Resultado de Sensibilidad Afectación Ambiental.....	89
Gráfico 35: Análisis de Parroquias con Mayor Índice de Afectación	89
Gráfico 36: Ponderación de Indicadores	91
Gráfico 37: Campaña de Dimensiones Social y Ambiental	92
Gráfico 38: Comparación de Dimensiones Social y de Presión.....	93

Gráfico 39: Comparación de Dimensiones Ambiental y de Presión	93
Gráfico 40: Análisis Comparativo entre Lumbaqui y Joya de los Sachas	94

RESUMEN

La actividad petrolera en el Ecuador es responsable de una considerable fuente de contaminación, sin embargo, por la importancia que esta tiene en la economía ecuatoriana no ha sido sustituida, por tanto, se deben buscar mecanismos que eviten la contaminación y mejoren la intervención de reparación socio ambiental en las zonas afectadas.

Debido que no es posible generar una remediación total y simultánea en todas las zonas afectadas, es indispensable generar instrumentos que permitan jerarquizar la remediación. El objetivo central de esta investigación es realizar un análisis que permita priorizar zonas de intervención debido a derrames de petróleo y aguas de formación.

Para esto, se realiza una evaluación comparativa de las parroquias que han sido afectadas por derrames de petróleo. El análisis considera tres dimensiones: la afectación social, la afectación ambiental y la presión de contaminación. La afectación social se refiere a la relación que existe entre el nivel de contaminación y la situación de vulnerabilidad social de cada una de las zonas que han sufrido al menos un derrame de petróleo; así por ejemplo, dos zonas con un volumen similar de derrames no tienen el mismo nivel de afectación social, pues este depende de las condiciones de vulnerabilidad en que se encuentre esa población. De la misma manera, la afectación ambiental dependerá de las condiciones ambientales en las que se sucede un derrame, por ejemplo, una zona en la que la permeabilidad del suelo sea alta, permitirá que los derrames pasen el suelo y alcancen acuíferos subterráneos que incrementará el impacto del derrame. Finalmente, la tercera dimensión, nivel de contaminación, se refiere al volumen de derrames de crudo y aguas de formación generadas en cada una de las zonas afectadas. La razón de considerar esta última dimensión se debe a que no se puede dejar de lado la magnitud de los derrames debido a que el volumen de derrames también es un criterio para la priorización, más allá de las condiciones de vulnerabilidad social y ambiental de cada una de las zonas. La conformación de estas tres dimensiones ha sido a partir de indicadores que asocian variables de vulnerabilidad y variables de contaminación.

Una vez que las dimensiones fueron conformadas, se compararon las zonas de afectación a escala parroquial mediante un análisis multicriterio. Esta es una metodología que permite hacer una priorización de las opciones considerando múltiples

criterios y distintos tipos de variables. Dada la cantidad de variables incluidas en el análisis, así como el número elevado de alternativas por ser jerarquizadas, el método multicriterio seleccionado es el de funciones de utilidad aditivas para problemas discretos. La aplicación de este modelo permitió la jerarquización de todas las zonas de afectación y conocer cuáles son las características más relevantes de las zonas consideradas como las más afectadas desde una perspectiva social y ambiental.

Dado que en los problemas multicriterio se busca encontrar una solución de compromiso antes que una única solución óptima, la configuración de este tipo de problemas tiene dos etapas: primero, la definición de las alternativas disponibles acompañadas de las variables que las caracterizan y segundo, la definición de una estructura de preferencias y la relación que existe entre ellas. Para analizar el cambio de los resultados como consecuencia de cambios en las preferencias, se ha realizado un análisis de sensibilidad, el mismo que toma en cuenta distintas ponderaciones para los criterios de evaluación.

La tesis se encuentra dividida en cinco capítulos, el objetivo del primer capítulo es hacer una revisión de la literatura que permita comprender el problema de la contaminación desde la teoría económica y la forma en que la teoría de la decisión multicriterial contribuye a una adecuada gestión ambiental. Esta sección hace un análisis de la economía ambiental y la economía ecológica sobre el problema de la contaminación y al sustentabilidad. Respecto a la instrumentalización de indicadores de gestión, se analiza el modelo PER desarrollado por la OECD y la metodología multicriterio como un instrumento idóneo para problemas complejos que se encuentran en el campo de la ciencia postnormal en el que se enmarca esta investigación.

El segundo capítulo hace un análisis general del problema de la contaminación petrolera en el Ecuador. Se hace una síntesis histórica de la extracción. Posteriormente se hace una revisión de la literatura sobre la influencia positiva y negativa que el petróleo ha tenido en el país y finalmente la gestión ambiental que está realizando el Estado.

En el tercer capítulo se construyen indicadores para alimentar el modelo multicriterio. Se conceptualiza las variables en el enfoque del modelo PER y se propone la asociación de variables de presión y estado de este modelo para la construcción de indicadores de afectación.

En el capítulo cuarto se realiza el modelo multicriterio que considera dimensiones de afectación social, afectación ambiental y el nivel de contaminación. Se analiza los resultados obtenidos y se hace un análisis de sensibilidad del modelo. Finalmente en el quinto capítulo se muestran las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

El objetivo de este capítulo es hacer una revisión de la literatura que permita comprender y analizar el problema de la contaminación desde la teoría económica, y la forma en que se debería plantear a una adecuada gestión ambiental. Se analiza los fundamentos de la economía ambiental y la economía ecológica, su concepto y valoración de la contaminación, haciendo un contraste de los mismos. Respecto a la instrumentalización de indicadores de gestión, se revisa la teoría existente para una adecuada conceptualización y construcción de indicadores ambientales.

El capítulo está dividido en cuatro partes: la primera, que revisa la literatura existente sobre la economía ambiental y la economía ecológica, el objetivo es encontrar el enfoque adecuado sobre el cual se debe estudiar el problema de investigación, se discute las condiciones necesarias para la conservación del ambiente y se hace un análisis de la contaminación, se muestra la diferencia entre una perspectiva neoclásica y una perspectiva heterodoxa, la neoclásica que considera un pasivo ambiental solo cuando la afectación tiene un precio de mercado, mientras la heterodoxa muestra la relevancia de la afectación ambiental en un sentido más amplio, que puede ser inconmensurable. La segunda parte trata sobre la teoría de la decisión multicriterial, en donde la ciencia postnormal y el concepto de inconmensurabilidad del ambiente, definen el mecanismo de evaluación en problemas complejos, que involucran diversas dimensiones de evaluación. La tercera parte complementa el objetivo de instrumentalización del análisis de contaminación, se muestra la conceptualización de los indicadores ambientales de la OECD y su uso como instrumentos de información para la toma de decisiones. Finalmente, la cuarta parte muestra a manera de conclusiones los objetivos alcanzados en el capítulo.

Enfoque de estudio del ambiente

La problemática sobre el ambiente, los efectos del cambio climático así como la deforestación, la contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad como consecuencia de la contaminación han puesto en discusión la búsqueda de respuestas en materia de gestión ambiental. En este sentido la explotación de los recursos no renovables como el petróleo, ha sido causa de una gran problemática socio ambiental

por los efectos nocivos que se derivan de los procesos de extracción y además por el manejo ineficiente de los desechos. Por esta razón, es importante discutir los enfoques disponibles, entre economía y ambiente, sobre los cuales se pueda analizar la contaminación. Las principales teorías que se encuentran en la literatura ubican fundamentalmente dos corrientes de pensamiento: la Economía Ambiental y la Economía Ecológica. A continuación se puntualiza las diferencias existentes entre ambas y la pertinencia de su uso para esta investigación.

Fundamentos de la economía ambiental

Durante los años 1960 y 1970 se presentó un deterioro ambiental importante que causó que la economía como ciencia social se interesó en problemas de contaminación ambiental debido a su afectación social. Al respecto Ballesteros (2008) manifiesta:

Surge así la preocupación de cómo el mercado puede resolver la crisis ambiental que recién empezaba, y que permitió el nacimiento y desarrollo de la denominada Economía Ambiental (EA), la cual no sólo manifiesta su preocupación por cuestiones tales como: la dimensión crítica del capital natural, la contaminación del medio ambiente o la sostenibilidad planetaria, sino que incluso ofrece una explicación de por qué ha ocurrido el deterioro ambiental, desde la perspectiva de la economía neoclásica. Para ello ha utilizado y aplicado métodos capaces de corregir algunos de los desequilibrios que se presentan en el mercado y que se denominan externalidades ambientales negativas (Ballesteros, 2008: 56).

Y respecto a las externalidades negativas, desde la perspectiva neoclásica, dice:

Estos efectos externos, se entienden como costes sociales no compensados a terceros, sin transacción mercantil o en otras palabras, aquellos daños causados por terceros que afectan negativamente a otros y que no reciben ninguna compensación por el daño causado. La existencia de estos efectos externos o externalidades sobre diversos agentes económicos, conduce a que el mercado no alcance el óptimo de Pareto, esto es que no se puede mejorar el bienestar de un individuo sin empeorar el de otro, a no ser que se internalicen correctamente dichos efectos externos. Esta internalización de costos privados es en realidad introducir dentro del sistema de mercado los bienes y servicios, que como los aportados por la naturaleza, no tienen precio, asignándoles de esta forma, uno (Ballesteros, 2008: 56).

Bajo este enfoque existen varios métodos de internalizar el deterioro ambiental en forma de externalidades negativas. Entre los métodos más conocidos podemos mencionar el

propuesto por Pigou en 1920 que propone el pago de impuestos por la contaminación generada por parte de quién contamina y en proporción al daño. Otro método muy conocido es el de Coase en 1960 que propone una negociación entre el agente contaminador y el perjudicado a través de compensaciones.

Respecto a la valoración del ambiente los criterios fundamentales, en la corriente dominante, son el criterio de eficiencia y el análisis costo-beneficio. El punto fundamental es el criterio de mejora potencial de Pareto también conocido como Kaldor-Hicks que dice que una decisión es eficiente si como resultado de esta, lo que se gana es mayor de lo que se pierde, de tal forma que los ganadores pueden compensar a los perdedores y estar mejor que en su condición inicial; es decir si la suma de los beneficios es mayor a la suma de los costes sin importar quienes son los ganadores o perdedores.

Adicionalmente, dado que la valoración de costes y beneficios de una política ambiental puede implicar efectos en el tiempo, estos son considerados a partir del factor o tasa de descuento, que disminuye los beneficios y costes a medida que transcurre el tiempo.

En cuanto a la valoración de los servicios del ambiente o contaminación evitada existen métodos como el costo del viaje o los precios hedónicos que son métodos de preferencia reveladas que buscan estimar precios para bienes que no tienen mercado. Estos métodos se basan en los fundamentos de la teoría neoclásica que representa todo en una única dimensión monetaria.

Un criterio adicional en el análisis del ambiente desde este enfoque es el de la sostenibilidad. El enfoque de sostenibilidad tiene sus principios en el estudio de los recursos naturales no renovables, una de las características de estos recursos es el agotamiento de los mismos, lo que ocasiona que se desarrollen procesos o tecnologías que substituyan el recurso debido a la escasez y el costo marginal de su extracción. Para el caso del petróleo, si su costo se eleva de manera que se pueda substituir por otra fuente de energía, la sustitución se lleva a cabo y el petróleo deja de ser un recurso y ahora el nuevo material sustituto tomará la definición de recurso (Hotelling, 1931). Sin embargo, mientras no sea posible substituir el uso del petróleo, es un objetivo estimar el tiempo óptimo de agotamiento, la tasa de extracción que permite este periodo de tiempo y seleccionar los instrumentos necesarios para controlar esta tasa de extracción. A partir

de este planteamiento se conformó el concepto de desarrollo económico sostenible. Es de esta manera que la economía neoclásica incorporó el tratamiento de los recursos naturales al modelo económico vigente. Se considera que si la explotación de los recursos naturales es esencial, la insostenibilidad es producto del uso inadecuado de la tecnología en lugar del resultado del propio proceso extractivo.

La economía neoclásica analiza la sostenibilidad del crecimiento económico incorporando como objetivo la conservación del capital global para las futuras generaciones. Se busca un equilibrio entre la equidad intergeneracional y el resultado económico. En este sentido, se plantea que para mantener la equidad intergeneracional se debe mantener constante el capital total, en el que el capital total está formado por el capital económico, el trabajo y el capital natural, y que además son sustitutos entre sí (Norton, 1995). Para el caso de los recursos naturales no renovables, la corriente principal justifica su uso bajo un enfoque de sostenibilidad débil. Si utiliza o invierte las rentas de la explotación del recurso finito, en capital reproducible que provea de un flujo constante de consumo en el tiempo, entonces se consigue la no disminución de la utilidad en la equidad generacional y servicio del recurso se mantiene intacto. Lo que implica que, por ejemplo, para el petróleo, son sus servicios en el sistema económico, lo que interesa que sean permanentes en el tiempo y no el material en sí mismo. Así la equidad intergeneracional buscaría la compensación a través de otros recursos no renovables para obtener fuentes de energía, o de recursos renovables que provean un servicio en cantidad y calidad similar.

En resumen, Colmenero (2005) perfila al enfoque de la economía ambiental mediante las siguientes características:

Aun asumiendo el riesgo de ofrecer una visión simplista y limitada, el enfoque neoclásico puede decirse que asume: 1) que los procesos económicos tienen lugar en un mundo cerrado, 2) que todos los aspectos relevantes de la calidad ambiental o la gestión de los recursos naturales son medibles en un numerario que se expresa en unidades monetarias; 3) que su objetivo central en la aplicación de la ciencia económica a la gestión del medio natural es conseguir la máxima eficiencia económica [...]; 4) que los consumidores se comportan maximizando una función de satisfacción en el que la posición relativa de los individuos en el seno de la sociedad es supuestamente irrelevante para estudiar su comportamiento y en la que sus deseos son insaciables; 5) el crecimiento económico es potencialmente ilimitado, y en todo caso las razones que exista un crecimiento negativo no son atribuibles a las restricciones físicas de la economía; 6) la equidad es

una cuestión relevante en tanto esta influya en la eficiencia económica, pero no por razones éticas o políticas, y 7) la gestión de los recursos naturales y economía ambiental son dos campos que requieren programas de investigación usualmente diferenciados (Colmenero, 2005: 125).

La idea central en este planteamiento sobre la explotación de los recursos naturales es que a partir de los procesos o tecnologías apropiados, es posible todo tipo de explotación natural. Se considera que si la explotación de los recursos renovables es esencial, la insostenibilidad es producto del uso inadecuado de la tecnología en lugar del resultado del propio proceso extractivo, dejando de lado los límites biofísicos del planeta, generando un sistema dominante que compromete el equilibrio de los ecosistemas. Esta visión ha desarrollado el soporte conceptual e instrumental de la actividad económica en la extracción de los recursos naturales que es responsable de la degradación de los ecosistemas, la explotación irracional de los recursos, la contaminación de las aguas y suelos, entre otros (Pimiento, 1997)

Este enfoque, conocido como el de economía ambiental, como una rama de la economía neoclásica, ha sido muy criticado por diversos problemas que presenta. Su enfoque se puede resumir en inclusión de las externalidades en el sistema económico y en la asignación óptima intergeneracional de los recursos (Aguilera y Alcantára, 1994). Su mayor crítica es el supuesto de sustituibilidad completa entre el capital económico y el capital natural. Si bien, el capital económico y la tecnología pueden reemplazar un recurso natural respecto al servicio que este presta en el sistema económico, no se ha considerado el servicio que el mismo recurso presta en los sistemas ecológicos, que no se encuentran en el sistema económico ni en los posibles servicios económicos que el recurso tendría en el futuro y que no son conocidos debido a las limitaciones tecnológicas en el presente (Aguilera y Alcantára, 1994).

Otra crítica importante respecto a la internalización de las externalidades es la valoración económica. Existe una gran diferencia entre el valor de uso y el valor de mercado, la economía no considera las propiedades físicas de los recursos y considera únicamente su precio de mercado. Además en esta misma línea, el tratamiento y valoración de la contaminación como un elemento más de las externalidades presenta el problema de la inconmensurabilidad de la afectación debido a que el ecosistema es

campo del que no se tiene pleno conocimiento y por tanto su valoración monetaria no puede ser determinada.

A estas críticas conceptuales se suman los hechos presentados como evidencia empírica de la explotación de los recursos naturales que muestran que no es posible tener una sustituibilidad completa del sistema ecológico destruido como resultado de la explotación de los recursos naturales. Entre los más relevantes podemos mencionar la destrucción de bosques tropicales que paso de 75.000 a 200.000 hectáreas anuales, la creciente emisión de contaminantes a la atmósfera como el dióxido de carbono como consecuencia del creciente uso de combustibles fósiles que son responsables del calentamiento global, todo esto ha provocado que si en 1989 se estimaba que se extinguía una especie por día, para el año 2000 se extinguía una especie cada hora y se pronostica que para el 2020 desaparecerán entre el 10 y el 38 por ciento de las especies existentes en el planeta (Novo, 2006: 54). Estos hechos muestran que primero, no es posible sustituir la función ecológica que tiene la naturaleza bajo este ritmo de explotación que ha provocado especies extintas y un calentamiento global que amenaza la supervivencia y segundo, que bajo estas circunstancias que afectan el sistema ecológico indispensable para la vida, es imposible que exista equidad intergeneracional.

Todos estos elementos han conformado la conciencia de insostenibilidad de los modelos económicos vigentes. Jiménez (1996) resume básicamente tres aspectos que conforman el sustento de la incompatibilidad entre desarrollo económico y su relación con el ambiente. El primero que amenaza al sistema ambiental y pone en peligro no solo el sistema económico sino la misma supervivencia humana. El segundo, que establece límites al crecimiento, reconociendo que no es posible un crecimiento material indefinido en mundo finito. Y el tercero, que relaciona la dependencia del estado del ambiente con la interdependencia entre la riqueza y la pobreza. Entonces, el cambio ambiental, acompañado del cambio social, han sido las causas de la conciencia de la insostenibilidad.

En el ámbito sociocultural se puede mencionar la afectación que tienen los grupos humanos que se encuentran alrededor de las fábricas de producción o infraestructuras de extracción de recursos naturales, que sufren sus efectos en su salud, su cultura y su forma de vida. A nivel global también se puede mencionar el intercambio ecológicamente desigual entre los países ricos y los países pobres, que

produce una deuda ecológica debido a que los países ricos son consumidores de materias primas que son obtenidas en los países pobres, que no son compensados por la afectación social y ambiental que reciben (Martínez-Alier, 1998).

Por otro lado, se genera un enfoque teórico distinto, en base a la crítica a la teoría e instrumentos arriba mencionados. Este enfoque teórico es el que se denomina de Economía Ecológica. Entre sus principales fundamentos están las leyes de la termodinámica: la ley de energía y la ley de la entropía con relación al proceso económico (Aguilera y Alcántara, 1994). En cuanto a la ley de la energía se tiene que no se puede tener energía infinita en un mundo finito. Por otro lado la entropía establece que el uso transformación de los recursos en energía no pueden volver a su estado inicial y por tanto los desechos resultantes del consumo no pueden ser completamente tratados o reutilizados y terminarán afectando al ambiente.

Otro aspecto importante en la economía ecológica es el análisis ambiental desde una perspectiva multidisciplinaria que está basada en valores de cooperación y solidaridad que toma en cuenta el presente y el futuro. La sostenibilidad es entendida en el sentido fuerte que considera una que no existe una sustituibilidad completa entre el capital económico y el capital natural debido a que este último posee funciones críticas para la vida que no son reemplazables.

Al momento de analizar la contaminación es imprescindible el enfoque que se va utilizar. Para la economía ambiental la contaminación es considerada como un pasivo. El concepto de pasivo ambiental tiene su origen en el ámbito empresarial, el pasivo en general se define como el conjunto de todo tipo de deudas que disminuyen el valor de los activos (Russi y Martínez-Alier, 2002). En este sentido, el término pasivo ambiental, se define como la afectación causada por una empresa al ambiente como consecuencia de un accidente o actividad normal en su historia de funcionamiento (Russi y Martínez-Alier, 2002). Es una deuda que la empresa tiene con los afectados por la contaminación que produce. Por las críticas mostradas en los párrafos previos, no se considera adecuado el análisis de la contaminación desde este enfoque. Es claro que por la magnitud y complejidad de los sistemas ecológicos, estos no puedan ser definidos y valorados a partir de métodos que consideran únicamente la dimensión monetaria. Sin embargo, el problema ambiental y económico que representa la afectación socio ambiental causada por la contaminación no deja de ser relevante, a pesar del método de

valoración. Lo que se busca es desarrollar procesos de análisis que consideren todo lo que las técnicas de valoración monetaria de la corriente principal no consideran. A partir de estas críticas, surge la teoría del análisis multicriterio que, desde un enfoque de economía ecológica, muestra otra perspectiva de los problemas ambientales respecto a su valoración. En este enfoque de análisis, la dimensión económica no es la única ni necesariamente la más importante, pues se pueden considerar otras dimensiones. El análisis multicriterio es una metodología para resolver problemas que se caracterizan por tratar aspectos u objetivos que pueden ser contradictorios y complejos de valorar. En este sentido, los problemas no tienen una solución en el sentido de la optimización matemática, sino que las soluciones son encontradas en el marco de un equilibrio entre los objetivos a alcanzar y el acuerdo de los diferentes grupos directa o indirectamente relacionados con el problema, conformando así una solución de compromiso (Munda, 2010). En una sección posterior se revisa de manera detallada la teoría de decisión multicriterial.

La ciencia postnormal y el análisis multicriterio

La ciencia postnormal es una forma de abordar los problemas complejos del mundo real, se considera a la incertidumbre, y a la pluralidad de valores como elementos integrales de esta ciencia (Ravetz, 1999).

La ciencia normal resuelve problemas con supuestos de regularidad, simplicidad y exactitud; sin embargo no puede dar resultados ni métodos apropiados cuando estos supuestos no se cumplen. Por otro lado, la irregularidad y la incertidumbre son materia para los hacedores de política, en especial cuando se habla de problemas de ambiente y sustentabilidad. Estos son materia de la ciencia postnormal. Epistemológicamente, la ciencia normal, con sus supuestos, trabaja en el marco de condiciones controladas y verificables de la naturaleza, y por tal razón, da soluciones exactas en sus esquemas. Por otro lado, la ciencia postnormal trabaja en el marco de condiciones no controlables de la relación entre la sociedad y la naturaleza, por lo que, busca una solución más amplia, que no será única ni exacta, pero será más realista respecto del problema.

Los fenómenos de la vida, la sociedad y ahora el ambiente, no pueden ser capturados, ni sus problemas gestionados, por la ciencias asumiendo que sus sistemas relevantes son simples. En términos de tales paradigmas, siempre se presentarán anomalías y sorpresas. La

Ciencia Postnormal ha sido desarrollada como una metodología apropiada para integrar la complejidad del ambiente y los sistemas sociales (Funtowicz y Ravetz, 2003: 2)¹.

Las ciencias exactas no son de utilidad en los debates políticos porque la reproducción mecánica de ciertos resultados, característica de los experimentos en las ciencias exactas, no son replicables en los problemas sociales, cuya dinámica depende de una serie de condicionantes propios de cada sociedad. En ese contexto, la economía clásica y neoclásica, fallan en su intento de reproducir la mecánica de las ciencias exactas en los problemas socio-económicos y socio-ambientales, en tal razón, la ciencia postnormal provee una respuesta a esta crisis entre ciencia y política, permite un análisis desde un enfoque más global y realista, que permite la toma de decisiones que se ajusta a la realidad y cumple requisitos de calidad y consistencia.

La ciencia postnormal considera aquellos problemas en los que las decisiones tienen rangos elevados de incertidumbre. Estas decisiones son de gran relevancia y pueden considerar: políticas, personas, procedimientos, naturaleza, etc. Dependiendo del problema, la tarea puede ser como una formulación de política relacionada o derivada de una investigación, o como una ciencia relacionada a la toma de decisiones. Esto se muestra a continuación en el siguiente gráfico:

¹ Traducción del autor.

Gráfico 1: Diagrama de complejidad de las ciencias



Fuente: Ravetz (1999: 4)

En el gráfico previo se visualizan dos ejes, uno es referente al sistema de incertidumbre y el otro a la importancia de las decisiones. Cuando ambos ejes tienen un valor pequeño, el problema se encuentra en el ámbito de las ciencias aplicadas, que pueden definir una solución exacta. Por ejemplo, la optimización de la tecnología requiere de matemáticas y cálculos sofisticados que una vez realizados, su solución es única y la incertidumbre de la solución es casi inexistente. Desafortunadamente este tipo de problemas no son de gran relevancia en los debates sociales, por lo cual, la participación de los actores en las decisiones también es escasa. En el siguiente nivel del gráfico corresponde al de la consultoría profesional. En este tipo de problemas ya se tiene un mayor grado de incertidumbre y las decisiones son más relevantes, como por ejemplo: un diagnóstico médico. En este ámbito las ciencias exactas no son suficientes, se necesita de aspectos más globales y creativos como la experiencia. La combinación de métodos da como resultado un diagnóstico con un rango de riesgo aceptable. Finalmente, se encuentra el ámbito de la ciencia postnormal, en el que los riesgos no pueden ser cuantificados y las consecuencias pueden ser irreversibles. Entonces, la experticia o los métodos tradicionales de resolución de problemas no pueden garantizar un resultado en un cierto rango de probabilidad. Este tipo de problemas son característicos de procesos políticos

de toma de decisiones, por ejemplo: la forma de resolver un problema bélico entre dos países o la decisión de proceder o no con la explotación de un recurso natural no renovable.

Cuando un problema es reconocido como postnormal, este toma un nuevo carácter en su análisis. Actualmente problemas que eran considerados como clásicos o normales son estudiados desde un enfoque postnormal. Por ejemplo, el problema del transporte siempre ha sido visto como un problema de maximización sujeto a restricciones de costos y seguridad, sin embargo, actualmente el problema del transporte tiene políticas fuertemente influenciadas por consideraciones ambientales acerca de la sostenibilidad y el tipo de vida, como lo son el impacto ambiental, el cambio climático para la población y sus generaciones futuras. En este sentido muchos problemas que fueron considerados como tradicionales pueden ser abordados por la ciencia postnormal.

Munda (2003) explica que el mundo real está caracterizado por una profunda complejidad, por tanto, crear un sistema o proceso que represente esta complejidad no será más que un subconjunto del mismo: “Mi firme convicción es que cualquier representación de un sistema complejo refleja un subconjunto de las posibles representaciones del mismo” (Munda, 2003: 663). Este sistema revelará únicamente los aspectos relevantes que el investigador o investigadores consideren importantes para la solución de su problema u objetivo en particular.

Los problemas de decisión ambiental son un ejemplo claro de esto, un problema ambiental puede tener conflictos entre los intereses de los tomadores de decisión y las comunidades afectadas en su forma de vida, o puede existir conflicto entre los ingresos económicos y la pérdida de biodiversidad. Como se ha mostrado en apartados anteriores, la economía neoclásica ha planteado la resolución de estos conflictos a través una valoración común, usualmente una valoración monetaria, de las opciones, de manera que puedan ser medibles y aquella que se escoja sea la mejor (óptima).

Sin embargo, existe una arbitrariedad al asumir que todos los aspectos de un problema de decisión ambiental son conmensurables; es decir, tienen una medida comparable en común. Para demostrar que esto no siempre es posible es necesario diferenciar los conceptos de comparabilidad fuerte y comparabilidad débil (Martínez-Alier y Munda, 1997).

La comparabilidad fuerte implica conmensurabilidad fuerte o al menos conmensurabilidad débil. La conmensurabilidad fuerte significa que en un problema de decisión, todas las opciones pueden ser evaluadas por una escala de medida cardinal; es decir, que se pueden ordenar las preferencias y medir las distancias entre ellas, o la fuerza de preferencia que hay entre cada par de opciones. Por otro lado, la conmensurabilidad débil significa que todas las opciones pueden ser evaluadas por una escala de medida ordinal, es decir que solo se pueden ordenar las preferencias pero no es posible medir la fuerza de las preferencias entre cada par de opciones. Finalmente, la comparabilidad débil significa que las elecciones en un problema de decisión no pueden ser expresadas en un solo valor, las dimensiones del problema no son comparables pues son irreductibles, sin embargo, es posible hacer una elección racional (O'Neill, 1993).

La aplicación práctica de la ciencia postnormal a través de la comparabilidad débil, se puede ver en el trabajo de Munda (2003) y al respecto de la aplicación de la ciencia postnormal Funtowicz y Ravetz (2003) manifiestan:

En la evaluación de las políticas públicas hay una clara necesidad de integrar conocimientos científicos y técnicos con conocimientos y legítimos intereses, valores y deseos de las comunidades locales. Un posible puente entre la ciencia postnormal y las herramientas de evaluación prácticas puede ser el concepto de evaluación social multicriterio. La evaluación social multicriterio pone su énfasis en el tema de la transparencia; la idea principal es que los resultados de un ejercicio de evaluación dependen de la forma en que un problema de político es estructurado y de los supuestos utilizados, las posiciones éticas tomadas, y los intereses y valores considerados tienen que quedar claro. En este marco, los modelos matemáticos siguen desempeñando un papel importante, pero menos ambicioso que la optimización tradicional, que es la de garantizar la coherencia entre las hipótesis utilizadas y los resultados obtenidos (Funtowicz y Ravetz, 2003: 8)².

Munda (2010) esquematiza un problema multicriterio de tipo discreto de la siguiente manera:

A: Conjunto finito de alternativas o acciones posibles a elegir en el problema de decisión. $A = \{a_1, \dots, a_n\}$

C: Conjunto de criterios de evaluación, son los que definen el alcance de los objetivos.

$C = \{c_1, \dots, c_m\}$

² Traducción del autor.

Dados los conjuntos de alternativas o acciones a elegir A y el conjunto de criterios sobre el cual evaluar las alternativas o acciones a elegir, se puede disponer de una matriz de decisión CxA que tiene dimensión mxn. Cada coeficiente g_{ij} con $i=1, \dots, m$ y $j=1, \dots, n$ de esta matriz representa una función de valor que representa la evaluación del criterio c_i en la alternativa a_j . Entonces, la comparación de valores entre dos alternativas a y b de acuerdo al criterio u será de la siguiente manera: $g_u(a)$ se compara con $g_u(b)$. Esta se llama matriz de impacto y se puede representar de la siguiente manera:

Grafico 2: Matriz de Impacto

MATRIZ DE IMPACTO		ALTERNATIVAS							
CRITERIOS	Unidades de medida	A1	A2	A3	.	.	.	.	An
C1	...	g_{11}	g_{12}	g_{13}	.	.	.	.	g_{1n}
C2	...	g_{21}	g_{22}	g_{23}					
...							
Cm	...	g_{m1}							g_{mn}

Fuente: Munda (2010:7)

Se han realizado varios análisis para la toma de decisiones en problemas ambientales utilizando la evaluación multicriterial, sin embargo, el uso de esta técnica todavía no se ha expandido en todos los campos en los que se puede desarrollar, esto básicamente se debe al enfoque neoclásico predominante. Estudios considerados como una referencia para el desarrollo de esta investigación serían: “La iniciativa Yasuní-ITT desde una perspectiva multicriterial” desarrollado por Vallejo et al. (2011). En esta investigación se hace un análisis multicriterial sobre la decisión de explotar el campo ITT en el Parque Nacional Yasuní, contraste con la iniciativa de no realizar la explotación, y aportar a la lucha contra el cambio climático al evitar la contaminación resultante de esta explotación, con el apoyo económico de la comunidad internacional. El análisis considera dimensiones o criterios como el económico, el social, el ambiental, el cultural, entre otros. El resultado del análisis determina que la opción de no explotación es la mejor, salvo que el aporte de la comunidad internacional sea inferior al 50% de los ingresos que el Ecuador obtendría en caso de realizar la explotación.

Otro estudio que aplica un análisis multicriterio en el Ecuador, corresponde a la identificación de áreas prioritarias para recursos hídricos en la cuenca del río Sarapiquí (Sánchez et al. 2004). Si bien este estudio no está relacionado con la problemática del petróleo es usado para la priorización de zonas de intervención por contaminación, objetivo similar al propuesto en esta tesis. El estudio de Sánchez et al. (2004) combina el análisis multicriterio con sistemas de información geográfica para analizar tres dimensiones: calidad del agua, cantidad de agua y cobertura vegetal. En este estudio se observa la importancia de la información de la conceptualización que debe existir en la construcción de indicadores o que alimenten el análisis multicriterio. Por tal razón a continuación se muestra la literatura disponible en materia de indicadores ambientales.

Indicadores ambientales

Como se explicó en los apartados anteriores, debido a los problemas suscitados en el ámbito económico y ambiental, ha presentado especial interés en el estudio del ambiente y en general del desarrollo sostenible. La integración del ambiente en la gestión de política económica demanda incorporar en las políticas sectoriales, los objetivos de las políticas ambientales. Para esto, es menester disponer de información ambiental útil para el proceso político de toma de decisiones (Manteiga, 2003).

Los indicadores que miden el desarrollo económico fueron introducidos en la década de los 1980, en la Cumbre de la Tierra, en su Agenda 21, que marcó la necesidad de disponer de indicadores ambientales y de desarrollo sostenible que sirvan para medir el avance hacia el desarrollo sostenible. Posteriormente, en la Conferencia sobre Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro en 1992, se creó una comisión llamada la Comisión de Desarrollo Sostenible que fue la responsable de construir hojas metodológicas para la construcción de indicadores de desarrollo sostenible en un grupo de países que participaron como prueba piloto.

Para Quiroga (2007) existen tres generaciones de indicadores. Los de primera generación desarrollados en la década de los 1980, los de segunda generación desarrollados década de los 1990 y los de tercera generación que están en construcción

Los indicadores de la década de los 1980 se caracterizaron por medir únicamente factores ambientales por lo que toman el nombre de Indicadores Ambientales que, dependiendo de la dinámica que se requiera estudiar, ya sea desde un enfoque

productivo o característico de un fenómeno ambiental, dan cuenta de la calidad del recurso que se está estudiando y aunque no estén relacionados con los factores sociales o económicos, dan información específica de la dimensión ambiental del problema. Ejemplos de estos indicadores son la calidad del aire, la calidad del agua, indicadores de deforestación, entre otros.

Los indicadores de segunda generación se diferencian de los primeros en que no son unidimensionales, pues lo que buscan es dar una medida de avance del desarrollo sostenible, por lo tanto son indicadores compuestos que incorporan aspectos sociales, económicos o ambientales de manera simultánea, el objetivo es que estos indicadores sean multidimensionales. Sin embargo, su desarrollo ha sido escaso y lo que se tiene es un conjunto de indicadores por cada dimensión presentados de manera simultánea pero no existen indicadores ampliamente aceptados que sean transversales en el análisis del desarrollo sustentable.

Los indicadores de tercera generación, son aquellos que tendrían un carácter multidimensional y que en pocas cifras, puedan dar cuenta del estado de desarrollo sostenible y brinden retroalimentación de la acciones a aplicar en pos de un desarrollo sustentable. La construcción de estos indicadores estaría en concordancia con el análisis multicriterio, sin embargo, su construcción puede ser muy compleja debido a la complejidad e inconmensurabilidad de valores propios de los problemas complejos (Munda, 2010).

Respecto a las características y criterios que deberían tener indicadores ambientales, autores como Royuela (2001), concuerdan en que los indicadores nacen como una necesidad de dar a conocer, medir o cuantificar problemas de contaminación ambiental, presión sobre el ambiente, el impacto de políticas de gestión ambiental entre otros. Respecto a esto, los indicadores ambientales deberían tener las siguientes características:

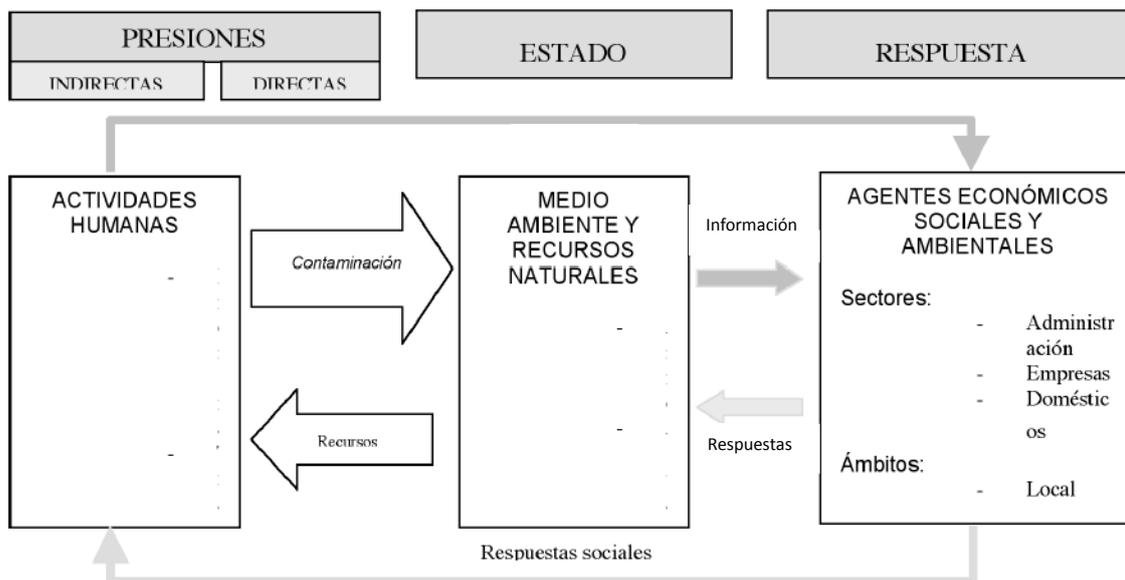
- Relevantes
- Oportunos
- Fácil interpretación
- Fácil construcción
- Representativos

Respecto a los enfoques conceptuales y metodológicos disponibles para la construcción de indicadores ambientales, se ha tenido un gran avance debido a la relevancia que ha tomado el estudio del ambiente en las últimas décadas. De los varios modelos de sistemas de indicadores, el modelo presión-estado-respuesta (PER) construido por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OECD), es uno de los más conocidos y mencionados en la literatura sobre indicadores ambientales³. El esquema de este modelo de indicadores plantea la relación entre la actividad humana y la naturaleza a partir de la presión que los seres humanos hacen a la naturaleza, modificando su estado inicial en mayor o menor grado. Sobre esta modificación del estado inicial de la naturaleza, es posible optar por la adopción de acciones orientadas a corregir los cambios negativos que han sido detectados. Por otro lado, también es posible desarrollar acciones que sean de carácter preventivo sobre los mecanismos de presión, o acciones correctivas que se aplican directamente sobre los recursos afectados.

En el siguiente gráfico puede observarse el esquema del modelo PER que se divide en tres bloques de información que interactúan entre sí. El primero bloque describe la presión o contaminación que puede ser directas o indirecta y afecta el estado del ambiente (segundo bloque) como producto de explotación de recursos y la contaminación producida. El segundo bloque dispone de información sobre estado del ambiente, que puede ser representado por la calidad o cantidad de recursos como resultado de la interacción con las actividades productivas. Por otro lado el bloque respuesta muestra las respuestas sociales frente a la interacción de las actividades humanas y el ambiente.

³ Los indicadores del modelo PER se ajustarían a indicadores de tercera generación en la clasificación de Quiroga (2007), ya que consideran dimensiones que buscan dar a conocer el estado global del recurso natural estudiado. Sin embargo esto dependerá de la multidimensionalidad de los indicadores y de la capacidad de interpretación de los mismos.

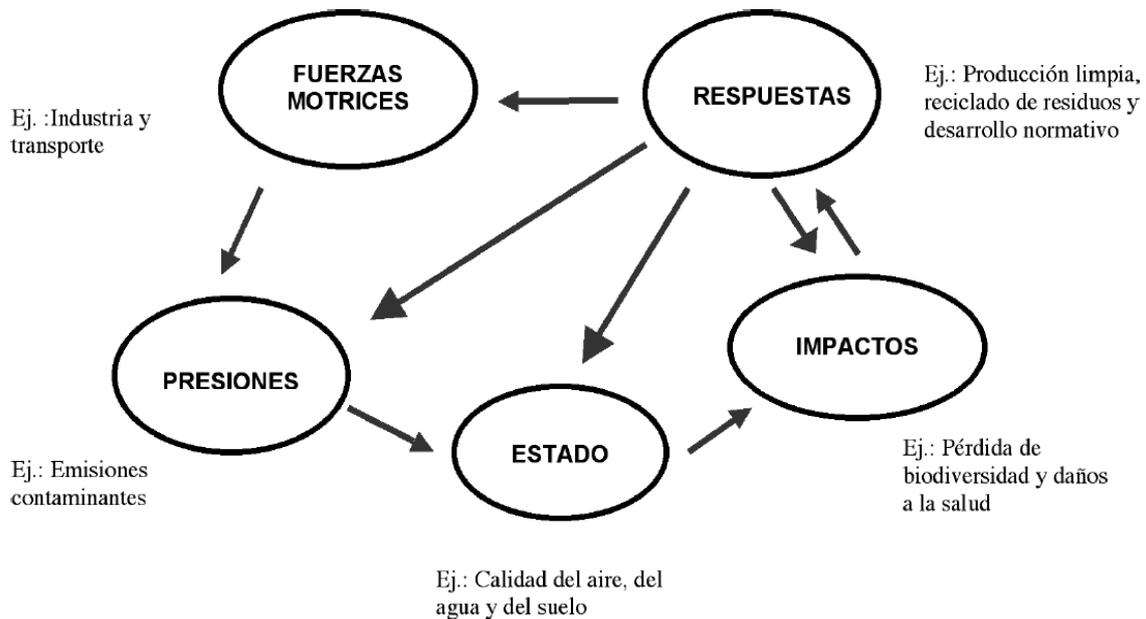
Gráfico 3: Modelo Presión Estado Respuesta



Fuente: Royuela (2001: 1236)

Otro modelo, que es una evolución del modelo PER, es el modelo Fuerzas Motrices - Presión - Estado - Impacto - Respuesta. Este modelo de análisis plantea que el desarrollo social y económico origina presiones sobre el ambiente, y como resultado de estas presiones se producen cambios en el estado de la naturaleza.. Este modelo es similar al modelo PER con la consideración de dos aspectos adicionales: el primero, las fuerzas motrices hacen referencia a los sectores específicos relevantes que son responsables del cambio del estado ambiental. Y el segundo, se consideran los efectos negativos o impactos como resultado del cambio de estado de la naturaleza en su conjunto (Smeets y Wetering, 1999). En el siguiente gráfico se puede observar al modelo PER con la inclusión de los bloques de fuerzas motrices, que muestran los responsables de los cambios en el ambiente, y el impacto que muestra la afectación que producen los responsables mencionados.

Gráfico 4: Modelo FPEIR



Fuente: Royuela (2001: 1237)

Una aplicación del modelo PER de indicadores es mencionado por Royuela (2001) en la construcción del sistema de indicadores ambientales del Ministerio de Ambiente de España. Para la construcción de este sistema se analizó lo desarrollado por otros organismos nacionales e internacionales, se consideró la problemática ambiental propia del país y finalmente, la propuesta se puso a discusión de expertos y organismos de gestión de las comunidades locales.

Otra aplicación del uso de indicadores del modelo PER a un nivel global, es el realizado por la OECD (2008) para el estudio del cambio climático. Este informe consiste en el análisis de indicadores ambientales para varios países como lo son la calidad del aire, la generación de basura, las emisiones de gases de efecto invernadero entre otros. El análisis muestra las tendencias crecientes de los diferentes indicadores de contaminación de 1980 a 2005.

Conclusiones

La revisión de la literatura ha permitido un mayor entendimiento sobre la problemática de la contaminación y su impacto tanto en el sistema económico como en el sistema ecológico. El impacto de la contaminación ambiental no puede ser tratado desde un enfoque neoclásico que se rige por una sola dimensión, la económica, y no considera

que existan otros aspectos que no son valorados monetariamente y que son indispensables para la sostenibilidad de la vida. Los daños ambientales deben ser estudiados desde un enfoque más global como lo indican los fundamentos de la economía ecológica. Esto es posible al considerar que los problemas ambientales son complejos como lo indica la ciencia postnormal, tienen varias dimensiones, son multicriterio y su solución, no es buscada como una solución de optimización, sino más bien es encontrada como una solución de compromiso entre todos los afectados.

Bajo este enfoque, el problema de la priorización de zonas afectadas por derrames de petróleo puede ser analizado desde una perspectiva multicriterial considerando información del modelo PER de indicadores ambientales: contaminación, estado del medio ambiente y la respuesta de ellos por parte de la sociedad.

Adicionalmente se debe señalar que en este esquema de estudio de la contaminación ambiental a partir de análisis multicriterio de indicadores del modelo PER, la estructura de cada una de las dimensiones consideradas dependerá de la disponibilidad de información para alimentar este sistema y de la negociación ético política en la conceptualización de la problemática sobre contaminación ambiental. Aún en el supuesto de información perfecta, las interacciones existentes entre la ética, la moral y la política de los implicados serán la clave para la definición de objetivos y posibles soluciones de compromiso.

CAPÍTULO II EL PETRÓLEO EN EL ECUADOR

El objetivo del presente capítulo es hacer el análisis de caso del problema de investigación que permita entender y plantear los elementos necesarios para la priorización de zonas de afectación por contaminación petrolera. El capítulo está dividido en cuatro partes: la primera parte muestra una breve revisión histórica del petróleo en el Ecuador y sus posibles efectos en la sociedad, si bien el objetivo de este estudio es analizar la contaminación petrolera, el conocimiento de esta actividad en un sentido más amplio puede dar mayores pistas en el análisis de la contaminación. La segunda parte muestra la contaminación del petróleo y la afectación de esta a la población y la naturaleza, la tercera parte muestra la gestión ambiental desarrollada por el Ministerio del Ambiente en materia de contaminación ambiental. En estas secciones se busca conocer el problema de la contaminación en el Ecuador y la manera en que el análisis multicriterio puede ser un aporte para la solución. Finalmente la cuarta parte muestra las conclusiones obtenidas en el capítulo.

El petróleo en el Ecuador

El petróleo es parte de un importante intercambio comercial de escala global, su explotación es materia de complejas relaciones entre economía y política. Al ser un producto que satisface las necesidades de energía de varias industrias alrededor de todo el mundo, se han presentado muchas formas de estrategias, por los diferentes actores, para el manejo de este mercado, primero a través de alianzas transnacionales de origen americano que invertían el costo de exploración en diferentes países, mismos que no podían financiar los costos, y que luego formaron un oligopolio que manejaba el precio del crudo. Después empezaron las nacionalizaciones que formarían grupos regionales con el objetivo de tener representatividad en el mercado. Si bien, el objetivo de este estudio no es hacer un análisis global e histórico del petróleo, que de por sí es complejo, es importante al menos mencionar que la situación regional sobre este recurso sin lugar a dudas ha afectado el manejo del petróleo por parte del Estado. El petróleo es un recurso de importancia estratégica por los ingresos que este representa, sin embargo, esta dependencia ha ocasionado una especie de sesgo sobre la forma cómo el Estado manejó sus políticas económicas y de desarrollo en el largo plazo. A este hecho hay que

agregar que la situación se vuelve más crítica cuando esta dependencia ha influido en un manejo inadecuado de políticas ambientales en las zonas de explotación, ubicadas generalmente en sitios de una alta riqueza natural o biodiversidad y que además, están acompañadas por la presencia de comunidades indígenas, que han sido devastadas por los efectos de la contaminación.

En 1960 la economía ecuatoriana se conformaba en actividades agrícolas, la producción de café, banano, cacao, entre otros, era la fuente de ingresos para el Estado. Sin embargo, cuando se descubren reservas de petróleo en región amazónica ecuatoriana (RAE) y se construye toda la infraestructura necesaria para la extracción y comercialización del crudo, la economía ecuatoriana tuvo un importante crecimiento. Los ingresos fiscales de la actividad petrolera se incrementaron por el aumento de los precios del petróleo. De diciembre de 1972 a diciembre de 1973 el precio del barril del petróleo creció de USD \$ 2.5 a USD \$10 y para 1976 su valor fue USD \$13.70. Estos incrementos de precios en el petróleo tuvieron un importante impacto en la economía ecuatoriana:

Las exportaciones de petróleo llegaron a representar el 60% de las exportaciones ecuatorianas. La balanza de pagos que para entonces tenía déficit, llegó a tener superávit.

Las instituciones públicas pasaron a tener de 618 millones sucres de 1972 a 11.187 millones de sucres en 1976. El presupuesto que tenía el gobierno central de 5 mil millones de dólares para 1970 pasó a 27 mil millones de dólares en 1977. Esta enorme cantidad de recursos permitió la inversión en infraestructura física, atender necesidades sociales y económicas (Olmedo, 2010).

El crecimiento económico se reflejó en las grandes edificaciones y urbanizaciones construidas en el país. También hubo un importante incremento del parque automotor. Este incremento en el consumo demandó financiamiento interno y externo que aumentó el tamaño de las empresas financieras para expandir los créditos, depósitos y general operaciones bancarias. El crecimiento económico del país produjo la demanda de todo tipo de insumos y productos importados que presionaron a que el dinero que había entrado por el petróleo vuelva a los países industrializados (Aguilar, 2006:64)

En 1980 comenzó la reducción de los precios del petróleo. El precio de USD \$35.12 descendió en los años siguientes hasta llegar a USD \$ 25.91 en 1985. Sin embargo, mientras el precio disminuía, la extracción aumentaba, resultando en un incremento de ingresos de USD \$ 28.598 millones en 1980 a USD \$ 92.874 millones en 1984.

Por otro lado el saldo de la deuda externa creció de USD \$ 512 millones a USD \$ 4.651 millones en 1980 y este a su vez a USD \$ 6.981 millones en 1984. La deuda se elevó al punto que eran insuficientes los ingresos por las exportaciones del petróleo, debido a esto, el gobierno empezó a renegociar la deuda en 1983.

La declinación del boom petrolero ocurrió alrededor de 1980. Las razones fueron factores externos como la caída de los precios internacionales de petróleo y a nivel interno lo insostenible de la deuda externa. Con el gobierno de la nueva etapa democrática se cambió la Ley de Hidrocarburos con el fin de hacer participar el sector externo y encontrar nuevas fuentes de explotación.

La estrategia se consolida a mediados de los años 1990, cuando Petroecuador es debilitada por reformas legales que limitan su capacidad de inversión. De esta forma se inicia una progresiva desnacionalización de la producción petrolera. Por otra parte, la crisis económica, el debilitamiento del Estado y el abultado peso de la deuda externa conducen a una asfixia fiscal crónica que se refleja en una caída sostenida de la inversión social, que ha sido tan pronunciada que, en términos reales por persona, el gasto público social del 2001 alcanzó menos de la mitad de su valor en 1981 (Larrea, 2006: 65).

Del 2000 al 2005 se tuvo un incremento de los precios del crudo. Larrea (2006) argumenta que la razón del incremento en los precios fue un incremento en la demanda internacional, estos precios elevados fueron estables en el corto y mediano plazo debido a que la oferta no se incrementó porque la producción se encontraba en su máxima capacidad instalada. Respecto a la política petrolera en el Ecuador, continuó la desnacionalización de la producción petrolera con la construcción del oleoducto de crudos pesados (OCP) y se incrementó la producción privada en nuevos campos, incluso los que se encuentran en áreas protegidas, lo que acentúa el impacto ambiental por deforestación y pérdida de biodiversidad. Además, la mayor parte de los recursos petroleros eran utilizados para el pago de la deuda externa y fue necesaria la importación de productos refinados a costos elevados debido a la creciente demanda de

combustible, que se debe a la poca inversión en la generación de energía por fuentes no renovables.

A partir del 2005, cambia la coyuntura política y económica que permite revertir la desnacionalización del petróleo. Luego de la caída de Lucio Gutiérrez, se elimina el Fondo de Estabilización, Inversión Social y Productiva y Reducción del Endeudamiento Público (FEIREP), cuyo objetivo fue acumular los ingresos excedentes del petróleo para destinarlos a la compra anticipada de la deuda externa y en su reemplazo se creó la Cuenta Especial para la Reproducción Productiva, Social y del Desarrollo Científico, Tecnológico y de Estabilización Fiscal (CEREPS) cuyo objetivo fue destinar los ingresos excedentes del petróleo a proyectos de investigación, educación, infraestructura social, reparación ambiental, entre otros. Otro hecho importante fue la caducidad de la concesión a Occidental por el incumplimiento de contrato y se planteó la idea de redistribuir la renta del petróleo en la economía nacional permitiendo un impacto positivo en la población. En 2006 se aplica una redistribución de las ganancias extraordinarias del petróleo que representó una participación del 50% del valor del excedente entre el precio del contrato con las empresas y el precio de mercado del crudo. Para el 2007 se modifican nuevamente las condiciones, permitiendo al Estado obtener el 99% de los excedentes por el precio del petróleo. Finalmente el último cambio en este proceso de nacionalización del petróleo ha sido el cambio de la figura de las empresas extranjeras de participación de la producción a prestación de servicios.

Al revisar los impactos que el petróleo ha tenido en la economía ecuatoriana se pueden mencionar un proceso de enfermedad holandesa. Según Naranjo (2006), el boom petrolero determinó un incremento significativo en las exportaciones y representó fluctuaciones importantes en el flujo de divisas del sector, ambos síntomas de la enfermedad holandesa. Las consecuencias de este fenómeno fueron: un escaso desarrollo del sector industrial, y una importante reducción del sector agrícola a través de un movimiento hacia el sector no comercial. Los efectos de la enfermedad holandesa en el Ecuador se distinguen de tres formas: “efecto ingreso”, “efecto gasto” y “movimiento de factores”.

El “efecto ingreso” se refiere al crecimiento del PIB per cápita sucedido en el boom petrolero. Sin embargo este crecimiento no solo se debe al aumento de los

ingresos petroleros sino también al incremento de la deuda externa para mantener el modelo de crecimiento constante una vez que los precios del petróleo bajaron.

El “efecto gasto” se refiere al incremento del consumo como fruto del mayor ingreso. En este efecto, Naranjo (2006) explica que existe un aumento de la demanda de los productos comerciales como de los productos no comerciales, pero además hay un incremento de los precios de los bienes no comerciales. Este incremento de los precios de los bienes no comerciales que son propios de la economía interna en el país producen un encarecimiento de los procesos de producción de los bienes comerciales, que genera una pérdida de competitividad con los productos exportados, lo que produce un desfavorable incentivo a la producción nacional y un incremento de las importaciones. Como resultado se observó un crecimiento de entre el 5% y el 9% en bienes no comerciales mientras que en los bienes comerciales se observó una reducción en su participación en el PIB que disminuyó de 25% a 13.1% (entre 1970 y 1983).

Finalmente el “efecto movimiento de factores” según lo previsto por el modelo de la enfermedad holandesa, presenta un traslado de mano de obra desde los sectores comerciales a los sectores no comerciales. En el sector agrícola donde se encuentran los bienes como el banano, el cacao y el café se tuvo una reducción de la población económicamente activa del 52,9% a menos del 33% de 1974 a 1982 (Naranjo, 2006). Fontaine (2007), resume este fenómeno de la siguiente manera:

Aquellos efectos se miden en primer lugar por el “efecto ingreso” generado por la bonanza de los setenta: el ingreso del PIB per cápita se tradujo por incrementa de las importaciones de los bienes de consumo y un desequilibrio crónico de la cuenta corriente; se incrementó la deuda externa cuando los precios de las exportaciones bajaban, a lo cual se sumó el déficit estructural del presupuesto estatal (que llegó hasta un 50% del PIB). En segundo lugar se creó un “efecto gasto”, puesto que el petróleo sirvió en particular a financiar los servicios públicos, la construcción de infraestructuras básicas, la promoción social y los gastos crecientes de la administración pública (+11% entre 1972 y 1983). Finalmente la bonanza provocó un “efecto de factores”, visible con la caída de la población económicamente activa en el sector agrícola (del 52.9% al 33% en el mismo periodo) y al aumento de la misma en el sector no transable (+16,5%) (Fontaine, 2007: 15).

Y respecto a la crisis del petróleo y enfermedad holandesa los resultados fueron que el PIB de desaceleró, el gobierno tuvo que renegociar la deuda y reestructurarla bajo los

lineamientos del Fondo Monetario Internacional. La economía ecuatoriana se deterioró al punto de que el dólar se volvió la moneda oficial en el año 2000, sostenida por las exportaciones petroleras.

Larrea (2006) menciona: “Finalmente, el impacto social de la bonanza petrolera fue aniquilado por la crisis de la deuda en los años ochenta. Si bien es cierto el ingreso per cápita se duplicó en la década de los setenta, mientras que los indicadores de salud y educación mejoraban notablemente, en las dos décadas siguientes esta tendencia se estancó” (Larrea, 2006, citado en Fontaine, 2007: 15). Y respecto a la crisis manifiesta: “El Ecuador fue afectado por una grave recesión en los años 1998-2000, cuando el PIB decreció un 30% y el PIB per cápita en un 32%. Entre 1995 y 2000, la pobreza subió del 34% al 71% y la extrema pobreza del 12 al 31%” (Acosta, 2006: 90 citado en Fontaine, 2007: 15)

El análisis realizado por Acosta et al. (2006) es muy importante, ya que podría servir para tomar acciones más adecuadas en situaciones similares en el futuro, en especial, en para la coyuntura actual, con una caída sustancial en los precios del petróleo.

Otro estudio sobre condiciones sociales realizado por Bustamante y Jarrín (2005) analiza las diferencias que existen entre las zonas en las que se realiza extracción petrolera y el resto de zonas de la Amazonía y del país a través del uso de varios indicadores sociales. El estudio consideró análisis de correlaciones, análisis de componentes principales y segmentación por dendogramas para explicar las diferencias mencionadas. Una de las cifras que se observa es que la región amazónica y en particular las zonas en las que se hace explotación petrolera, tiene indicadores con resultados comparativos negativos a nivel país en varios aspectos como infraestructura, educación, pobreza y salud. Si bien, en este estudio, no se hace un análisis de causalidad con la presencia de actividad petrolera, sino más bien un análisis de correlaciones por lo que no es posible interpretar cómo incide la presencia del petróleo, un hecho que llama la atención es precisamente que las zonas en las cuales se extraen recursos de tal importancia para la economía ecuatoriana, no exista un beneficio especial que se refleje en su situación socioeconómica.

Otro estudio realizado por el mismo autor, Bustamante (2007), analiza la tendencia *ex ante* y *ex post* del inicio de la explotación petrolera para tener una primera

aproximación de la influencia del petróleo en la evolución de las variables: analfabetismo, mortalidad infantil y PIB per cápita. Si bien este estudio no hace un análisis de impacto con instrumentos econométricos, la tendencia muestra que el estado de estas variables mejora momentáneamente cuando empieza la era petrolera pero después el efecto desaparece y la tendencia regresa a ser la misma que se tenía antes de la extracción petrolera.

En el objetivo de un conocimiento un poco más global del petróleo, si bien los hechos históricos de la producción petrolera muestran que existió una bonanza y de igual manera una crisis debido a la dependencia del petróleo, que además alteró negativamente la dinámica económica descrita como la enfermedad holandesa, esto último, a juicio de este autor, por la manera en que se usó los recursos obtenidos del petróleo más que por la actividad extractiva en sí misma. Además, parecería, en base a los estudios correlacionales revisados, que no existe un cambio socioeconómico positivo global ni local por las actividades de extracción en el Ecuador. Lo que está pendiente en este análisis del problema, y que se presenta a continuación, es la contaminación resultante como efecto de la explotación petrolera.

Contaminación petrolera

Uno de los primeros estudios realizados sobre afectación ambiental y social por extracción de petróleo es el realizado por Judith Kimmerling en 1993, con su informe sobre la investigación en Napo, sobre la contaminación realizada por la Texaco realizada desde 1964.

Texaco extrajo cerca de 1,5 mil millones de barriles de crudo en la Amazonía en un periodo de 28 años. Perforó 339 pozos en un área que actualmente alcanza las 442.965 hectáreas y, deliberadamente, vertió toneladas de material tóxico y desechos de mantenimiento y más de 19 mil millones de galones de agua de producción en el medio ambiente sin ningún tratamiento o monitoreo (Kimmerling, 2000: 51).

Según las estimaciones del informe, durante toda la operación en la era Texaco se habrían derramado aproximadamente 400 mil barriles de crudo en el SOTE, 450 millones de barriles de crudo en los campos de extracción de la Amazonía y 450 millones de barriles de aguas de formación. Adicionalmente, la construcción de vías e infraestructura necesarias para la explotación representaron fuentes adicionales de

contaminación que además incentivaron la inmigración y consecuentemente un impacto significativo al ambiente por deforestación y pérdida de biodiversidad en las áreas intervenidas. Los impactos de la gestión de Petroecuador, Kimmerling (2000) los describe así:

Todavía están funcionando 235 pozos que actualmente son operados por Petroecuador. Según los informes, cada día vierten 5 millones de galones de aguas de producción al ambiente, así como también incontables desechos de mantenimiento y de otras actividades de producción. Los desechos del petróleo son aplicados a las carreteras para controlar el polvo y darles mantenimiento. Cada día se queman, como desecho decenas de millones de pies cúbicos de gas; devastando así un recurso natural y contaminando el aire (Kimmerling, 2000: 15).

Los efectos de estos derrames alcanzan además a la gente que se encuentra en las inmediaciones de los sectores de explotación, de hecho, se tiene que existen grupos indígenas ancestrales que viven aislados voluntariamente en el Amazaonía:

El Oriente Ecuatoriano posee una gran riqueza cultural: es el hogar de ocho nacionalidades indígenas. Se estima que la población indígena del Oriente comprende entre 85,000 y 250,000 habitantes, esto es, entre el 25 y el 50 por ciento de la población total de la región. Los dos grupos más grandes de la población indígena del Oriente son los Quichua y los Shuar. El resto de poblaciones indígenas se compone de los Achuar, Cofán, Huaorani, Secoya, y Siona (Kimmerling, 1993: 9).

Sin embargo, la contaminación petrolera ha destruido su forma de vida:

Para las comunidades indígenas y colanas TEXACO fue una pesadilla. La destrucción del medio ambiente y contaminación de ríos ha causado graves enfermedades, malnutrición, muerte de ganado y el desalojo de varias comunidades indígenas de sus territorios ancestrales. Antropólogos relatan que una etnia, los Tetetes, desapareció totalmente durante la operación de TEXACO. Científicos de la Universidad de Harvard y de London School of Hygiene and Tropical Medicine, encontraron altos niveles de químicos cancerígenos en las aguas utilizadas para bañarse, tomar y lavar ropa, y observaron la enfermedades vinculadas con el petróleo, descubriendo niveles de cáncer mucho más altos que en otras regiones del país (Narváez, 2000: 23).

Otros estudios como los de Jochnick en 1994, consistió en analizar la diferencia en la salud entre dos poblaciones, una que había estado expuesta a la contaminación petrolera y otra que no estaba expuesta. Este trabajo mostró que las personas que

estaban expuestas a los cuerpos hídricos contaminados tenían 100 veces más riesgo cáncer.

Otros elementos de afectación a la sociedad y que son diferentes a los perjuicios a la salud son los impactos socio culturales que afectan principalmente a las comunidades indígenas. La primera gran afectación es el cambio de su cultura en el momento en que son invadidos por las empresas que explotan el petróleo y los caminos construidos que hacen que la comunidad en cuestión no se encuentre aislada como lo venía haciendo y sean vulnerables a las nuevas prácticas políticas y económicas ejercidas por las petroleras.

En las zonas de producción, indígenas Cofanes, Secoya, Siona han sido forzados a radicarse en pequeños pedazos de tierra, completamente rodeados por personas ajenas a la región. Dichas tierras cubren tan solo una fracción mínima de sus territorios tradicionales, lo cual incide en mayor forma sobre su subsistencia básica y limita sus espacios de caza, pesca, recolección y agricultura. Los bosques en los que aún hay recursos importantes han sido también destruidos o degradados por la actividad petrolera. Los Cofanes, por ejemplo, ya no son capaces de subsistir solamente de su territorio en la zona de producción petrolera, y recientemente algunos han tenido que emigrar a nuevas áreas. Otros han viajado a pueblos cercanos para vender sus artesanías a turistas y pocos han optado por la prostitución (Kimmerling, 1993: 60).

Pero esta no solo ha afectado a las comunidades y población en general que vive en los alrededores, el naturaleza también ha sido afectada:

En un programa bastante limitado de examen de aguas, la compañía nacional petrolera encontró niveles muy elevados de aceite y grasa en todos y cada uno de los treinta y seis sitios examinados en ríos y riachuelos. Asimismo se encontró un déficit pronunciado de oxígeno disuelto en la gran mayoría de las aguas examinadas, y se llegó a la conclusión de que la explotación petrolera había causado un serio deterioro de los sistemas terrestres y acuáticos de la región (CEPE, 1987: 53-62, 134-51 citado en Kimmerling, 2003: 46). Técnicos de la DINAMA han reportado que los ríos y riachuelos que son continuamente expuestos a descargas de agua de producción casi ya no poseen ningún tipo de vida. Solamente logran subsistir ciertos microorganismos que han podido adaptarse al calor y a la contaminación. Antes del inicio de la producción petrolera, dichas aguas contenían una diversa y espléndida gama de especies acuáticas, pero en la actualidad, algunas de ellas pueden ya estar extintas (Reyes, 1989 citado por Kimmerling, 1993: 46)

Además los lugares en los que se suscitaron estas contaminaciones tiene un alta biodiversidad por lo que su afectación es mayor:

Los expertos botánicos estiman que los bosques tropicales del Oriente albergan entre 9.000 y 12.000 especies diferentes de plantas vasculares, muchas de ellas endémicas a la zona. La diversidad de la fauna es también alta. Por ejemplo en el parque Yasuní, los científicos han logrado identificar más de 600 especies de aves, 500 especies de peces y 120 especies de mamíferos (Kimmerling, 1993: 5).

También Falconí cita a Bass y otros (2009) para afirmar sobre la riqueza del ambiente, en este caso respecto al Yasuní ITT:

Se cree que en una sola hectárea del Yasuní habitarían unas cien mil especies de insectos, lo que significa que los bosques de ese parque contienen la más alta biodiversidad del Planeta por unidad de superficie, según sostiene el eminente entomólogo Terry Erwin, editor jefe de Zookeys.¹² Para Matt Finner (2010), de Save America's Forest, la superlativa importancia científica del Yasuní radica en su potencial para preservar en el largo plazo esta extraordinaria diversidad, ya que esa región mantendría la humedad y las condiciones de selva lluviosa, a pesar de la sequía y el cambio climático que afectan con intensidad creciente la zona oriental de la cuenca amazónica (Bass et al., 2009 citado por Falconí 2011).

La revisión de la literatura indica que ha existido una gran afectación social y ambiental debido a la contaminación petrolera. No se ha encontrado un análisis de contaminación tan completo como el de Kimmerling (1993) para las décadas de los años setenta u ochenta, la ausencia de este tipo de estudios en estas décadas podría indicar que tampoco ha existido gestiones de remediación ambiental y que podría existir una acumulación de contaminación no tratada desde la época del *boom* petrolero. Bajo esta situación, en el análisis de caso de la contaminación petrolera, es pertinente conocer que está haciendo actualmente el Estado para la remediación de estas zonas afectadas, esto se analiza en la sección posterior.

La gestión ambiental en el Ecuador

El debate sobre la contaminación ambiental es reciente debido a los conflictos socioambientales presentados en el Ecuador en los últimos años. Esto ha tenido una notable incidencia en la gestión pública que ha considerado la inclusión de esta gestión en la Constitución, sobre la prevención y reparación de contaminación ambiental. Es así que en la constitución de 1998 se introdujo aspectos relacionados con el ambiente. Y

después, la constitución del 2008 declara a la restauración ambiental como uno de los derechos de la naturaleza:

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas. (Constitución del Ecuador, 2008: 13).

A partir del cumplimiento de esta disposición, el Ministerio del Ambiente crea el Programa de Reparación Ambiental y Social (PRAS) para la aplicación de la restauración de la naturaleza por actividades contaminantes. El enfoque y aplicación de esta política pública se compone de tres elementos (PRAS, 2014):

- Restauración Integral
- Derechos de la población tanto como de la naturaleza, y
- Desarrollo sustentable

En función de este lineamiento, el PRAS tiene el objetivo general de “Implementar la política pública de reparación de integral de pasivos ambientales y sociales, causados por actividades económicas, que permita la restitución de los derechos de la naturaleza y de las personas para vivir en un ambiente sano” (PRAS, 2014: 3). Para el cumplimiento de este objetivo, se han especificado cuatro objetivos específicos: primero, implementar el Sistema Nacional de Información de la Reparación Integral de Pasivos Ambientales y Sociales, segundo; diseñar y validar planes de reparación, tercero; seguimiento y evaluación de los planes de evaluación y reparación, y cuarto; ejecutar planes de acción complementaria para la reparación integral de los pasivos (PRAS, 2014).

Respecto a la metodología de priorización que actualmente usa el PRAS para la priorización de zonas afectadas, esta no se encuentra definida en su documento de política pública del 2014 ni en su informe de rendición de cuentas del año 2014. Al analizar los estudios de reparación ambiental que ha desarrollado se encuentra proyectos

como el Plan de Reparación Integral de la Microcuenca del Río Pacayacu que obedece al estudio realizado en su sistema de indicadores ambientales. Por otro lado existen estudios como el Plan de Reparación Integral del Río Puyango o el Proyecto Piloto de Restauración Manejo Integrado a Escala de Paisaje en Sucumbíos que parecerían obedecer un criterio de diversificación en materia de reparación ambiental y que además podría también estar acompañado por criterios políticos.

Sin embargo, a partir de los objetivos planteados por el PRAS, la propuesta de este proyecto de tesis sobre la priorización de zonas afectadas por derrames de petróleo y aguas de formación apoya a los objetivos específicos de esta entidad en diseñar planes de reparación. Adicionalmente esta investigación puede complementar o plantear la consideración de nuevas variables o indicadores en el sistema de información sobre reparación integral de pasivos ambientales contribuyendo al conocimiento de esta problemática. Además la necesidad de un análisis multicriterio para la remediación ambiental se puede ver al observar las estadísticas de derrames de petróleo como se observa en el siguiente gráfico:

Tabla 1: Volumen de derrames por periodo (barriles)

Cantón	Volumen de Derrames Período 1967 - 1989	Volumen de Derrames Período 1990 - 2001	Volumen de Derrames Período 2002 - 2010	Volumen Total de Derrames	Eventos Derrames
GONZALO PIZARRO	130,290	3,910	11,029	145,234	12
LA JOYA DE LOS SACHAS	4,013	66,121	15,871	86,005	238
ORELLANA	276	3,607	30,266	34,149	208
LAGO AGRIO	4,377	12,970	12,623	30,028	219
SANTO DOMINGO	-	10,000	-	23,500	3
QUIJOS	-	9,180	-	17,180	9
ESMERALDAS	-	15,084	12	15,096	6
EL CHACO	-	-	11,070	11,070	3
QUININDE	-	4,000	7,008	11,008	6
CASCALES	2,749	2,916	1,835	7,500	15
SHUSHUFINDI	983	2,247	2,025	5,255	133
QUITO	-	-	3,517	3,517	4
AGUARICO	-	-	2,500	2,500	2
PUTUMAYO	-	1,230	977	2,207	40
CUYABENO	-	11	490	1,536	4
LA LIBERTAD	-	-	201	201	15
TOTAL	142,688	131,276	99,424	395,986	917

Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

El gráfico previo indica que han existido varios derrames en diferentes unidades cantonales, los mismos que deberían ser remediados de acuerdo los objetivos planteados por el PRAS. Para esto, no sería eficiente empezar con una gestión de remediación

simultánea en todas las zonas afectadas debido que la relación entre la contaminación y las condiciones socio ambientales configuran diferencias en el grado de afectación. Se debe agregar, además, que siempre existirá una restricción de presupuesto que, asociado a un costo de oportunidad, obliga a las autoridades a ser eficientes y tener algún esquema de priorización.

En la literatura revisada, así como en conversaciones realizadas con funcionarios del PRAS, se ha encontrado que la priorización realizada en zonas de afectación en general obedece a un orden primero social y segundo de recursos naturales críticos pero no ambos a la vez, al menos no en un esquema de análisis.

Conclusiones

En el análisis de la contaminación del petróleo en el Ecuador se ha encontrado que ha existido una considerable fuente de contaminación que ha afectado a la sociedad y el ambiente. Sorprende que no exista suficiente literatura sobre la contaminación ambiental de la época del boom petrolero lo que induce a pensar que pueden existir derrames que se ha suscitado en esos años y no han sido remediados ni estudiados.

Por otro lado, a partir del 2008 el estado ha tomado una posición más participativa en la gestión de la remediación por contaminación ambiental. Esto se ha puesto de manifiesto en la Constitución y se ha creado el PRAS como ente responsable y regulador de la reparación ambiental debido a la contaminación producida por actividades económicas.

Un elemento que llama la atención es el nombre que el PRAS usa para la contaminación ambiental; el pasivo ambiental. Si bien la definición que el PRAS tiene sobre este nombre tiene un alcance más amplio propio de la economía ecológica, se cree que el nombre no guarda relación con esta definición ya que la palabra pasivo deriva del lenguaje administrativo y está más en congruencia con la descripción de contaminación desde un enfoque de economía ambiental.

Respecto al aporte que podría tener el hacer un análisis multicriterial de la contaminación, se puede observar que este análisis sería un aporte debido a la presencia de derrames en distintos cantones que deberían ser tratados en función de la gravedad de los mismos. Aquí es importante mencionar que si bien el PRAS realiza análisis de priorización a partir de la evaluación de equipos multidisciplinarios, la metodología

multicriterio les permitiría disponer de un marco de análisis más profundo que les permita afinar más su proceso de toma de decisiones. Adicionalmente la realización de un análisis multicriterio aportaría en el avance de sus objetivos de incluir variables relevantes en el sistema de información así como para el diseño y planificación de planes de reparación.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE INDICADORES

El objetivo de este capítulo es la construcción de indicadores de afectación social y ambiental que serán parte del análisis multicriterio para la priorización de zonas de intervención. Para esto, se empieza haciendo un análisis de la información disponible, la misma se encuentra clasificada en tres grupos: información de derrames de crudo y aguas de formación, información ambiental e información social. Posteriormente se plantea y construye indicadores de afectación social e indicadores de afectación ambiental desde el enfoque del modelo presión, estado y respuesta (PER) revisado en el marco teórico.

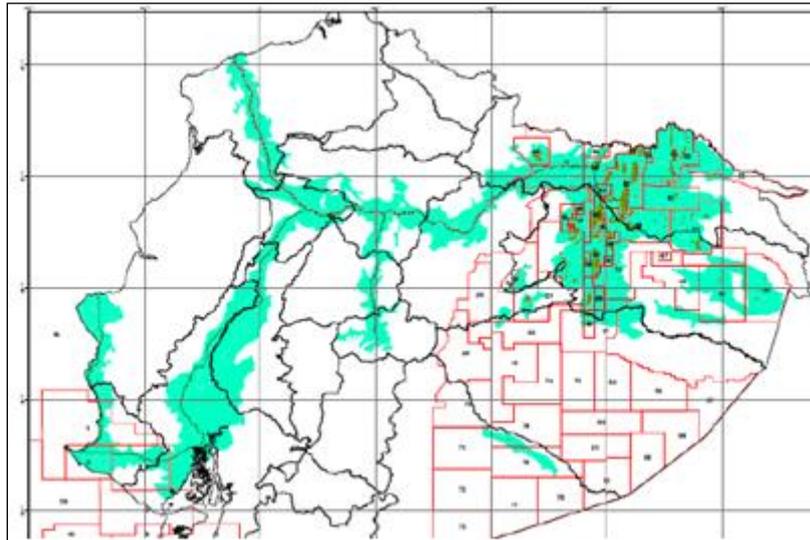
Información considerada para el análisis

La información que se dispone para este estudio es del Ministerio del Ambiente. Esta base de datos es la recopilación de varias fuentes para crear un sistema de información de pasivos ambientales para el sector hidrocarburífero. La base de datos describe la actividad hidrocarburífera estatal y no estatal para tres periodos de tiempo: de 1967 a 1989, de 1990 a 2001 y del 2002 al 2010.

Las unidades de análisis espacial corresponden al nivel parroquial, según la División Política Administrativa (DPA). La información de infraestructura y de contaminación hidrocarburífera se detalla por operadoras estatales y no estatales.

La definición geográfica de la zona de influencia de infraestructura petrolera (ZIL) y de la participación de operadores estatales y no estatales se puede observar en los siguientes mapas:

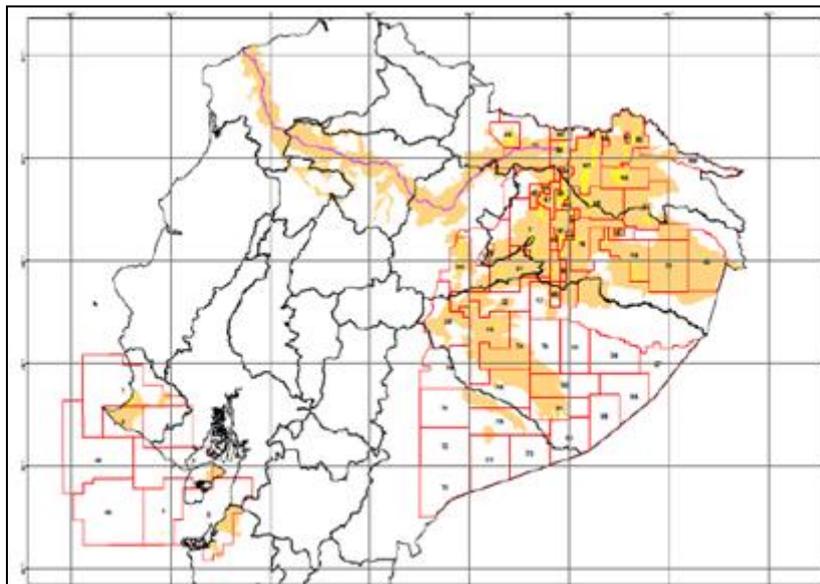
Mapa 1: Zona de influencia hidrocarburífera estatal



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

El área celeste del mapa 2 muestra la ZIL de una posible contaminación por la extracción y transporte de crudo de operadores estatales.

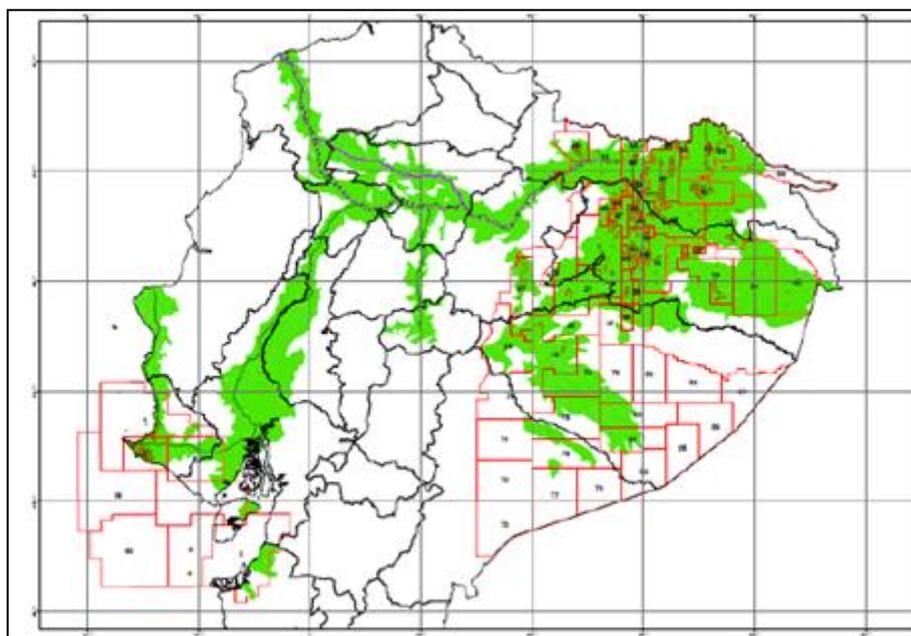
Mapa 2: Zona de influencia hidrocarburífera no estatal



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

En el mapa 3 se observa la ZIL, en tomate, de operadores no estatales. La suma de la ZIL de operadores estatales y no estatales es la zona de influencia total y se puede observar en el siguiente gráfico:

Mapa 3: Zona de influencia Hidrocarburífera nacional



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Es importante mencionar que las variables consideradas para el alcance de este estudio, son las que están disponibles por el PRAS. Aunque, no pudieron incorporarse variables clave como la calidad del agua, porque en las estadísticas del MAE no se ha medido de forma consistente, al modificar el método de medición con el transcurso del tiempo; en esta tesis se analiza el efecto de la contaminación en las diversas zonas a partir de las cifras de derrames de petróleo y descargas de agua de formación, que se describen en la siguiente sección.

Análisis de variables de contaminación

- Número de derrames
- Volumen de derrames
- Volumen de descargas de aguas de formación

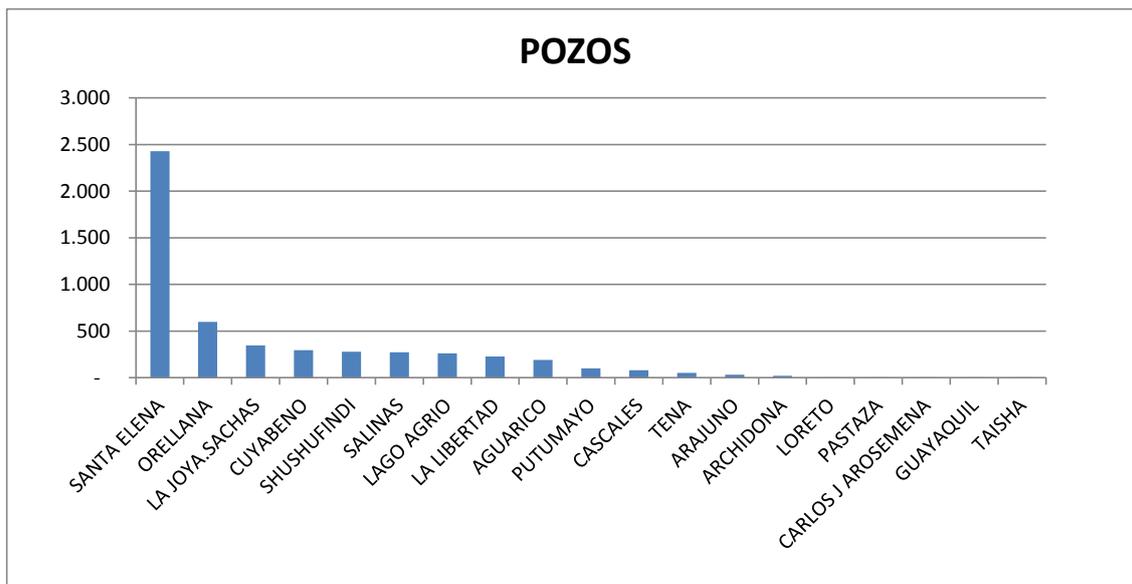
Estas variables miden la presión ambiental y social que se origina en la contaminación por los derrames de petróleo y la producción de aguas de formación que se descargan en el ambiente.

Las variables consideradas apuntan a capturar el volumen y el número de los derrames petroleros y las aguas de formación descargada al ambiente. Si bien, la variable número de derrames no tiene la importancia que la variable volumen derramado, interesa considerar esta variable para considerar de alguna manera al

recurrencia de los daños. Por otro lado, aunque las aguas de formación son menos contaminantes que los derrames petroleros, su consideración es importante porque se puede vincular su producción con el consumo de agua no segura de la población.

Concentración de pozos por cantones

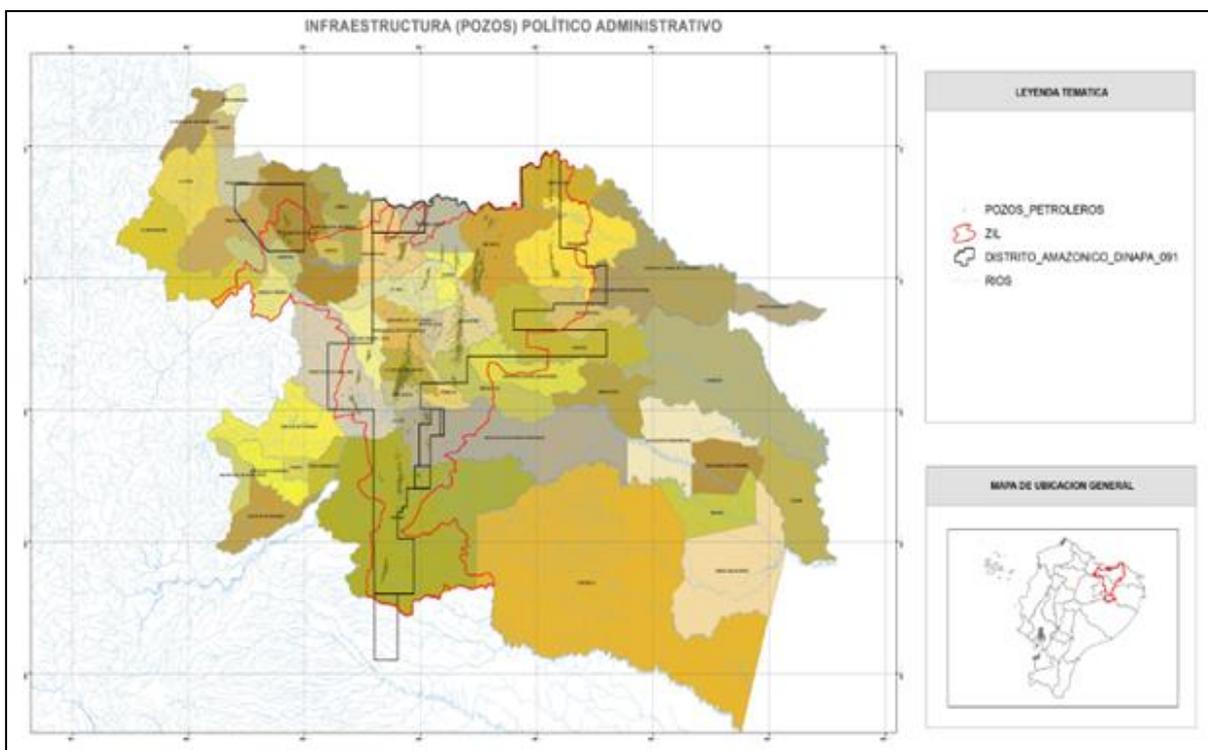
Gráfico 5: Variable de pozos por cantón



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Se puede observar una alta concentración de pozos de petróleo en el cantón Santa Elena, pues se tiene más de 2000 pozos. La información compartida por el Ministerio del Ambiente no indica el periodo en el que los pozos fueron construidos, por lo que no es posible analizar en primera instancia la cronología de funcionamiento de los pozos, sin embargo será de gran utilidad ubicar las parroquias específicas en las que se encuentran los cantones con mayor número de pozos. Es posible que estas parroquias con mayor número de pozos, sean también las parroquias con mayores derrames.

Mapa 4: Pozos por parroquia en operadoras estatales



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Gráfico 6: Variable de Pozos por Parroquia



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

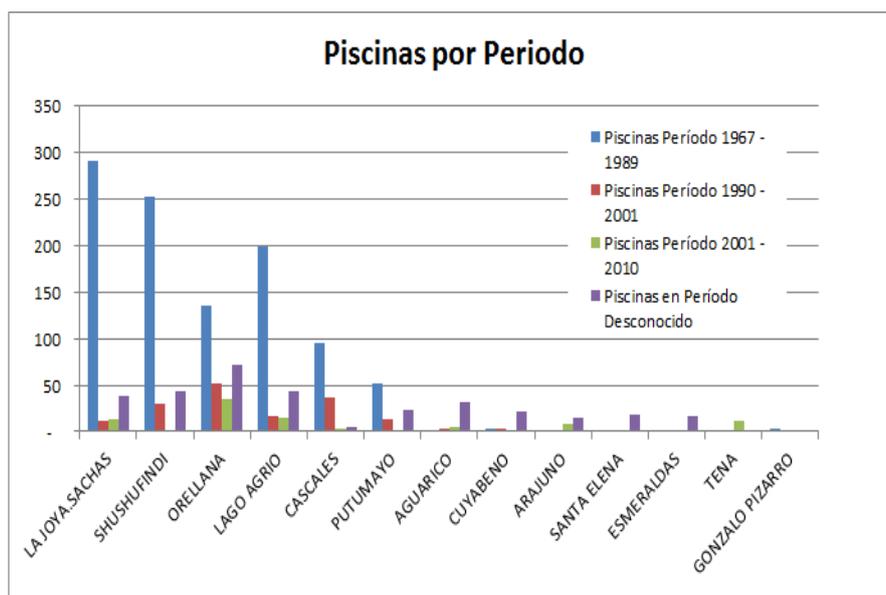
En la distribución de pozos por parroquia se observa que las dos parroquias con mayor cantidad de pozos son San José de Ancón y Atahualpa que pertenecen al cantón de Santa Elena. Se validará posteriormente si estas parroquias que tiene la mayor cantidad

de pozos son también las que han sufrido mayor cantidad de derrames en especial a la parroquia San José de Ancón que es la zona más antigua de explotación petrolera.

Análisis de piscinas por cantón

Las piscinas son infraestructuras construidas con el propósito de albergar los desechos resultantes del proceso de extracción petrolera, estos desechos pueden contener lodos de perforación, químicos tóxicos como solventes industriales y residuos de petróleo. Las piscinas deberían tener paredes especiales que no dejen filtrar su contenido hacia el subsuelo, sin embargo, esto no necesariamente ocurre pues se han encontrado piscinas cuyas paredes son de tierra. El análisis de piscinas es importante para analizar la relación que estas pueden tener con los derrames.

Gráfico 7: Piscinas por periodo

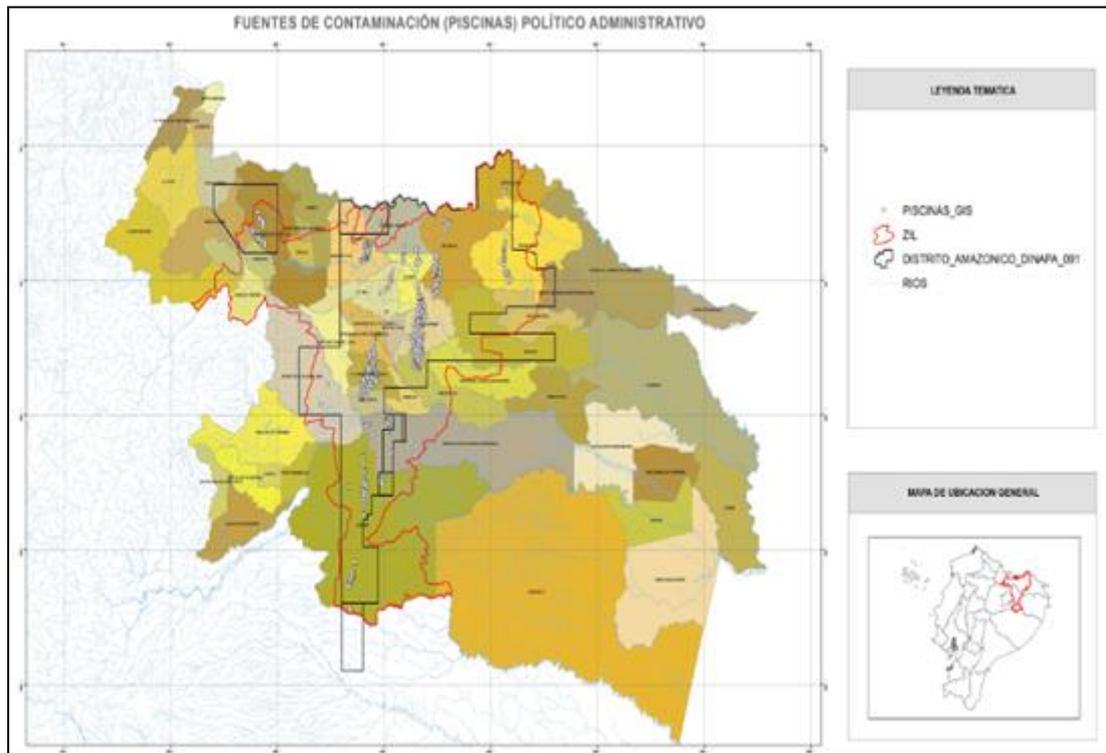


Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Más del 60% de piscinas registra su funcionamiento en el periodo de 1967 a 1989 y los cantones que con mayor cantidad de piscinas son La Joya de los Sachas, Shushufindi, Orellana, Cascales y Putumayo. Es importante notar que Santa Elena que tiene el mayor número de pozos no se encuentra en los cantones que tienen un mayor número de piscinas por lo que se pensaría que seguramente un gran porcentaje de esos pozos no son productivos actualmente.

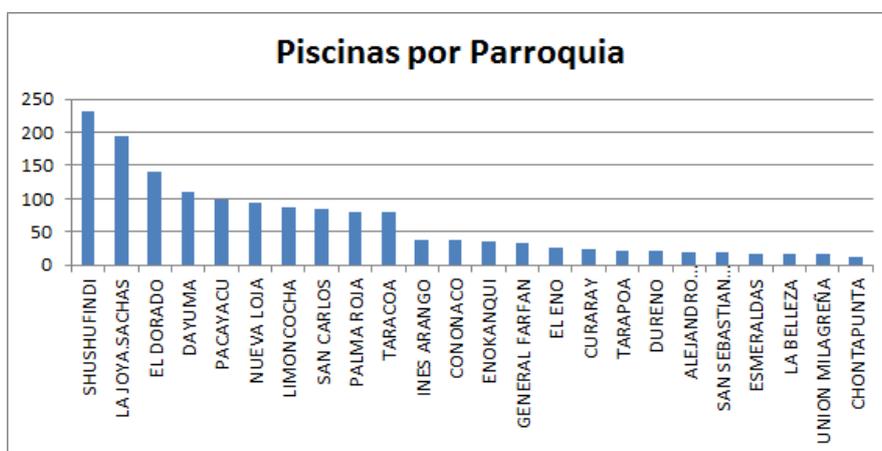
Análisis de piscinas por parroquias

Mapa 5: Piscinas por Parroquias



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Gráfico 8: Piscinas por parroquia

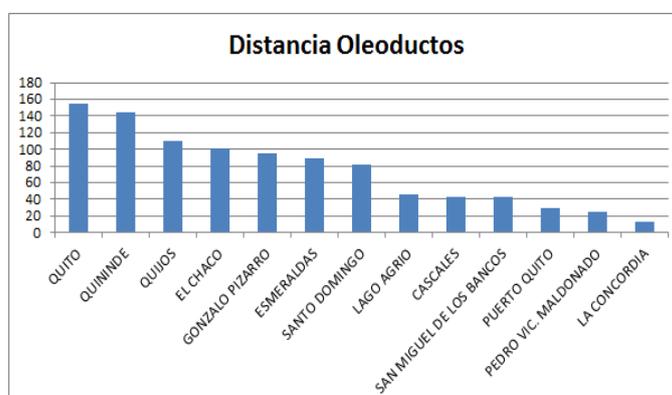


Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Al comparar la distribución de piscinas por parroquia con la distribución de piscinas por cantón se tiene que en general es una parroquia la que representa a cada cantón en este caso para la variable piscinas. De igual manera se analizará si las parroquias dónde suceden los mayores derrames también son los lugares con mayor cantidad de piscinas. Esta información en asociación con la información de derrames permitirá plantear la pertinencia de incluir variables de infraestructura en el análisis multicriterio.

Análisis de oleoductos

Gráfico 9: Distancia Oleoductos (Km)



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Para estudiar la contaminación petrolera, considerar la longitud de los oleoductos es de suma importancia, pues a partir de esta variable se puede explicar derrames que suceden en lugares donde no existe infraestructura petrolera. En todo lugar en el que existan oleoductos hay un riesgo de derrame. En el gráfico puede verse que los cantones que mayor longitud de oleoducto tienen son Quito, Quinindé, Quijos, entre otros. Si bien estos cantones poseen mayor riesgo de derrames, los cantones con menor distancia de oleoductos también tienen riesgo de derrame.

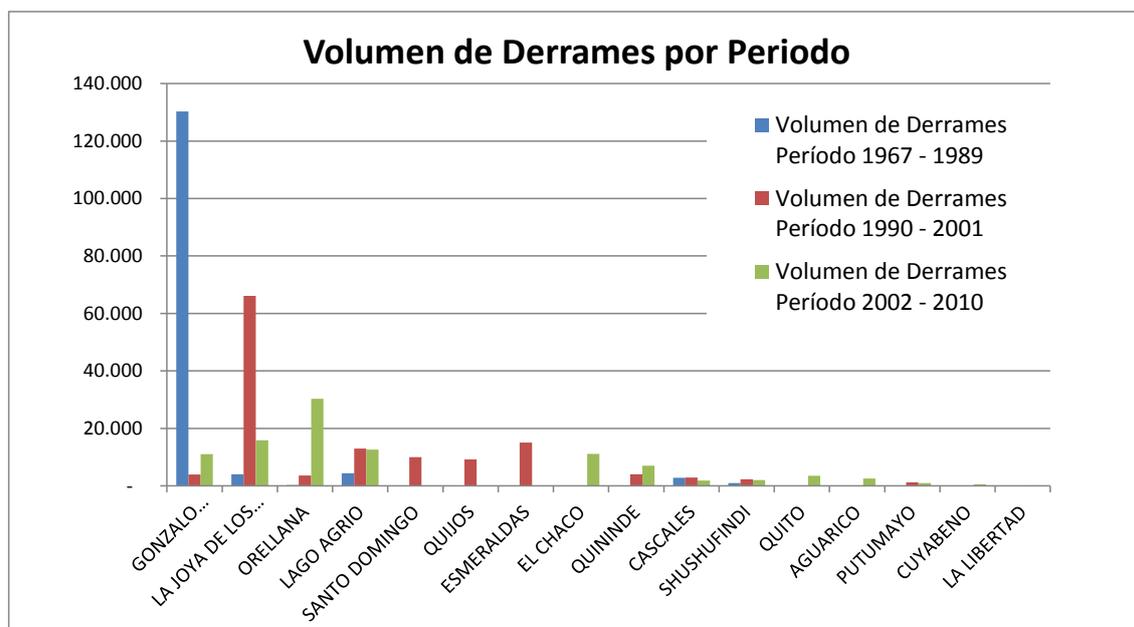
Volumen de derrames por periodo

Tabla 2: Volumen de derrames por periodo (bls)

Cantón	Volumen de Derrames Período 1967 - 1989	Volumen de Derrames Período 1990 - 2001	Volumen de Derrames Período 2002 - 2010	Volumen Total de Derrames	Eventos Derrames
GONZALO PIZARRO	130.290	3.910	11.029	145.234	12
LA JOYA DE LOS SACH	4.013	66.121	15.871	86.005	238
ORELLANA	276	3.607	30.266	34.149	208
LAGO AGRIO	4.377	12.970	12.623	30.028	219
SANTO DOMINGO	-	10.000	-	23.500	3
QUIJOS	-	9.180	-	17.180	9
ESMERALDAS	-	15.084	12	15.096	6
EL CHACO	-	-	11.070	11.070	3
QUININDE	-	4.000	7.008	11.008	6
CASCALES	2.749	2.916	1.835	7.500	15
SHUSHUFINDI	983	2.247	2.025	5.255	133
QUITO	-	-	3.517	3.517	4
AGUARICO	-	-	2.500	2.500	2
PUTUMAYO	-	1.230	977	2.207	40
CUYABENO	-	11	490	1.536	4
LA LIBERTAD	-	-	201	201	15
TOTAL	142.688	131.276	99.424	395.986	917

Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

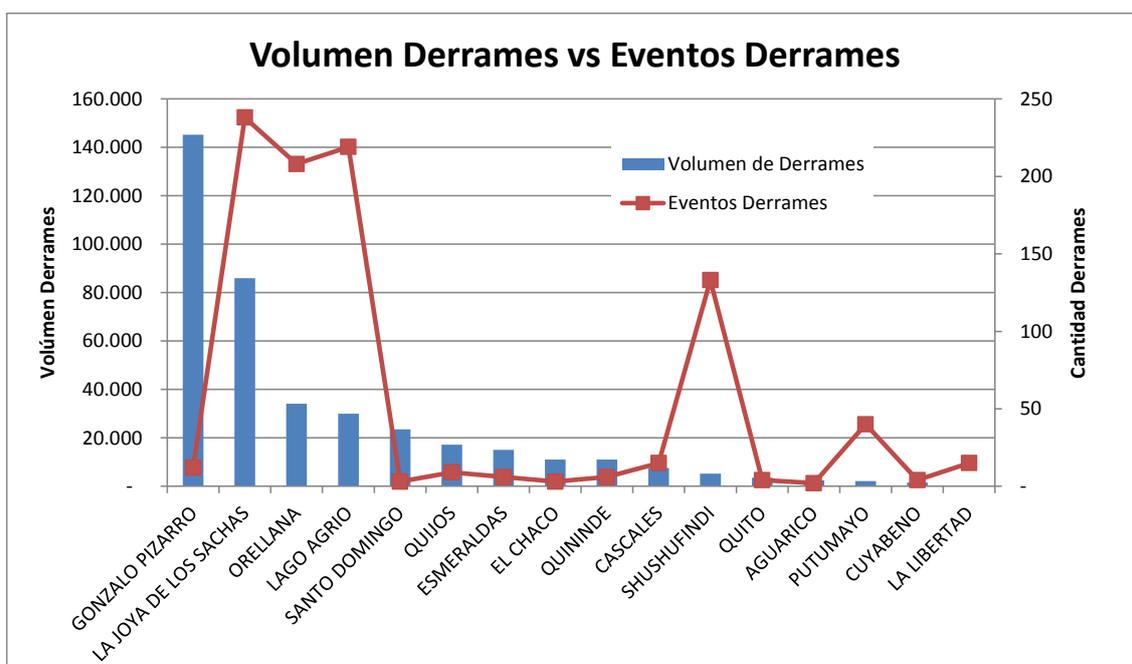
Gráfico 10: Volumen de derrames por periodo (bls)



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Se observa que el cantón con mayor volumen derramado es Gonzalo Pizarro y su mayor periodo de afectación fue en el periodo de 1967 a 1989 con más de 120 mil barriles de crudo derramado. En segundo lugar se encuentra la Joya de los Sachas y se puede observar que su mayor periodo de contaminación corresponde a 1990-2001. Otro hecho importante es que en general los derrames suscitados disminuyen conforme transcurrió el tiempo. Así, durante el periodo 2002- 2010 hay menos derrames en comparación con los otros periodos; y estos no superan el 25% del total de volumen derramado. Un análisis más profundo sobre este hecho podría confirmar si esta disminución se debe a un mayor control del estado sobre los derrames de petróleo o mejor infraestructura.

Gráfico 11: Volumen Derrames (bls) Vs. Eventos Derrames



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Otro hecho importante es comparar el volumen de derrames versus el número de eventos de derrames, en estos valores se puede observar que a pesar de que en Gonzalo Pizarro se registra el mayor volumen de derrames, el número de derrames que registra este cantón no es elevado. Este puede ser explicado debido a que el volumen derramado en Gonzalo Pizarro es producido a través del oleoducto, pues este cantón no cuenta con infraestructura de pozos para la producción hidrocarbúrfica.

En el cantón de Shushufindi se observa lo contrario; el volumen derramado no es de los más altos mientras los eventos de derrames registrados sí.

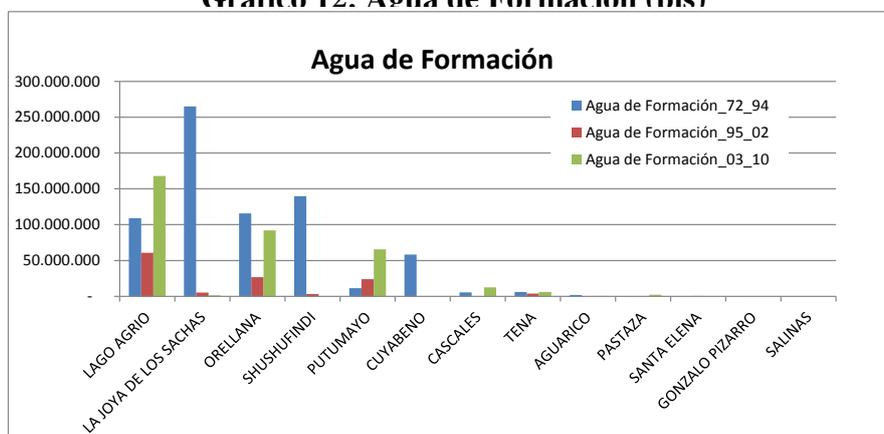
Esto significa que usar la cantidad de eventos de derrames como variable única para medir la presión o contaminación puede llevar a problemas en la estimación de la afectación debido a que el principal componente de la contaminación es el volumen derramado. Esto ocurre precisamente en Gonzalo Pizarro.

Finalmente, cabe mencionar que a pesar de que Santa Elena registra la mayor cantidad de pozos, la contaminación registrada en esta unidad cantonal no se encuentra entre las más afectadas. No es lógico que Santa Elena al ser una de las operaciones más antiguas registre muy poca cantidad de derrames, un análisis más exhaustivo podría indicar si la razón de que en Santa Elena se declaren tan pocos derrames se debe al escaso control y generación de estadísticas para su principal periodo de funcionamiento.

Análisis de aguas de formación por cantón

El agua de formación es un líquido que se encuentra en las reservas del petróleo, es tóxica por su contenido de metales pesados, sodio y sales tóxicas. El volumen de agua de formación aumenta según se drena la reserva de petróleo y un alto contenido de aguas de formación incrementa el costo de la extracción de petróleo. El derrame de estas aguas contamina el agua limpia y el suelo, destruyendo la flora y la fauna por sus compuestos tóxicos. Esta agua puede ser reutilizada o reinyectada en el proceso de extracción petrolera o ser descargada al ambiente cumpliendo procesos de purificación de acuerdo a las leyes ambientales.

Grafico 12: Agua de Formación (hls)

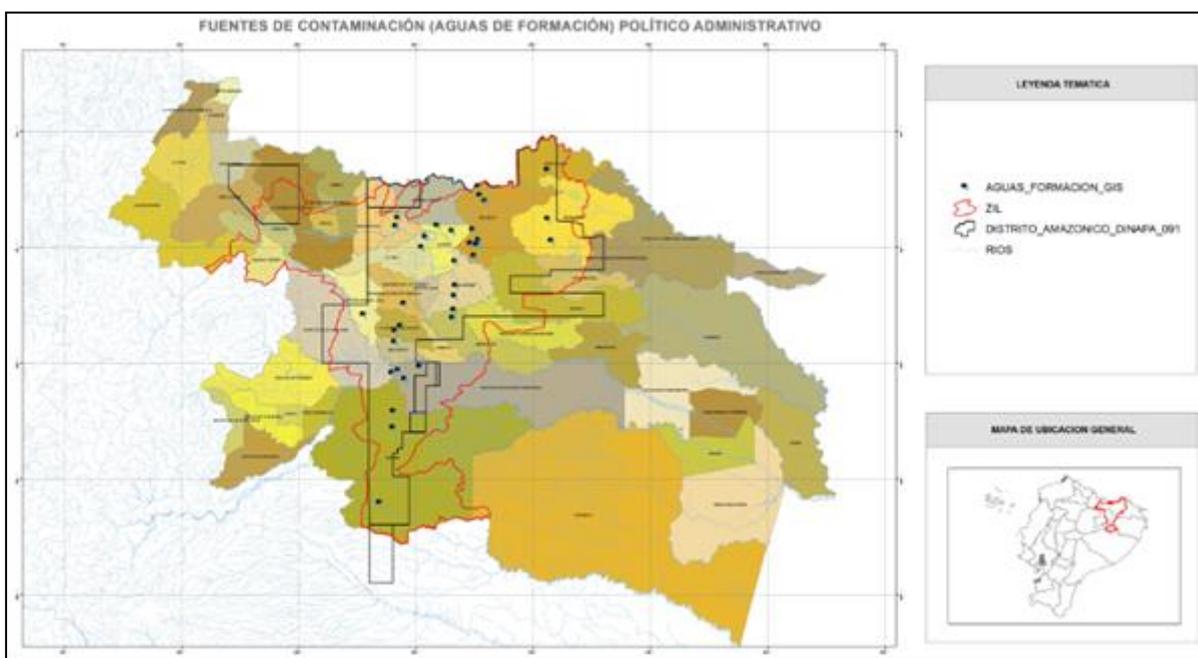


Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Las estadísticas de las aguas de formación muestran, al igual que en los derrames de crudo, que la mayor contaminación se produce en el primer periodo que para esta variable es de 1972 a 1994, y que el cantón con mayor afectación es Shushufindi. Otro resultado importante es que existe incremento de aguas de formación en el último periodo en los cantones de Lago Agrio, Orellana y Putumayo.

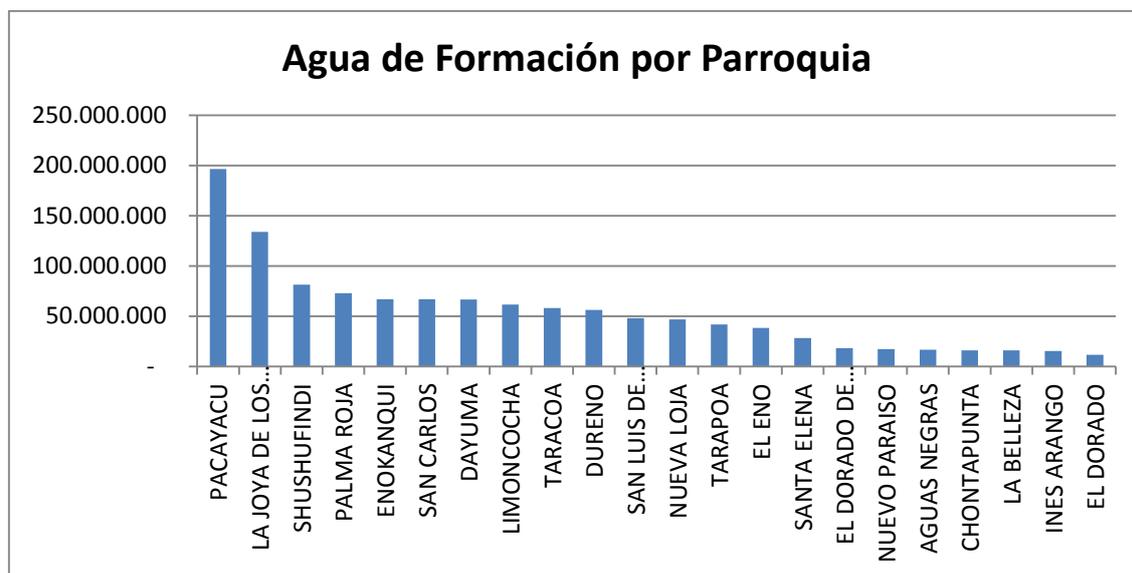
Análisis de aguas de formación por parroquias

Mapa 6: Análisis de aguas de formación por parroquias



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Gráfico 13: Análisis de aguas de formación por parroquia (bls)



Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Se observa que Pacayacu y La Joya de los Sachas son las parroquias que han sufrido mayor descargas de aguas de formación con más de 100 millones de barriles cada una. Adicionalmente la Joya de los Sachas es una de las zonas parroquiales con mayor volumen de derrames por lo que se esperaría que esté presente como una de las zonas más afectadas en el análisis multicriterio.

Análisis de variables ambientales

Las variables ambientales disponibles y consideradas para el análisis son:

- Número de ríos simples
- Cobertura vegetal en la parroquia
- Porcentaje de permeabilidad alta
- Porcentaje de permeabilidad media
- Porcentaje de permeabilidad baja
- Porcentaje de permeabilidad del suelo

A continuación se presentan los valores de cada una de estas variables para las parroquias con mayor volumen de derrames de petróleo.

Tabla 3: Parroquias con mayor volumen de derrames de

PARROQUIA	CANTIDAD RIOS SIMPLES	COBERTURA VEGETAL (ha)	PERMEABILIDAD BAJA	PERMEABILIDAD MEDIA	PERMEABILIDAD ALTA
LUMBAQUI	35	295	59%	24%	17%
LA JOYA DE LOS SACHA	16	196	7%	92%	1%
DAYUMA	92	979	89%	7%	4%
ALLURIQUIN	36	461	80%	0%	19%
PAPALLACTA	18	77	68%	14%	18%
NUEVA LOJA	16	373	70%	25%	4%
SAN MATEO	9	83	66%	20%	15%
EL REVENTADOR	37	541	86%	6%	8%
SANTA ROSA	12	301	88%	12%	0%
PACAYACU	59	861	95%	4%	1%
CUBE	11	67	60%	39%	1%
EL ENO	20	451	64%	36%	0%
SAN CARLOS	10	135	50%	34%	16%
EL DORADO DE CASCAI	45	1002	64%	24%	13%
SHUSHUFINDI	26	451	31%	64%	4%
VICHE	2	34	41%	22%	37%
SEVILLA	8	110	40%	60%	0%
CONONACO	226	5796	90%	5%	5%

Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Las variables ambientales corresponden al año 2008 y son consideradas para el estudio debido a su interpretación al ser relacionadas con la contaminación. Cada una de estas variables no es un indicador de contaminación petrolera por sí misma, sin embargo, sí indican la vulnerabilidad ambiental en caso de suceder un derrame. Por ejemplo una parroquia con una superficie que en su mayoría es de tipo permeable es más vulnerable en caso suceder un derrame debido a que su suelo deja pasar el petróleo derramado a otras áreas y cuerpos hídricos como ríos o acuíferos subterráneos que afectan estos recursos y la flora y fauna que dependen de ellos. Otro ejemplo son los ríos que hacen de medio de transporte del crudo derramado, que destruye a flora y fauna del río.

Por otro lado, es posible relacionar estas variables de vulnerabilidad ambiental con los derrames de crudo y de aguas de formación suscitados en estos lugares. Así por ejemplo, se puede relacionar los derrames con la permeabilidad del suelo y su tipo de vegetación, para medir el impacto de la contaminación por su tipo de suelo. Este indicador permitiría discriminar la afectación de contaminación entre dos lugares que hayan sufrido un volumen similar de derrames pero que tengan diferente tipo de suelo.

Sobre la base de estos indicadores es que se podrá diferenciar la afectación ambiental en las diferentes unidades parroquiales.

Estudios desarrollados en años anteriores (OECD, 1991) proponen distintos métodos de construcción de indicadores de afectación ambiental como: especies vivas,

calidad de agua, suelo, entre otros. Sin embargo la viabilidad de su implementación depende de la disponibilidad de información. Y de hecho para el alcance de esta investigación se toma en cuenta la información disponible comparable para cada unidad parroquial.

Análisis variables sociales

Variables Sociales:

- Población total 2010
- Pobreza por NBI
- Viviendas con acceso a agua segura total
- Viviendas con acceso a agua no segura total
- Total de reclamos por actividades hidrocarburíferas
- Conflictos con actores comunitarios por actividades hidrocarburíferas

Las variables sociales consideran el tamaño de la población en cada unidad parroquial así como también la población pobre por necesidades básicas insatisfechas (NBI) y viviendas que consumen agua no segura. Estas dos últimas con el fin de relacionar la vulnerabilidad social con la contaminación a través del riesgo de consumir agua no segura contaminada. Se muestran valores para las parroquias con mayor volumen de derrames:

Tabla 4: Variables sociales para las parroquias con mayor volumen de derrames

Parroquia	Población total 2010	Pobreza por NBI	Viviendas con Acceso a Agua No Segura	Total Reclamos Zil	Conflictos Actores Comunitarios Zil
LUMBAQUI	3.225	39,3%	37%	4	0
LA JOYA. SACHA	17.934	43,3%	48%	1	0
DAYUMA	6.298	82,7%	95%	73	5
ALLURIQUIN	8.711	75,0%	85%	1	0
PAPALLACTA	920	33,8%	46%	2	0
NUEVA LOJA	53.502	56,6%	63%	26	7
SAN MATEO	5.058	78,7%	68%	1	0
EL REVENTADOR	1.501	53,0%	60%	6	1
SANTA ROSA	1.243	46,7%	56%	1	0
PACAYACU	8.249	80,5%	93%	11	1
CUBE	3.447	94,1%	97%	3	1
EL ENO	6.636	87,3%	87%	1	0
SAN CARLOS	2.846	76,8%	87%	0	0
EL DORADO.	7.556	67,1%	62%	35	4
SHUSHUFINDI	26.376	58,0%	53%	6	0
VICHE	5.292	70,0%	73%	3	0
SEVILLA	2.749	51,4%	51%	13	1
CONONACO	234	98,7%	100%	3	1

Fuente: Ministerio del Ambiente (2010)

Las variables sociales, como se puede observar, indican vulnerabilidad social frente al riesgo de derrames de petróleo. Se puede ver que parroquias como Cube o Viche tendrían mucha más afectación social en caso de tener un derrame debido a que el porcentaje de pobreza y viviendas que consumen agua no segura es alto. Sin embargo, si estas parroquias no tienen riesgo de derrame; es decir, no tienen infraestructura petrolera ni tampoco oleoductos o se encuentran fuera de alcance de alguna de estas fuentes de contaminación petrolera, entonces, a pesar de su alto porcentaje de pobreza y consumo de agua no segura, no tendrían afectación social por derrames petroleros. Por esta razón, para el objetivo de encontrar las parroquias más afectadas por contaminación petrolera, es indispensable trabajar con indicadores que relacionen la vulnerabilidad con la contaminación.

Indicadores de afectación

El análisis de las variables permitió tener una primera aproximación sobre el estado y afectación de las unidades parroquiales. A partir de esta información se validó la relación que podría existir entre las variables hacia el objetivo de realizar un ordenamiento para la priorización de zonas afectadas. Los criterios para la construcción de indicadores de afectación se basan principalmente en el enfoque del modelo PER de la OECD (1993), revisado en el capítulo uno; de acuerdo a la disponibilidad de información y a la interpretación conceptual de la medición de afectación en el sentido social y ambiental. Por otro lado, también se considera el objetivo de construir un modelo de análisis multicriterio que permita agregar la información de los indicadores para finalmente obtener una jerarquización según la afectación por derrames de crudo y aguas de formación. Para el análisis del impacto ambiental que tiene la extracción petrolera en Ecuador, los indicadores podrían ser definidos de la siguiente manera:

Indicadores de presión

Son las presiones sobre el ambiente como resultado de las actividades relacionadas directa o indirectamente con la actividad hidrocarburífera. Las presiones pueden ser consideradas de manera cuantitativa o cualitativa en función de la afectación que tiene el ambiente en términos de calidad y cantidad de los recursos. Por supuesto, desde un

enfoque postnormal propio de la economía ecológica, se reconoce la pluralidad e inconmensurabilidad de los valores del ambiente y se conoce de antemano que la situación descrita en los indicadores parte del interés del enfoque de la investigación y de las limitaciones de la disponibilidad de información.

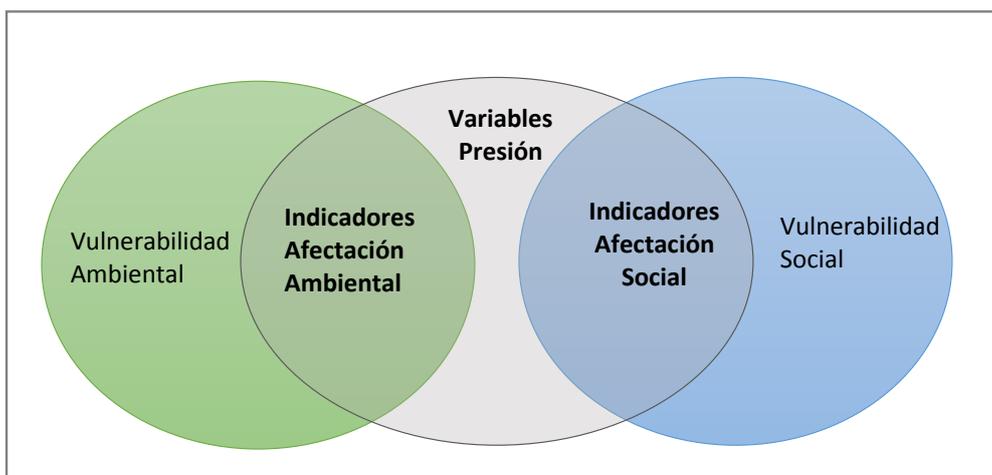
El número y el volumen de derrames de petróleo, y el volumen de aguas de formación, son indicadores suficientes para medir la presión ambiental directa por actividades de extracción petrolera, objetivo de este proyecto de tesis. Es importante mencionar que si bien existen muchas otras presiones por extracción petrolera como las emisiones de gases de efecto invernadero, o la deforestación por construcciones viales y de infraestructura, por la colonización de áreas de bosque, por el incremento de la agricultura, la ganadería y el comercio, todas estas presiones no se encuentran en la información disponible y de igual manera escapan al alcance de la presente investigación.

Indicadores de estado

Indicadores de estado para la actividad hidrocarburífera serían la calidad del aire, la calidad del agua, la calidad de los suelos, calidad de la biodiversidad, entre otros. A nivel social podríamos citar indicadores de salud, pobreza y cultura de las poblaciones afectadas. La información disponible comprende el área de cobertura vegetal, la cantidad de ríos que tienen riesgo de ser contaminados y el tipo de permeabilidad del suelo. Si bien esta información no necesariamente indica la calidad o la cantidad de los recursos como se conceptualiza en el modelo PER, estas variables muestran importante información sobre la vulnerabilidad del ecosistema en caso de ser expuesto a eventos de derrames de crudo o acumulación de aguas de formación. En este sentido la estructura del modelo PER es extrapolada a la información disponible, pues se estudia la relación que existe entre la vulnerabilidad y la contaminación, cuya combinación configuraría diferentes grados de afectación. Por ejemplo una zona con una mayor permeabilidad es más vulnerable ante un evento de derrame, pues en caso de existir, el suelo no podría impedir que los derrames se filtren a acuíferos subterráneos y contaminen fuentes de agua pura y extiendan su zona de afectación. De igual manera sucede con los derrames que se suscitan en lugares donde existen ríos, al llegar a estos, el alcance de la contaminación es mayor.

Al asociar el nivel de vulnerabilidad con el nivel de contaminación se podrá hablar de niveles de afectación para las diferentes zonas contaminadas. Posteriormente esta información formará parte del modelo multicriterio. En el siguiente gráfico se muestra como los indicadores de afectación ambiental y afectación social son conformados en función de la información de vulnerabilidad ambiental, vulnerabilidad social y las variables de presión o contaminación.

Gráfico 14: Nivel de vulnerabilidad Vs. Nivel de contaminación



Elaborado por: Autor

Respecto al ámbito de respuesta del modelo PER, lo que se busca es crear un ordenamiento para la priorización de áreas intervenidas por contaminación causada por derrames de petróleo y aguas de formación. Por lo tanto, este ordenamiento sería un instrumento para una adecuada respuesta de gestión ambiental en el marco del modelo PER. A continuación se presentan los indicadores propuestos

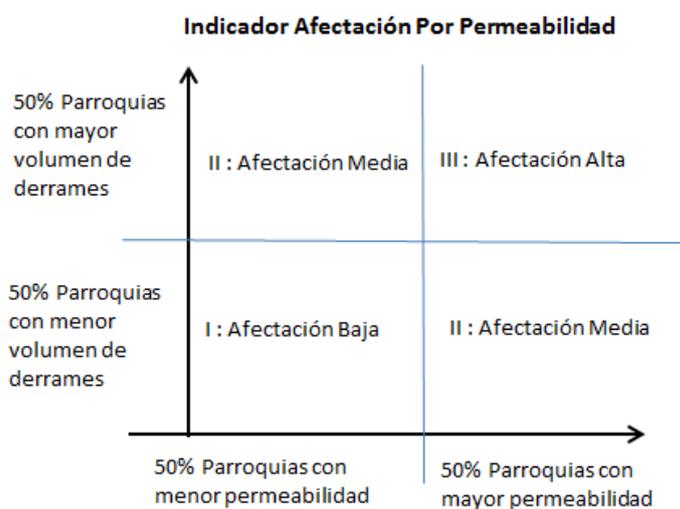
Indicadores de afectación ambiental

- Afectación por permeabilidad
- Tasa de derrames por cobertura vegetal
- Promedio de derrames por ríos simples
- Tasa de aguas formación por cobertura vegetal
- Promedio de volumen de agua de formación descargado al ambiente por ríos simples

Afectación por permeabilidad

El objetivo de estos indicadores es medir el efecto ambiental que se podría derivar de la existencia de derrames en zonas de suelos altamente permeables. Para esto, se analizan las variables volumen de derrames y porcentaje de permeabilidad del suelo en cada una de las parroquias que han sufrido algún derrame de petróleo y se ha construido una variable categórica con el objetivo de ranquear la afectación. Este indicador de afectación está dividido en tres categorías: baja, media y alta, las categorías han sido propuestas de acuerdo a la distribución de las variables de derrames y permeabilidad que la conforman, de manera que cada categoría represente un segmento jerarquizado de afectación, esto contribuirá al posterior análisis multicriterio que busca la jerarquización de zonas de intervención. Cuando una parroquia se encuentra entre el 50% de parroquias con mayor volumen derramado y el 50% con mayor permeabilidad del suelo, la afectación que tiene esta parroquia es la más alta. Si la parroquia se encuentra por debajo del 50% en ambas variables su descripción de afectación es baja. Y en caso de no ser ni alta, ni baja, su descripción es media. Esto se muestra en el siguiente gráfico:

Gráfico 15: Indicador Afectación de Permeabilidad

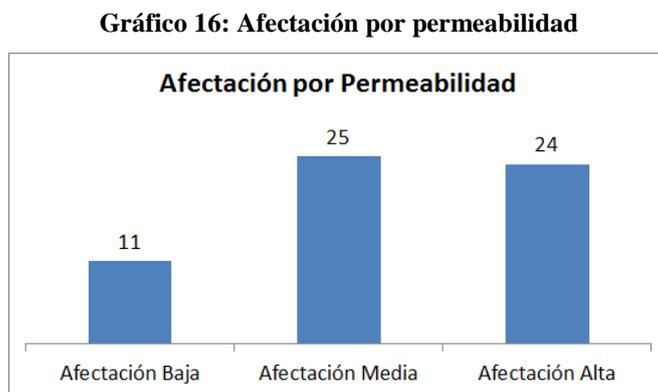


Elaborado por: Autor

Dado que el objetivo es ordenar las parroquias con mayor afectación ambiental, la construcción de este indicador es distributiva según los valores que tengan las

parroquias, es decir, los puntos de corte que definen las categorías del indicador han sido fijados según la distribución de las variables que lo conforman.

A continuación se muestra la distribución de este indicador:



Elaborado por: Autor

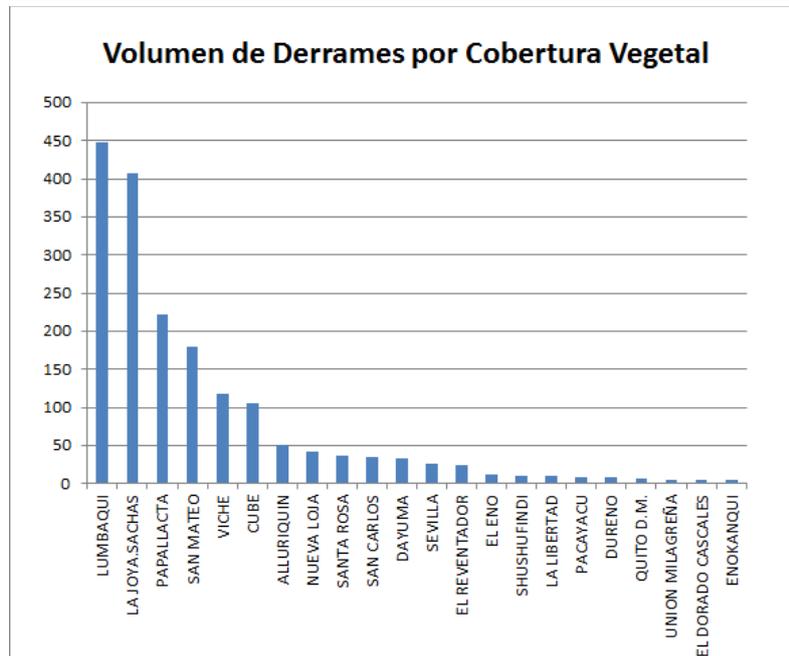
Tasa de derrames por cobertura vegetal

Este indicador mide la afectación de la cobertura vegetal debido a los derrames de crudo que existe entre los derrames y la cobertura vegetal. Su fórmula de cálculo es la siguiente:

$$\text{Tasa de derrames por cobertura vegetal} = \frac{\text{Volumen de derrames (bls)}}{\text{Cobertura vegetal (ha)}}$$

A continuación se muestra la distribución de este indicador:

Gráfico 17: Volumen de derramen por cobertura vegetal



Elaborado por: Autor

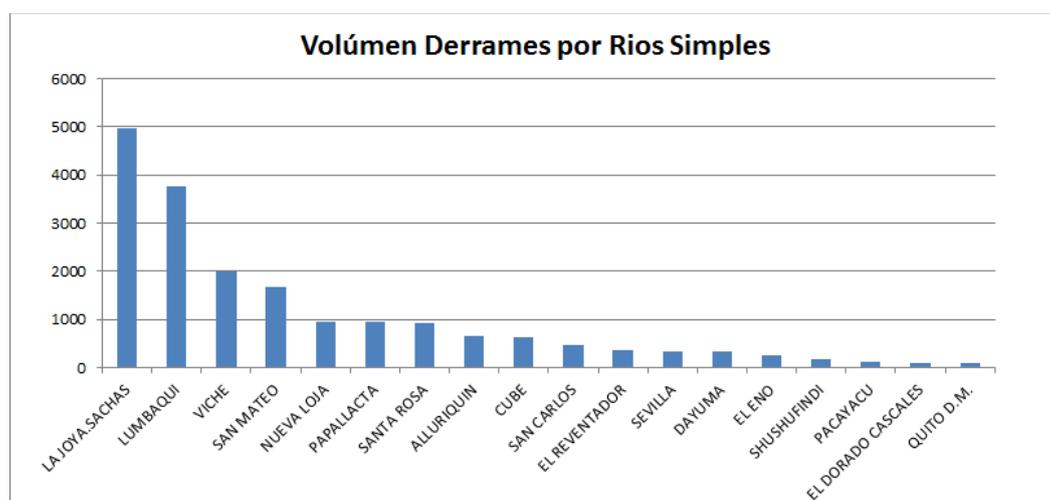
Se puede observar que Lumbaqui y la Joya de los Sachas son las parroquias con mayor volumen de derrames por cobertura vegetal, ambas tienen más de 400 barriles de derrames por cada hectárea de cobertura vegetal.

Indicador de promedio de derrames de crudo por ríos simples

Este indicador relaciona el volumen de derrames y la cantidad de ríos. El objetivo es medir una mayor afectación que tienen las parroquias al transportarse los derrames de petróleo a través de los ríos y la propia contaminación de los mismos dañando la pureza de su agua.

$$\text{Tasa de derrames por ríos simples} = \frac{\text{Volumen de derrames (bls)}}{\text{Ríos simples}}$$

Gráfico 18: Volumen de derramen por ríos simples



Elaborado por: Autor

Se puede observar que Lumbaqui y La Joya de los Sachas son las parroquias más afectadas, un segundo grupo de parroquias afectadas son Papallacta, San Mateo y Viche.

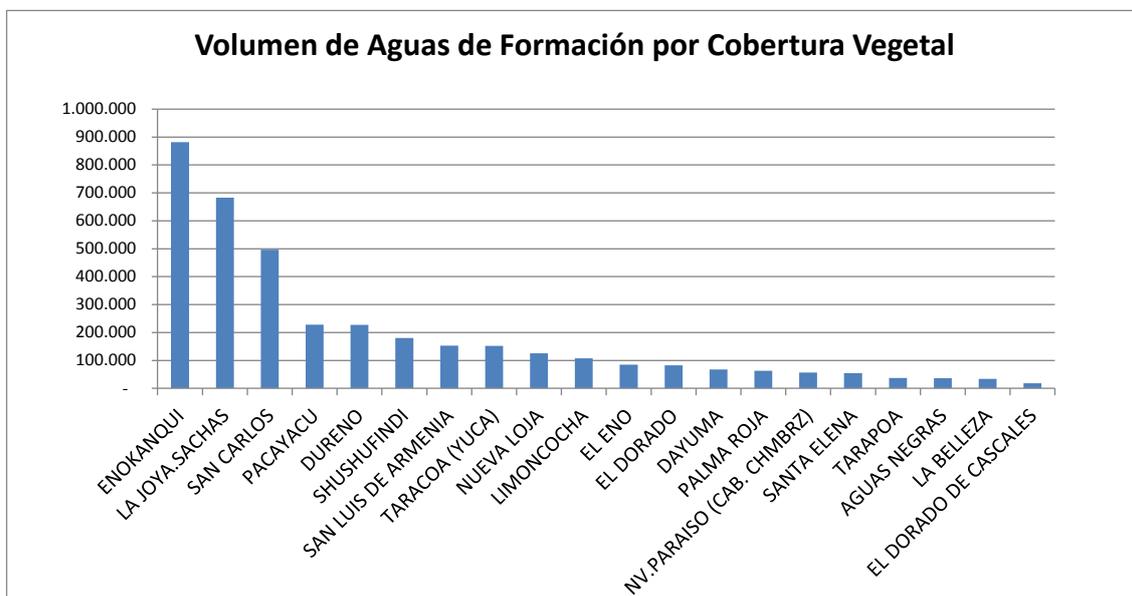
Indicadores de afectación por aguas de formación

Dado que la contaminación por la extracción de crudo no se debe únicamente a derrames del mismo sino también a la generación de aguas de formación, estas también han sido consideradas para la construcción de indicadores de afectación.

Indicador de aguas de formación por cobertura vegetal:

$$\text{Aguas de formación por cobertura vegetal} = \frac{\text{Aguas de form (bls)}}{\text{Cobertura vegetal (ha)}}$$

Gráfico 19: Volumen de Aguas de Formación por Cobertura Vegetal



Elaborado por: Autor

Indicador de aguas de formación por ríos simples

$$\text{Aguas de formación por ríos simples} = \frac{\text{Aguas de formación (bls)}}{\text{Ríos simples}}$$

Los indicadores de afectación ambiental por aguas de formación presentan nuevas parroquias a las mostradas por los indicadores de afectación de derrames de crudo. Las parroquias de Enokanki y San Luis de Armenia se encuentran entre las parroquias más afectadas por aguas de formación.

Indicadores de afectación social

Los indicadores de afectación social buscan medir la afectación que los derrames de petróleo y las aguas de formación hacen a la sociedad.

- Riesgo de afectación de la población por el volumen derramado de petróleo
- Riesgo de afectación de la población en situación de pobreza por el volumen derramado de petróleo
- Riesgo de afectación de la población por el volumen de agua de formación descargado al ambiente

- Riesgo de afectación de las viviendas que consumen agua no segura por derrames de petróleo
- Riesgo de afectación de las viviendas que consumen agua no segura por volumen descargado al ambiente de agua de formación
- Tasa de reclamos por mil habitantes
- Tasa de reclamos por mil habitantes pobres
- Tasa de conflictos por mil habitantes
- Tasa de conflictos por mil habitantes pobres

La forma de cálculo de cada uno de estos indicadores es la siguiente:

Grafico 20: Cálculo de indicadores de afectación social

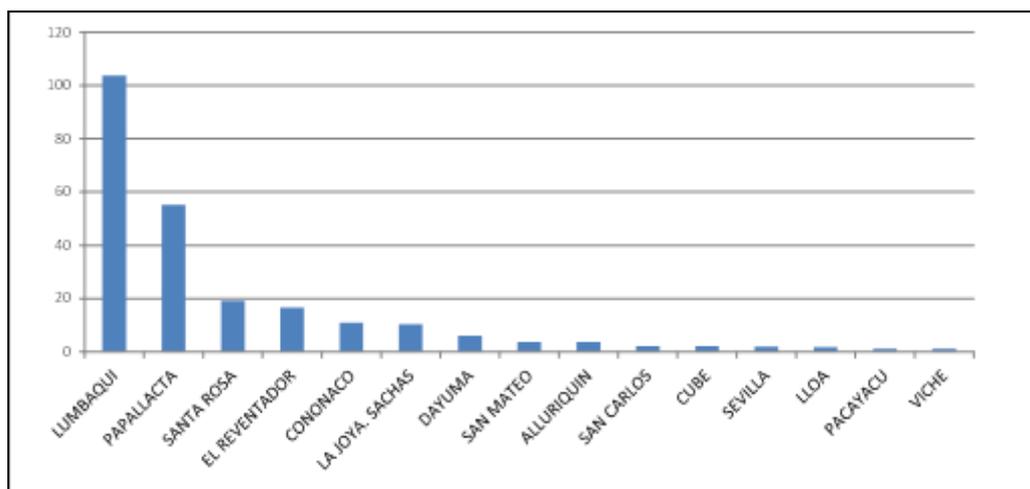
Indicador	Fórmula de cálculo
Riesgo de afectación de la población por el volumen derramado de petróleo	$\frac{\text{Volumen de Derrames (bls)}}{\text{Cantidad de Habitantes}}$
Riesgo de afectación de la población en situación de pobreza por el volumen derramado de petróleo	$\frac{\text{Volumen de Derrames (bls)}}{\text{Cantidad de Habitantes Pobres}}$
Riesgo de afectación de la población por el volumen de agua de formación descargado al ambiente	$\frac{\text{Agua de Formación (bls)}}{\text{Cantidad de Habitantes}}$
Riesgo de afectación de las viviendas que consumen agua no segura por derrames de petróleo	$\frac{\text{Volumen de Derrames (bls)}}{\text{Viviendas que consumen Agua No Segura}}$
Riesgo de afectación de las viviendas que consumen agua no segura por volumen descargado al ambiente de agua de formación	$\frac{\text{Agua de Formación (bls)}}{\text{Viviendas que consumen Agua No Segura}}$
Tasa de reclamos por mil habitantes pobres	$\frac{\text{Cantidad de Reclamos}}{\text{Cantidad de Habitantes Pobres (En miles)}}$
Tasa de conflictos por mil habitantes	$\frac{\text{Cantidad de Conflictos}}{\text{Cantidad de Habitantes (En miles)}}$
Tasa de conflictos por mil habitantes pobres	$\frac{\text{Cantidad de Conflicto}}{\text{Cantidad de Habitantes Pobres (En miles)}}$

Elaborado por: Autor

El riesgo de afectación social dependerá de la relación que exista entre las variables de contaminación y las variables sociales, así por ejemplo las parroquias que hayan sufrido contaminación y tengan un mayor porcentaje de pobreza o un mayor porcentaje de

viviendas que consumen agua no segura tendrán mayor afectación. A continuación se muestran algunos resultados de estos indicadores:

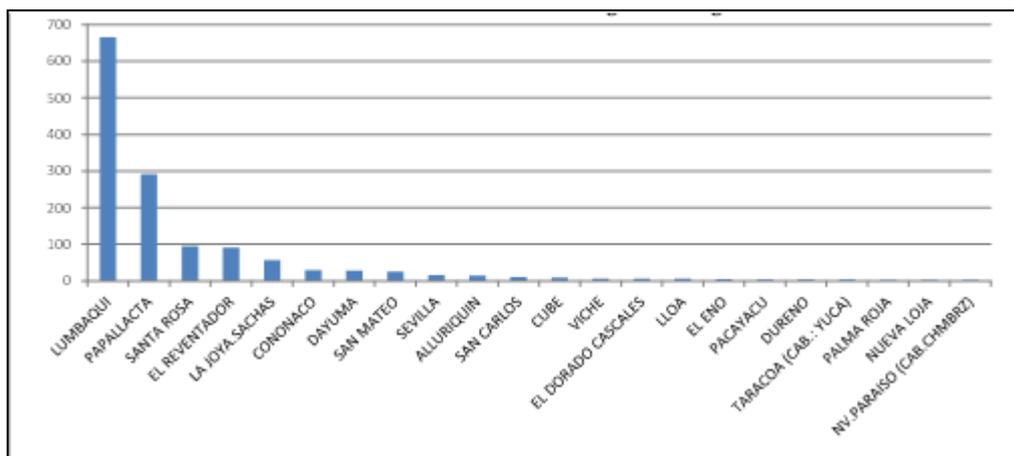
Grafico 21: Riesgo de afectación de la población en situación de pobreza por el volumen derramado de petróleo



Elaborado por: Autor

El indicador del volumen de derrames con riesgo de afectación a pobres, muestra a Lumbaqui como la parroquia con mayor afectación. Este resultado se da ya que Lumbaqui se encuentra como una de las parroquias más afectadas en el análisis de indicadores de afectación ambiental como en el análisis de los indicadores de afectación social.

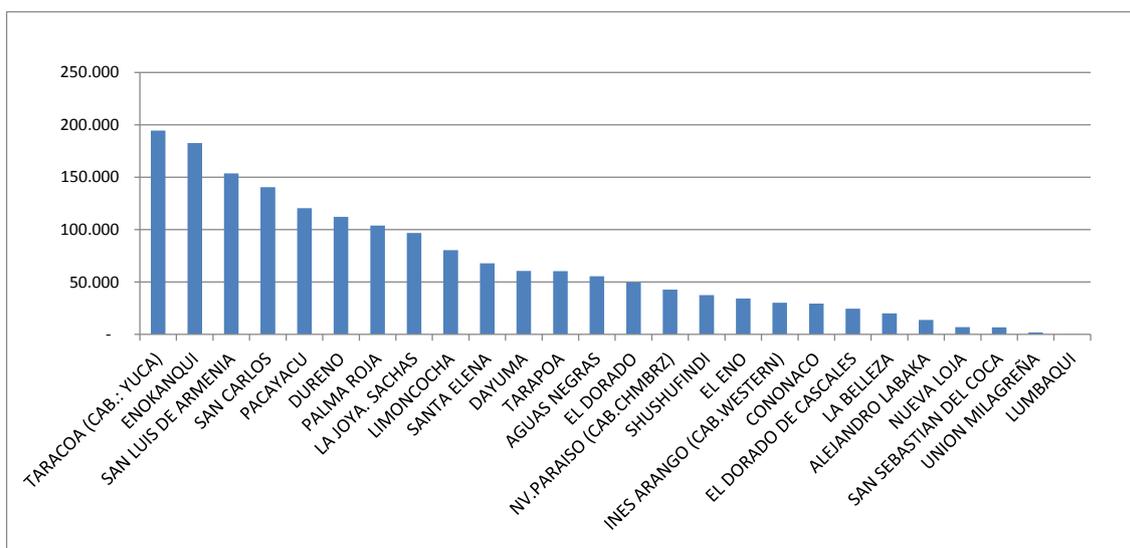
Gráfico 22: Riesgo de afectación de viviendas que consumen agua no segura por derrames de petróleo



Elaborado por: Autor

De manera similar el indicador que relaciona los derrames con las viviendas que consumen agua no segura presenta a parroquias que no se encontraban entre las más afectadas en el análisis de indicadores ambientales. Las parroquias de Papallacta y Santa Rosa se encuentran con valores más altos que las Joya de los Sachas, que siempre se encontraba en primer o segundo lugar de afectación en los indicadores de afectación ambiental.

Gráfico 23: Riesgo de afectación de viviendas que consumen agua no segura por derrames de agua de formación



Elaborado por: Autor

El indicador que relaciona las aguas de formación con las viviendas que consumen agua no segura muestra a parroquias como Taracoa, Enokanki, San Luis de Armenia como las parroquias con mayor afectación por aguas de formación.

Adicionalmente se debe considerar que los valores de estos indicadores pueden variar según sus componentes y cuyo valor debe ser interpretado en función de otros valores; por ejemplo, un nivel considerable de derrames asociado con un nivel muy alto de población puede resultar en indicador con un nivel de medición bajo debido básicamente al alto nivel de población lo que podría llevar a un mal ordenamiento de zonas de intervención. Para eliminar este riesgo se considera adicionalmente el nivel bruto de afectación de manera que el ordenamiento sea en conjunto entre el valor del indicador y nivel total de afectación.

Una vez que han sido construidos los indicadores de afectación ambiental y afectación social, se procede a la construcción del modelo multicriterio.

Conclusiones

En el análisis de la información desarrollado en este capítulo ha sido posible el objetivo de construir indicadores que puedan ser considerados en el análisis multicriterio. La información disponible comprende el área de cobertura vegetal, la cantidad de ríos que tienen riesgo de ser contaminados y el tipo de permeabilidad del suelo. Si bien la información no necesariamente indica la calidad o la cantidad de los recursos como se conceptualiza en el modelo PER revisado en el marco teórico, estas variables muestran importante información sobre la vulnerabilidad del ecosistema en caso de ser expuesto a eventos de derrames de crudo o acumulación de aguas de formación. En este sentido la estructura del modelo PER es extrapolada a la información disponible, pues se estudia la relación que existe entre la vulnerabilidad y la contaminación, cuya combinación configuraría diferentes grados de afectación.

Por otro lado el análisis de variables y construcción de indicadores ha permitido hacer un estudio univariado de las zonas. Por ejemplo se tiene que mientras la zona San José de Ancón tiene la mayor cantidad de pozos, la zona Gonzalo Pizarro es la que más volumen de derrames tiene, Dayuma es una de las zonas con mayor porcentaje de pobreza por NBI. Esto es importante porque ha permitido constatar que no necesariamente existe una zona que esté afectada en todas las dimensiones y por tanto

el análisis multicriterio tiene mayor relevancia. Además el conocer las zonas importantes según cada variable será de gran utilidad al momento de comparar el resultado del análisis multicriterio, se esperaría que el modelo sea congruente con el análisis realizado en este capítulo.

CAPÍTULO IV MODELO MULTICRITERIO

El objetivo del presente capítulo es la jerarquización de las zonas de intervención por reparación ambiental debido a la afectación hidrocarburífera por derrames de petróleo y aguas de formación. Con este propósito se aplica un análisis multicriterio. Para ello, en la primera sección se detallan los componentes de la matriz de impactos. En la segunda sección se explica y se aplica el método de agregación multicriterial para definir la jerarquización de áreas de intervención. Finalmente, en la última sección se muestran los resultados del modelo y un análisis de sensibilidad del mismo.

Elementos para el análisis multicriterio

En la presente sección se muestra el desarrollo del modelo multicriterio aplicado para la jerarquización de intervenciones de reparación en territorios afectados por actividades hidrocarburíferas.

Dada la complejidad que representa decidir cuál es la zona con mayor afectación socio-ambiental debido al análisis simultáneo del nivel de contaminación, la vulnerabilidad social y la vulnerabilidad ambiental, el análisis multicriterio constituye una técnica apropiada para el tratamiento de este problema. Los elementos que se deben considerar son (Pomerol y Barba-Romero, 2000):

- El decisor
- El conjunto de alternativas
- Criterios
- El conjunto de preferencias de las características

Decisor

El decisor es el individuo o grupo de individuos, que tienen juicios de valor para la preferencia entre las alternativas o la posterior elección.

Conjunto de alternativas

El conjunto de alternativas es el espacio de posibles elecciones y es generalmente representado como $A = (A_1, A_2, A_3 \dots A_n)$. Para la presente investigación las alternativas son las parroquias que han sufrido algún tipo de contaminación petrolera:

Tabla 5: Alternativas

N	Provincia	Cantón	Parroquia
1	ESMERALDAS	ESMERALDAS	ESMERALDAS
2	ESMERALDAS	ESMERALDAS	SAN MATEO
3	ESMERALDAS	QUININDE	ROSA ZARATE
4	ESMERALDAS	QUININDE	CUBE
5	ESMERALDAS	QUININDE	VICHE
6	NAPO	EL CHACO	SANTA ROSA
7	NAPO	QUIJOS	PAPALLACTA
8	PICHINCHA	QUITO	QUITO METROPOLITANO DISTRITO
9	PICHINCHA	QUITO	LLOA
10	SUCUMBIOS	LAGO AGRIO	NUEVA LOJA
11	SUCUMBIOS	LAGO AGRIO	DURENO
12	SUCUMBIOS	LAGO AGRIO	GENERAL FARFAN
13	SUCUMBIOS	LAGO AGRIO	EL ENO
14	SUCUMBIOS	LAGO AGRIO	PACAYACU
15	SUCUMBIOS	LAGO AGRIO	SANTA CECILIA
16	SUCUMBIOS	GONZALO PIZARRO	LUMBAQUI
17	SUCUMBIOS	GONZALO PIZARRO	EL REVENTADOR
18	SUCUMBIOS	GONZALO PIZARRO	GONZALO PIZARRO
19	SUCUMBIOS	PUTUMAYO	PALMA ROJA
20	SUCUMBIOS	PUTUMAYO	SANTA ELENA
21	SUCUMBIOS	SHUSHUFINDI	SHUSHUFINDI
22	SUCUMBIOS	SHUSHUFINDI	LIMONCOCHA
23	SUCUMBIOS	SHUSHUFINDI	SIETE DE JULIO
24	SUCUMBIOS	CASCALES	EL DORADO DE CASCALES
25	SUCUMBIOS	CASCALES	SEVILLA
26	SUCUMBIOS	CUYABENO	TARAPOA
27	SUCUMBIOS	CUYABENO	AGUAS NEGRAS
28	ORELLANA	ORELLANA	PUERTO FRANCISCO DE ORELLANA
29	ORELLANA	ORELLANA	DAYUMA
30	ORELLANA	ORELLANA	TARACOA
31	ORELLANA	ORELLANA	ALEJANDRO LABAKA
32	ORELLANA	ORELLANA	EL DORADO
33	ORELLANA	ORELLANA	INES ARANGO
34	ORELLANA	ORELLANA	LA BELLEZA
35	ORELLANA	ORELLANA	NUEVO PARAISO

36	ORELLANA	ORELLANA	SAN JOSE DE GUAYUSA
37	ORELLANA	ORELLANA	SAN LUIS DE ARMENIA
38	ORELLANA	AGUARICO	CONONACO
39	ORELLANA	LA JOYA DE LOS SACHAS	LA JOYA DE LOS SACHAS
40	ORELLANA	LA JOYA DE LOS SACHAS	ENOKANQUI
41	ORELLANA	LA JOYA DE LOS SACHAS	SAN CARLOS
42	ORELLANA	LA JOYA DE LOS SACHAS	SAN SEBASTIAN DEL COCA
43	ORELLANA	LA JOYA DE LOS SACHAS	UNION MILAGREÑA
44	STO DGO DE LOS TSACHILAS	SANTO DOMINGO	ALLURIQUIN
45	SANTA ELENA	LA LIBERTAD	LA LIBERTAD

Las características de las alternativas

Los criterios de las alternativas son atributos de tipo cualitativo o cuantitativo que son usados para medir el logro de objetivos de cada una de las alternativas. Puede ser representado como $B = (B_1, B_2, B_3 \dots B_m)$. Para la presente investigación los criterios son los indicadores de afectación ambiental, los indicadores de afectación social y la presión o también llamada contaminación hidrocarburífera que forman parte de la dimensión ambiental, la dimensión social y la dimensión de presión respectivamente

Conjunto de preferencias de las alternativas

Conocidos también como criterios de evaluación, la preferencia es la cuantificación de la medida de logro de los objetivos que se desea alcanzar con la elección de las alternativas posibles. Estos son representados como funciones de evaluación de cada uno de los criterios. $F(B_i)$, con $i = 1, 2, 3 \dots m$

Dado que los criterios de evaluación son indicadores de afectación, se busca maximizar cada uno de estos indicadores para determinar una jerarquía de afectación. Por tal razón, las funciones de evaluación son monótonas crecientes y su forma será de acuerdo a la función de distribución de cada indicador.

Las alternativas y sus descripciones a través de las medidas de sus variables características son la parte objetiva de un problema de decisión. Por otro lado, las preferencias descritas, los pesos y la relación entre ellas, son la parte subjetiva de un problema de decisión (Logical Decisions, 2008). Estas distinciones en los problemas de decisión nos permiten separar claramente la parte objetiva y la parte subjetiva de un problema de decisión.

La teoría de decisión multicriterio provee métodos para tratar ambas partes objetiva y subjetiva de la decisión y tenerlas identificadas. Para el problema planteado, la descripción de las parroquias a través de los indicadores de afectación y contaminación son la parte objetiva del problema. Por otro lado, los pesos de los diferentes indicadores y la interacción entre ellos son la parte subjetiva del problema.

Matriz de impacto

Dado que el objetivo es identificar un ordenamiento de parroquias según afectación socio-ambiental por contaminación petrolera, la matriz de impacto queda de la siguiente manera:

Tabla 6: Matriz de Impacto

Dimensiones y Variables	Forma de Cálculo	Unidades	Tipo	Objetivo	Alternativas (Parroquias)				
					P1	P2	P3	...	P45
Dimensión Afectación Social									
Tasa per cápita de volumen derramado	Derrames / Cant. Habitantes	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Tasa per cápita de volumen derramado en población en situación de pobreza	Derrames / Cant. Habitantes pobres	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Tasa per cápita de volumen de agua de formación descargado al ambiente	Agua de Formación / Cant. Habitantes	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Promedio de volumen de crudo derramado por vivienda con agua no segura	Agua de Formación / Cant. Viviendas Agua No Seg	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Promedio de volumen descargado al ambiente de agua de formación por vivienda con agua no segura	Derrames / Cant. Viviendas Agua No Seg	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Tasa de reclamos por mil habitantes	Cant. Reclamos / (Habitantes/1000)	Reclamos	Cuantitativa	Maximizar					
Tasa de reclamos por mil habitantes pobres	Cant. Reclamos / (Hab. Pobres/1000)	Reclamos	Cuantitativa	Maximizar					
Tasa de conflictos por mil habitantes	Cant. Conflictos / (Habitantes/1000)	Conflictos	Cuantitativa	Maximizar					
Tasa de conflictos por mil habitantes pobres	Cant. Conflictos / (Hab. Pobres/1000)	Conflictos	Cuantitativa	Maximizar					
Dimensión Afectación Ambiental				Maximizar					
Afectación por Permeabilidad	Catórica		Catórica	Maximizar					
Tasa de Derrames por Cobertura Vegetal	Derrames/Cobertura Vegetal	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Tasa de Agua Formación por Cobertura Vegetal	Agua de Formación / Cobertura Vegetal	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Promedio de derrames por ríos simples	Derrames/Cant Ríos Simples	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Promedio de volumen de agua de formación descargado al ambiente por ríos simples	Agua de Formación / Cant Ríos Simples	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Dimensión Presión por Derrames			Cuantitativa	Maximizar					
Volumen de crudo derramado	Volumen Derramado	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					
Agua de Formación descargada	Agua de Formación descargada	Barriles	Cuantitativa	Maximizar					

Elaborado por: Autor

Funciones de homologación y método de agregación

Para que las diferentes opciones puedan ser evaluadas y comparadas en los diferentes criterios y posteriormente agregadas en las diferentes dimensiones es necesario

convertir todas en una misma escala de medida. Existen dos formas de hacer puntuaciones que son:

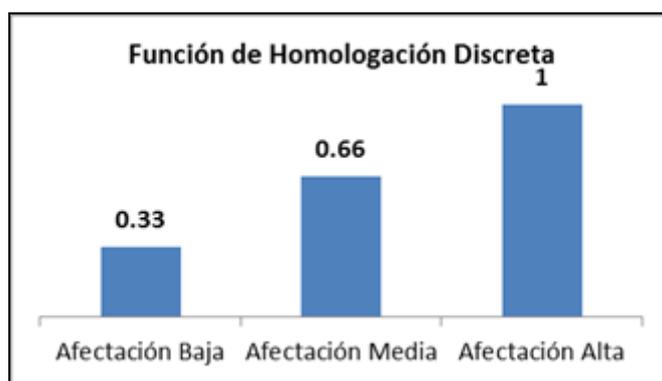
- Clasificación Directa
- Clasificación Indirecta

La clasificación que se utilizará en este estudio es la clasificación directa

Funciones de homologación para funciones discretas:

La variable discreta afectación por permeabilidad tiene 3 valores: descripción de afectación baja, media y alta respectivamente. Para este caso la función de valor tomará los valores 0.33, 0.66 y 1 respectivamente.

Grafico 24: Función de Homologación Discreta

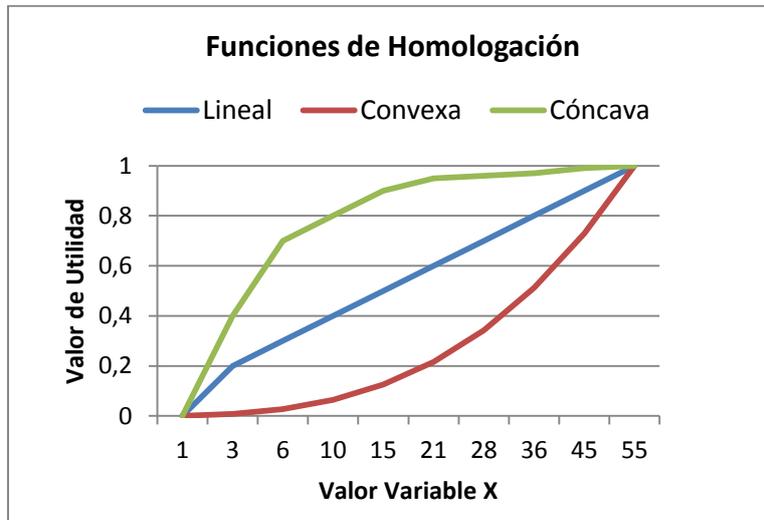


Elaborado por: Autor

Función de homologación para funciones continuas:

Para la homologación de estas funciones se debe considerar que puntos, del rango de valores, serán considerados como mínimo y máximo para ser asignados al valor 0 y 1 o viceversa según el objetivo de maximizar o minimizar el indicador. A partir de esto se debe definir cuáles serán los valores intermedios del rango entre los valores mínimos y máximos. Para esto, existen varias funciones de valor que pueden ser lineales, convexas o cóncavas pero siempre monótonas.

Gráfico 25: Función de Utilidad Para una Variable

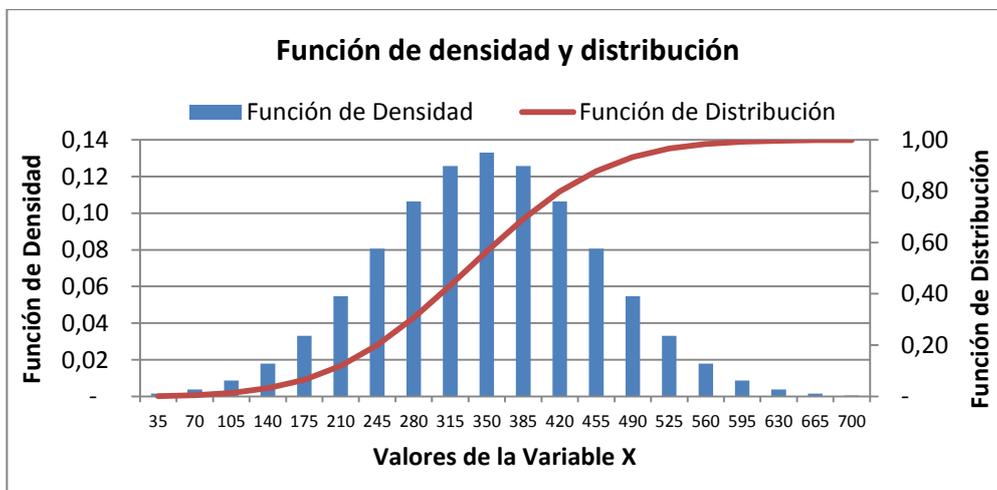


Elaborado por: Autor

Forma de la Función de Valor para los indicadores de cada componente

Debido a que el objetivo es ordenar las parroquias según su afectación socio-ambiental. Si bien los valores mínimo y máximo determinan los valores 0 y 1 de la función de valor. Se define que esta función tenga la forma de acuerdo a la función de distribución de la variable a la que representa. Así la función de valor ha sido definida para que los valores de la función menor a 0.25 indique el 25% de parroquias del estudio con menor afectación, valores de la función de valor mayor a 0.75 indique el 25% de parroquias del estudio con mayor afectación. Esto se ejemplifica en la siguiente gráfica:

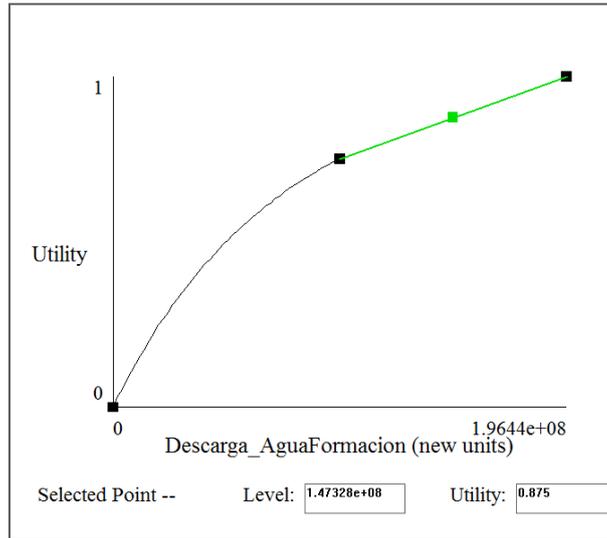
Gráfico 26: Función de Utilidad en Función de la Distribución de la Variable



Elaborado por: Autor

Como ejemplo se muestra la función de valor para la variable Descarga de Agua de Formación:

Gráfico 27: Función de Utilidad para la variable descarga aguas de formación



Elaborado por: Autor

Método de agregación

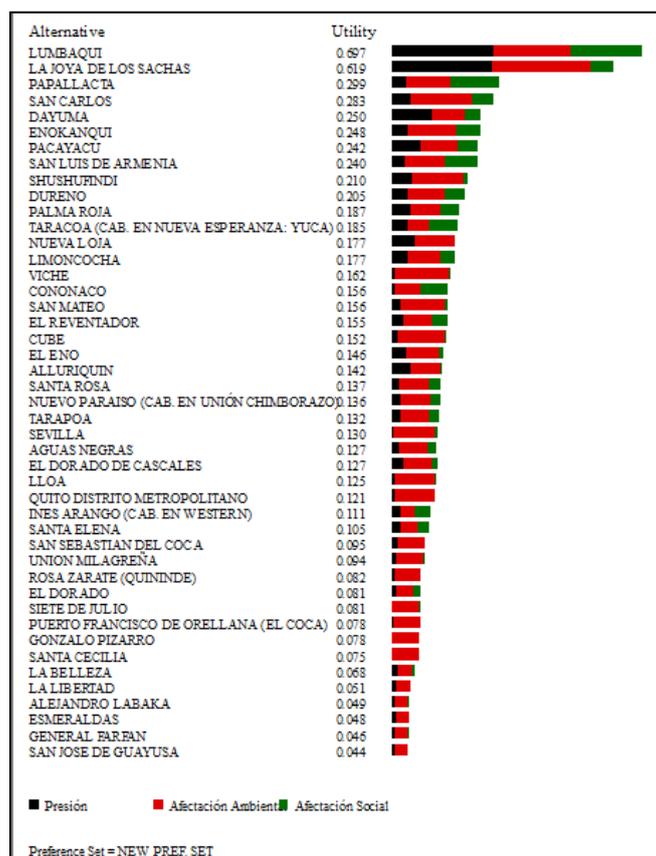
La técnica de agregación que se aplica depende del problema que se analice. Dado que en este estudio existe un número elevado de alternativas y criterios, se descarta utilizar métodos de agregación indirectos.

Dado que se busca que el presente estudio tenga imparcialidad, se da el mismo peso a cada una de las tres dimensiones (afectación social, afectación ambiental y presión) con un peso de 33,3%. De igual manera se da un igual peso a los componentes de cada dimensión excepto para aquellos indicadores de afectación por aguas de formación que tienen un peso menor que aquellos indicadores de afectación por derrames de petróleo debido a su mayor impacto negativo en la ambiente.

Resultados

Resultado afectación total

Gráfico 28: Resultado de Ordenamiento de Afectación Total



Elaborado por: Autor

En el siguiente gráfico, se tiene el resultado del análisis multicriterio con las especificaciones descritas anteriormente. Se observa que las parroquias con mayor afectación son Lumbaqui, y la Joya de los Sachas. Puede verse que estas dos provincias tienen una utilidad muy superior del resto.

En el gráfico las barras que representan la utilidad total están formadas por la contribución de las dimensiones: presión (color negro), afectación social (color verde) y afectación ambiental (color rojo).

Lumbaqui y la Joya de los Sachas tienen un índice de presión mucho más alta que el resto de parroquias, lo que hace que se encuentren en un nivel superior al resto.

Se observa también que existen parroquias como Dayuma, que aun que tienen un índice alto de presión se encuentran por debajo de parroquias como San Carlos que tiene un menor índice de presión pero que sin embargo tiene una mayor afectación ambiental.

Dimensión Presión

Gráfico 29: Resultado de Ordenamiento en la Dimensión Presión



Elaborado por: Autor

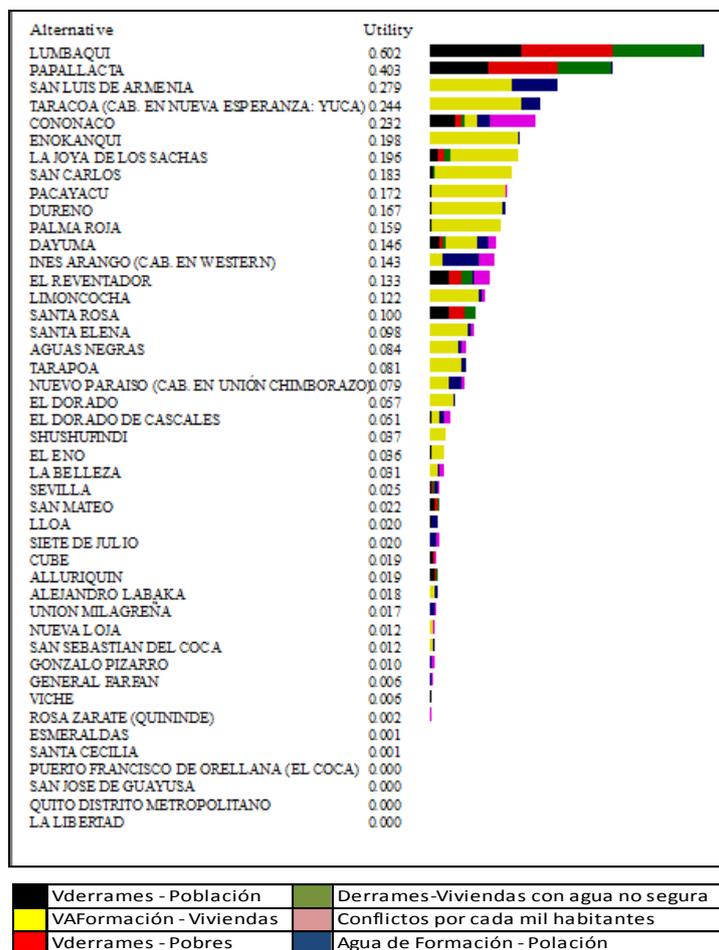
En la dimensión de presión puede verse que Lumbaqui y la Joya de los Sachas son dominantes sobre el resto de parroquias. Se puede observar que es en esta dimensión donde estas dos parroquias obtienen una diferencia notable para todo el análisis. Esto se debe a la gran cantidad de derrames registrados en estas parroquias. Las barras en color rojo muestran la presión por aguas de formación descargada al ambiente. Existen parroquias que a pesar que son diferentes en su componente de derrames, tienen un

valor similar en la dimensión de presión por la diferencia que existe en su componente de aguas de formación descargadas al ambiente, como ejemplo se pueden observar las parroquias de Dayuma y Pacayacu.

Otra observación importante es ver la posición que tiene Papallacta que se encuentra en el décimo quinto lugar en la componente de afectación mientras que en el índice total se encuentra en el segundo lugar. Esto indica que su tercer lugar en el orden total no se debe a la componente de presión.

Dimensión Afectación Social

Gráfico 30: Resultado de Ordenamiento en la Dimensión Afectación Social



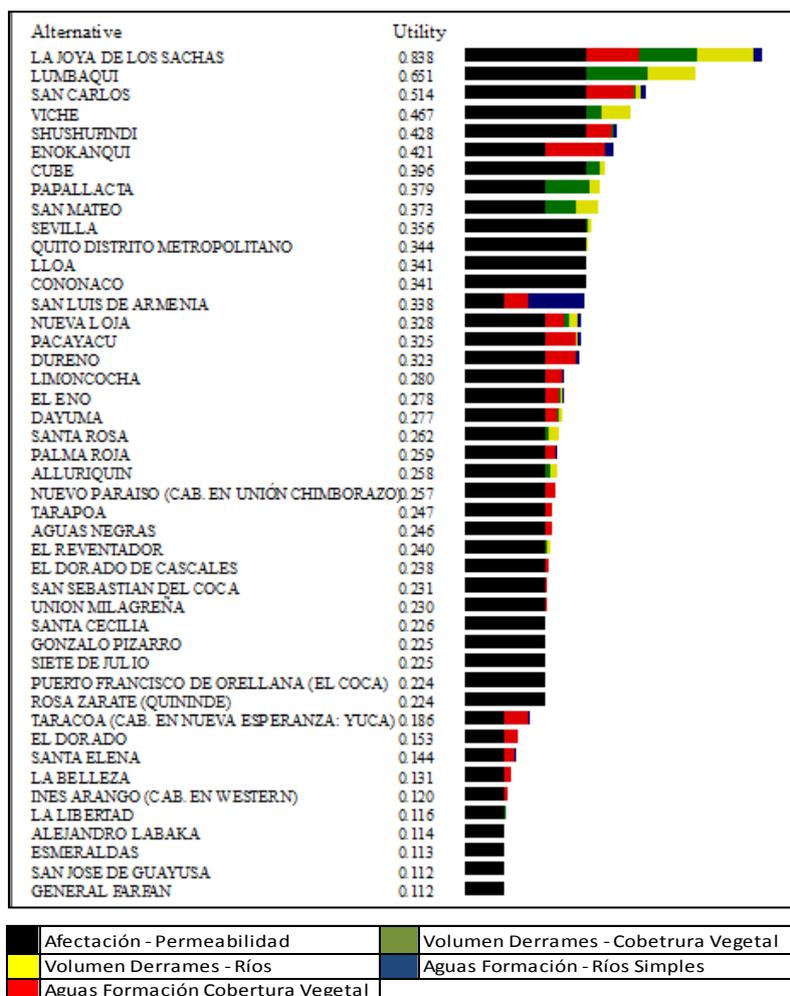
Elaborado por: Autor

En este componente, puede observarse que Papallacta tiene el segundo lugar de afectación, lo que ocasiona que se encuentre en los primeros lugares en la afectación total pese a estar en el décimo quinto lugar en el componente de presión.

Adicionalmente se observa en el gráfico una importante contribución del indicador que relaciona las aguas de formación descargadas al ambiente y los hogares que consumen agua no segura. Puede verse que a excepción de las dos primeras parroquias, el resto son priorizadas en función a este indicador de aguas de formación y viviendas con consumo de agua no segura.

Dimensión Afectación Ambiental

Gráfico 31: Resultado de Ordenamiento en la Dimensión Afectación Ambiental



Elaborado por: Autor

La dimensión ambiental se encuentra principalmente conformada por la variable de afectación por derrames petroleros según la permeabilidad del suelo. Este indicador tiene tres niveles de afectación, bajo, medio y alto. Esto produce el nivel escalonado que se observa en el gráfico. En los primeros lugares, puede observarse que la diferencia radica en la afectación de cobertura vegetal y en la afectación por los indicadores que relacionan los derrames, las aguas de formación, con los ríos.

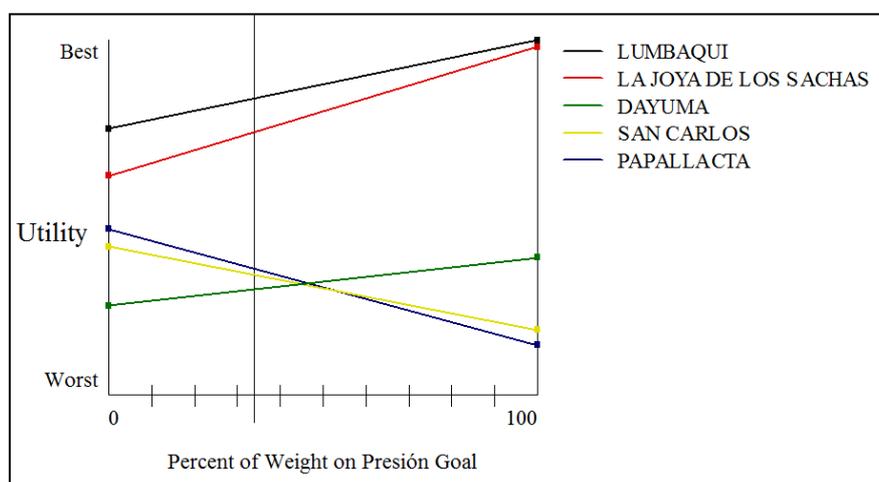
En el resultado total y en el de los diferentes componentes, se puede observar que hay un grupo de parroquias que se encuentran en una posición marcadamente superior del resto de parroquias. A continuación se muestra el análisis de sensibilidad para el resultado total como para sus dimensiones con las parroquias de puntuación más alta.

Análisis de sensibilidad y comparativo

El análisis de sensibilidad muestra los posibles cambios que se presentarían en el resultado total de afectación socio-ambiental según los cambios de ponderación en cada una de sus dimensiones que la conforman. En este análisis se observa el cambio de orden de las cinco parroquias más puntuadas según cambio el peso de cada componente, asumiendo que todo lo demás permanece igual se ajusta proporcionalmente.

El análisis de sensibilidad es de suma importancia pues permite entender la consistencia del análisis así como la importancia conceptual de cada una de las variables y alternativas.

Gráfico 32: Resultado de Sensibilidad Dimensión Presión



Elaborado por: Autor

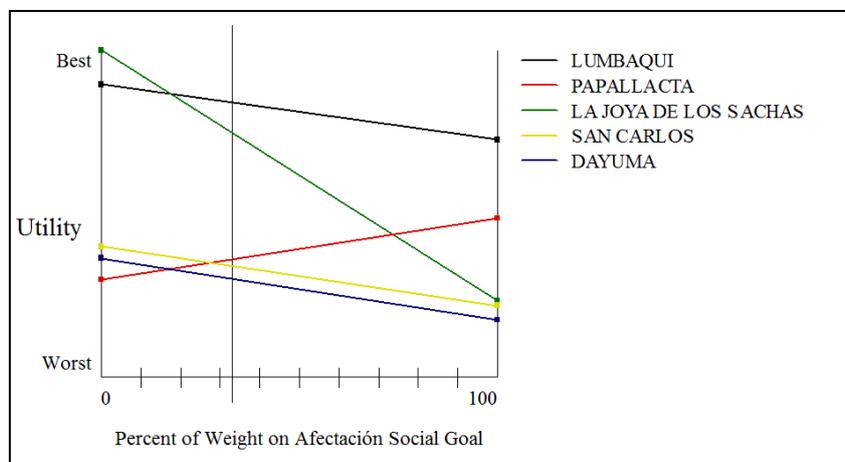
El peso de la componente de presión es 33% y en el gráfico se indica el peso de este componente a través de la línea vertical que corta el eje horizontal en la cuarta división. Se observa que si la dimensión presión no tuviera peso, peso igual a cero, el orden de las parroquias fueran Lumbaqui, La Joya de los Sachas, Dayuma, San Carlos y Papallacta. Sin embargo con el peso de 33% se observa Tres resultados importantes:

1. El orden del resultado total no cambia para las parroquias cuando el peso de la componente presión varía entre cero y cuarenta por ciento aproximadamente del peso total del objetivo global.
2. A pesar de que el orden total no cambia cuando la presión pesa entre 0% y 40%, si existe cambios en el valor de la utilidad de cada una de estas parroquias. Es decir cambia la distancia entre cada alternativa.
3. A partir de un peso aproximado 50% en adelante, se observa que cambia el orden de las últimas tres parroquias: Dayuma ocupa el tercer lugar, San Carlos el cuarto y Papallacta el quinto. Este cambio se debe a que al incrementar el peso de la componente presión, las componentes afectación social y afectación ambiental pierden relevancia.

Por lo expuesto, la exclusión de la componente presión no cambiaría el orden de los resultados, aunque sí su magnitud. En este sentido la justificación de porqué es importante mantener la componente presión en el análisis se debe a que si solo se considerara los indicadores de las otras componentes, dado que estas están construidas como cocientes de variables, pueden estar atípicamente influenciadas por la relación de cociente entre ellas. Por ejemplo, la relación cociente entre el volumen de derrames y la cantidad de hogares que consumen agua no segura, puede indicar un valor extremadamente alto que puede deberse a que una parroquia que no tiene una contaminación extremadamente alta puede tener este indicador cociente elevado si su número de hogares que consumen agua no segura es extremadamente bajo. Por esta razón considerar la componente presión corrige los valores atípicos de los indicadores de las dimensiones de afectación social y ambiental.

Sensibilidad Afectación Social

Gráfico 33: Resultado de Sensibilidad Afectación Social



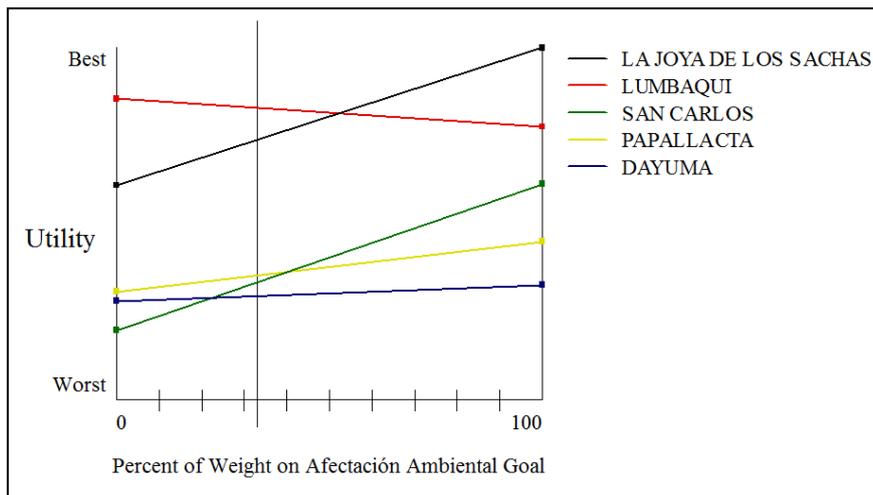
Elaborado por: Autor

La dimensión de afectación social produce cambios en el resultado final. En el gráfico se puede observar como la parroquia La Joya de los Sachas que es la más afectada pasa a segundo lugar cuando la dimensión de afectación social tiene un peso del 33%. Por otro lado, se puede observar que Papallacta que se encuentra en el quinto lugar sube al tercero, cuando el peso de la afectación es 33%. Estos cambios que se pueden observar en el resultado final al incluir la dimensión de afectación social, corrobora la hipótesis

de que la afectación socio-ambiental debe analizarse desde un punto de vista multicriterio.

Afectación Ambiental

Gráfico 34: Resultado de Sensibilidad Afectación Ambiental

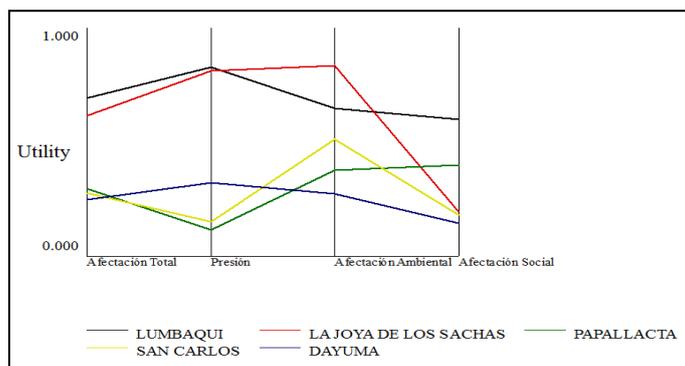


Elaborado por: Autor

En la dimensión de afectación ambiental, con un peso de 33% las parroquias que cambian de orden son Dayuma y San Carlos. Si el peso de la dimensión de afectación ambiental fuera el único criterio es decir un peso del 100%, entonces la Joya de los Sachas que se encuentra en el quinto lugar, subiría al tercero.

Análisis comparativo de las parroquias con mayor índice de afectación

Gráfico 35: Análisis de Parroquias con Mayor Índice de Afectación



Elaborado por: Autor

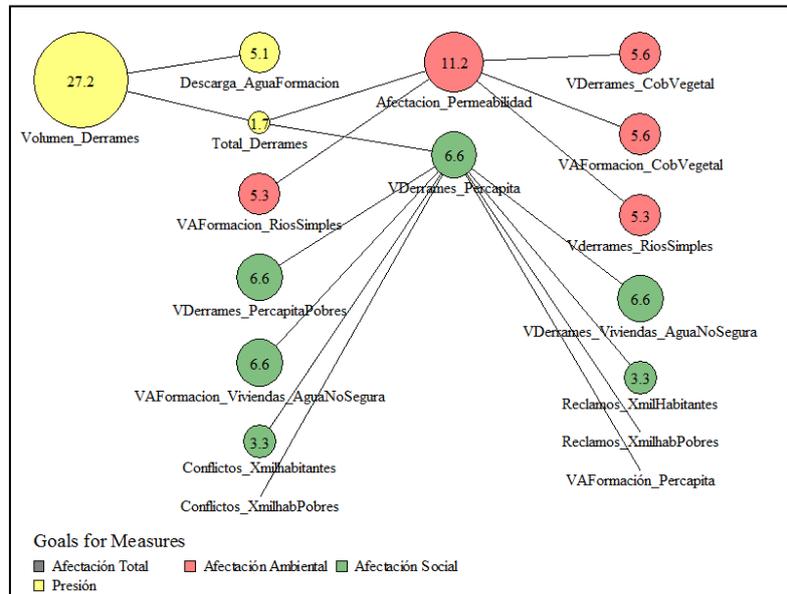
Un análisis que complementa el entendimiento de la ordenación de las parroquias por afectación hidrocarburífera, desde un punto de vista socio ambiental se muestra en el gráfico de arriba. El primer eje vertical muestra la afectación total, es decir el índice de afectación socio ambiental. El segundo eje vertical muestra el resultado de la dimensión presión, el tercer y cuarto eje vertical representan la dimensión de afectación ambiental y afectación social respectivamente.

Se puede observar que la parroquia más afectada es Lumbaqui, y cuando se observa los resultados de las diferentes dimensiones, Lumbaqui siempre se encuentra en los primeros lugares de afectación.

Por otro lado, le sigue la Joya de los Sachas en segundo lugar. Cuando comparamos los diferentes resultados de Lumbaqui y la Joya de los Sachas se observa que tienen resultados muy similares en la dimensión de presión, mientras que en la dimensión de afectación ambiental, la Joya de los Sachas es superior. Sin embargo, la dimensión que define el resultado total, entre estas dos parroquias, es la componente social, por la gran diferencia que existe en estas dos parroquias con un mayor grado de afectación en Lumbaqui.

Las últimas tres parroquias se encuentran a una considerable distancia de las dos primeras, esto se debe a la gran diferencia que existe entre estos dos grupos en las dimensiones de afectación ambiental y presión; sobre todo en esta última.

Gráfico 36: Ponderación de Indicadores



Elaborado por: Autor

El gráfico de medidas muestra los pesos generales que tienen cada uno de los indicadores, los colores muestran las dimensiones. Se observa en amarillo la dimensión de presión, en ésta su mayor ponderación se encuentra en el volumen de derrames con 27.2% seguido por la descarga de aguas de formación con el 5.1% y el finalmente el total de derrames con 1.7%. La razón de estos pesos deriva en la importancia que tiene el volumen derramado de petróleo sobre la descarga de aguas de formación; se ha considerado con un peso menor al total de la cantidad de derrames, esto para considerar también la recurrencia de los derrames.

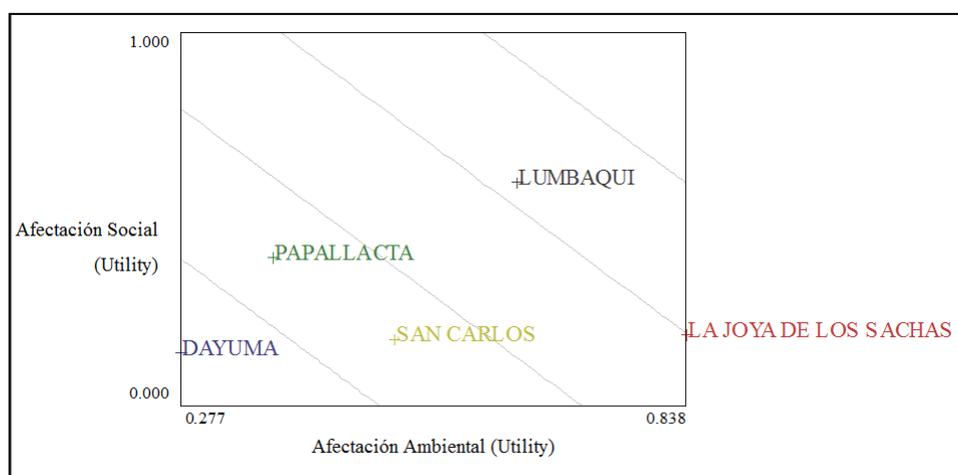
La dimensión de afectación ambiental está representada por los indicadores de color rojo en el gráfico. Se observa que uno de sus indicadores con mayor importancia es la afectación por tipo de permeabilidad que tiene un peso del 11.2%, esto se debe a que la afectación del suelo depende en gran medida del grado de permeabilidad del mismo. Así por ejemplo: un sitio con alto grado de permeabilidad absorbería toda la contaminación e incluso en acuíferos subterráneos. Por otro lado, el daño causado a la

cobertura vegetal, también pesa un 11.22% considerando los derrames petroleros y las aguas de formación. Lo mismo pasa para los ríos simples.

La dimensión de afectación social de color verde en el gráfico, se encuentra formado por varios indicadores sin que ninguno de ellos tenga un mayor peso en particular. Se observa que indicadores como conflictos por cada mil habitantes pobres, y el volumen de agua de formación per cápita no tienen peso; esto se debe a que por ejemplo al incluir el indicador de afectación por aguas de formación per cápita, el orden de afectación social ponderaba prioritariamente a parroquias con mayor volumen de aguas de formación antes que parroquias con derrames petroleros. Esto se ajustó debido al mayor daño y menor tiempo de recuperación que tiene la afectación por derrames petroleros antes que la afectación por descargas de aguas de formación.

Comparación de dimensiones

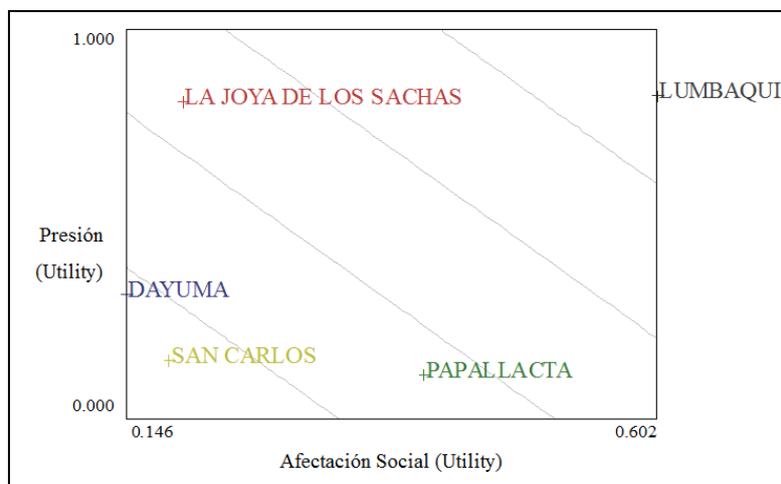
Gráfico 37: Campaña de Dimensiones Social y Ambiental



Elaborado por: Autor

Al comparar la dimensión de afectación social y la dimensión de afectación ambiental se puede observar que Lumbaqui y Papallacta tienen el nivel más alto de afectación social, mientras que la Joya de los Sachas a pesar de tener un nivel bajo de afectación total, tiene el nivel más alto de afectación ambiental, siendo casi el doble que el de Papallacta.

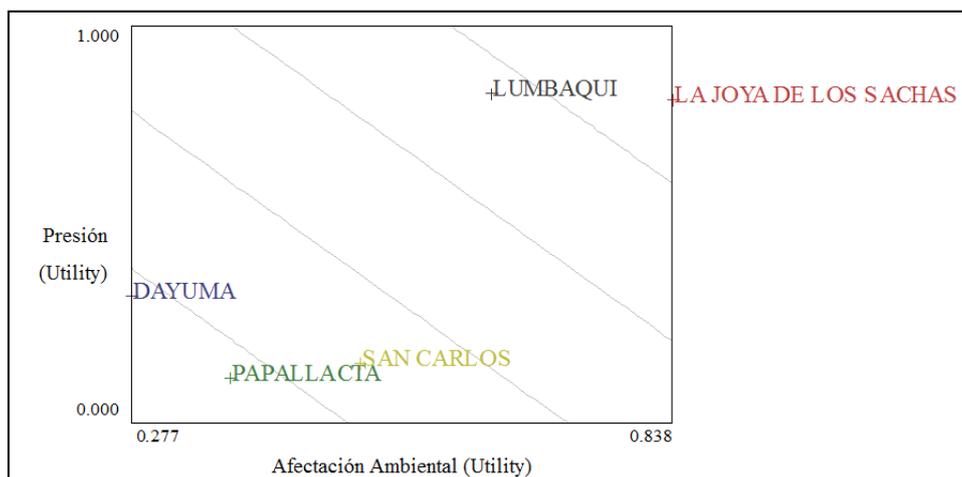
Gráfico 38: Comparación de Dimensiones Social y de Presión



Elaborado por: Autor

Al comparar la dimensión de presión y la dimensión de afectación social, se puede observar que la Joya de los Sachas tiene un nivel alto en la dimensión de presión, y baja en la afectación social. Por otro lado, Lumbaqui tiene un nivel alto en las dos dimensiones.

Gráfico 39: Comparación de Dimensiones Ambiental y de Presión



Elaborado por: Autor

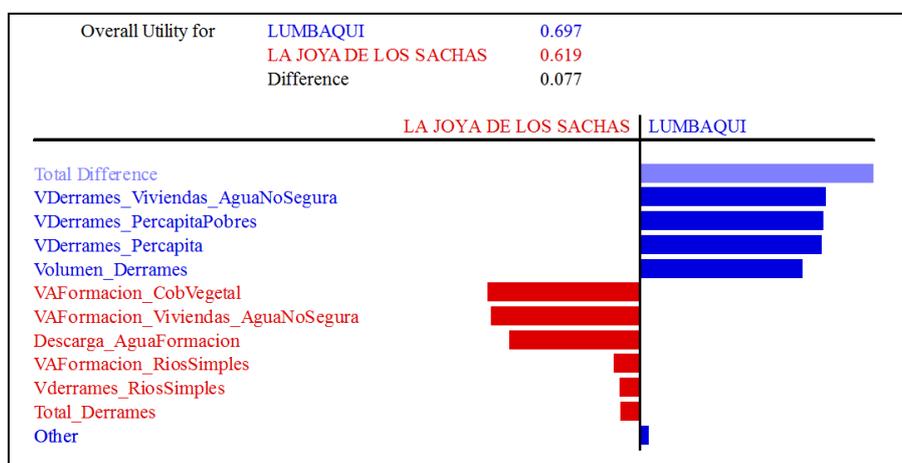
En este gráfico se observa que tanto Lumbaqui como la Joya de los Sachas, tienen un nivel alto en las dos dimensiones de presión y afectación ambiental.

De los gráficos observados se tiene que Lumbaqui está en un nivel alto en todas las dimensiones, por lo que es adecuadamente la parroquia con mayor afectación socio ambiental.

El segundo y tercer lugar corresponden a la Joya de los Sachas y Papallacta. La Joya de los Sachas tiene un valor alto en la afectación ambiental y un valor bajo en la afectación social, mientras en Papallacta sucede lo contrario.

Análisis Comparativo entre Lumbaqui y Joya de Los Sachas

Gráfico 40: Análisis Comparativo entre Lumbaqui y Joya de los Sachas



Elaborado por: Autor

Debido a que las parroquias de Lumbaqui y la Joya de los Sachas tienen un nivel superior de afectación, marcadamente diferenciado del resto de parroquias, se hace un análisis de estos dos para entender por qué Lumbaqui tiene una mayor afectación.

Se observa que Lumbaqui tienen una mayor afectación social, mientras la Joya de los Sachas tiene una mayor afectación ambiental. Sin embargo, la diferencia está en que por un lado el gap de diferencia a favor de Lumbaqui por la afectación social es mayor al gap de diferencia por la afectación ambiental a favor de la Joya de los Sachas. Y en segundo lugar, a la diferencia en volumen de derrames a favor de Lumbaqui.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sobre los lineamientos generales

El objetivo de este proyecto de tesis fue la jerarquización de zonas afectadas por contaminación petrolera como instrumento para la priorización de zonas de intervención. El resultado obtenido muestra que es posible realizar análisis multicriterio que priorice la afectación considerando varias dimensiones simultáneamente y adicionalmente permita entender a profundidad la razón de las diferencias de afectación existentes entre las zonas.

Para el desarrollo de este análisis se construyó indicadores que parten del enfoque del modelo PER planteado por la OECD (1993), en particular, los indicadores son producto de la asociación de las fases de presión (P) o contaminación hacia el ambiente y el estado (E) o condición de vulnerabilidad del ambiente. Esto se justifica por la diferencia en el impacto negativo que tendría un mismo derrame en zonas con vulnerabilidad social o ambiental diferente. Así por ejemplo un derrame no tiene la misma afectación social en una zona con baja proporción de viviendas que consumen agua no segura que una zona donde la proporción es más alta. Del mismo modo, en sentido ambiental no es lo mismo un derrame en suelos con poca permeabilidad que en aquellos con permeabilidad alta que dejan pasar los derrames hacia acuíferos subterráneos que son importantes fuentes de agua para el servicio del ecosistema. El aporte de la jerarquización de zonas vendría a ser parte de la fase de respuesta (R) del modelo PER por cuanto esta información apoyaría a la gestión de reparación.

Los indicadores y las variables de presión son agrupados en tres dimensiones para el análisis multicriterio: dimensión de afectación social, la dimensión de afectación ambiental y la dimensión de presión. Estas tres dimensiones son agregadas para la obtención del ordenamiento de afectación socio ambiental. El modelo multicriterio utilizado es el de la función de valor multiatributo para problemas discretos.

Por otro lado, si bien la presente investigación no tiene el alcance de hacer un análisis general sobre la presencia del petróleo en el Ecuador, en el estudio de caso se evidencia que el impacto económico del petróleo en el país no es determinante para un cambio positivo en las condiciones de vida de la población, por el contrario se puede evidenciar a través de los estudios de Kimmerling (1993) el efecto devastador que la

producción petrolera ha dejado en el Amazonía y dando un paso más en el análisis de factibilidad de explotación de nuevas zonas como el de Yasuní ITT, estudios como el de Vallejo y otros (2011) muestra como la opción de explotación configura un gran perjuicio ambiental y pérdida de riqueza natural. Si a esto se acompaña el estado decreciente de la curva de Hubbert de producción petrolera y los bajos precios de petróleo, se pensaría que la opción de explotación de nuevas zonas no sería recomendable.

Sobre los resultados obtenidos

El análisis multicriterio muestra que las zonas más afectadas son Lumbaqui y La Joya de los Sachas en primero y segundo lugar respectivamente. Se observa que el nivel de afectación de estas zonas es muchos más alto que el de las demás, pues su valor de afectación total en el índice es de casi del doble de sus inmediatos seguidores. Estos valores elevados se deben principalmente a la gran diferencia de valor en la dimensión de presión que está apalancada en la contaminación de derrames de petróleo que se tienen en estos lugares. La diferencia entre el primero y segundo lugar se debe a la marcada diferencia de afectación social que es mayor en Lumbaqui.

Por otro lado, cuando se hace el ordenamiento en cada una de las dimensiones del análisis se tiene que Lumbaqui es la zona prioritaria en la dimensión presión y en la dimensión de afectación social. Respecto a la dimensión de afectación ambiental la Joya de los Sachas es la zona con mayor afectación debido a sus altos derrames sucedidos en una zona caracterizada por tener alta permeabilidad, mayor cobertura vegetal y cantidad de cuerpos hídricos.

Debido a que Lumbaqui y La Joya de los Sachas tienen contaminación de derrames de crudo muy superior al resto de zonas y dado que estos derrames influyen en todas las dimensiones del análisis multicriterio, esta incidencia permanece en el análisis de sensibilidad, en general la variación de los pesos en un rango corto, no baja a un tercer puesto a ninguna de estas dos zonas. En las zonas siguientes en ordenamiento, los valores son más apretados y por tanto la variación en los pesos produce cambios en el ordenamiento.

Se evidencia que el análisis multicriterio puede aportar en la instrumentalización de indicadores ambientales de tercera generación de acuerdo a lo planteado por Quiroga

(2007), es posible construir indicadores o índices que den una idea general sobre el estado del ambiente y la relación entre ellos explique las razones en términos generales. La metodología permite realizar la comparabilidad y el uso de información de distinta tipología, lo que hace posible la instrumentalización de concepto y enfoques propios de economía ecológica adecuados para el tratamiento de problemas de este tipo.

Sobre las limitaciones del estudio

La primera limitación importante que se presenta en este estudio está en consonancia con las limitaciones presentadas en estudios como los de Bustamante y Jarrín (2005), la disponibilidad de información es uno de los grandes retos en un adecuado análisis para gestión ambiental.

En la investigación desarrollada se han asociado variables de contaminación y vulnerabilidad para la construcción de indicadores, sin embargo, información más precisa sobre el impacto de la actividad petrolera demanda el conocimiento de la calidad y cantidad de los recursos antes, durante y después de la explotación. Así mismo, el registro de la información debería seguir un proceso de estandarización y cronología de medición de manera que los análisis realizados sobre la misma puedan ser comparables y sostenibles en el tiempo. Para esto, es indispensable la conformación e institucionalización de políticas de gestión de información ambiental. Futuras investigaciones podrían considerar más información como emisión de gases, deforestación, etc., o la inclusión de una dimensión económica que considere los costos de reparación o la eficiencia de la producción, todos estos elementos que podrían aportar al conocimiento más completo del problema. Otra consideración importante en el análisis multicriterio podría ser la inclusión de un enfoque de flujo de materiales que permita dar cuenta del cambio de la riqueza natural como consecuencia de la explotación y contaminación petrolera.

Otro factor para la evolución de investigaciones futuras es la consideración de la participación social y de expertos en la definición de criterios y ponderaciones en el análisis multicriterio. Esto permitiría que el análisis multicriterio de decisión se configure en un análisis social de evaluación multicriterial (Munda, 2003) lo que permitirá, además de conocer otros posibles aspectos no considerados en el desarrollo de esta tesis, llegar a una solución de compromiso entre todos los involucrados.

Finalmente, la presente investigación plantea ser un aporte al desarrollo y análisis de la priorización de zonas contaminadas, un paso siguiente sería la valoración y el impacto socio ambiental de las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Alberto, Magdalena Aguilar, Carlos Quevedo, Walter Spurrier y Cornelio Marchán (2006). *Ecuador: Petróleo y Crisis Económica*. Ecuador: ILDIS.
- Aguilar, Magdalena (2006). *Petróleo y Desarrollo Nacional*. Ecuador: Petróleo y Crisis Económica. Pp 64. Ecuador: ILDIS.
- Aguilera, Federico y Alcántara Vicent (1994). *De la economía ambiental a la economía ecológica*. Barcelona: ICARIA.
- Ballesteros, M. H. (2008). ECONOMÍA AMBIENTAL Y ECONOMÍA ECOLÓGICA: un balance crítico de su relación. *Economía y Sociedad*, 13(33-34).
- Bustamante, Teodoro y María Jarrín (2005). “Impactos sociales de las actividades petroleras en el Ecuador: un análisis de los indicadores”. En ICONOS n21. Quito.
- _____ (2007). “El inicio de la explotación petrolera y tres variables estadísticas”. *Detrás de la cortina de humo: Dinámica sociales y petróleo en el Ecuador*. Quito: FLACSO-Sede Ecuador.
- Colmenero, A. G. (1995). Enfoques alternativos de economía ambiental y su significado en pos de una agricultura sostenible. In *Agricultura y desarrollo sostenible* (pp. 121-148). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Constitución de la República del Ecuador (2008).
- Falconí, Fander (2011). *Economía y desarrollo sostenible ¿Matrimonio feliz o divorcio anunciado? El caso de Ecuador*. Quito: FLACSO
- Figuroa José, Salvatore Greco y Matthias Ehrogott (2005), *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*, New York: Springer
- Fontaine, Gillaume (2007). Gobernanza energética, renta petrolera y conflictos en el Ecuador. *Debate* No. 70. Quito.
- Funtowicz, S. y J Ravetz. (2003). Post-normal science. International Society for Ecological Economics (ed.), Online Encyclopedia of Ecological Economics at <http://www.ecoeco.org/publica/encyc.htm>.
- Hotelling, H. (1931). The economics of exhaustible resources. *The journal of political economy*, 137-175.

Jiménez, L. (1996). Desarrollo Rural Sustentable, Dimensiones y Principios. SAGAR, Red Nacional de Proyectos de Desarrollo Rural Sustentable, Memoria, SAGAR, México, Colegio de Postgraduados/UAAAN.

Jochnick, C. (1994). *Violaciones de derechos en la Amazonía ecuatoriana: las consecuencias del desarrollo petrolero*. Quito, EC: Ed. Abya-Yala.

Kimmerling, Judith (1993). *Crudo Amazónico*. Quito: Abya Yala

_____ (2000), “La Texaco en el Ecuador: informe del Juicio”. *El Ecuador Post Petrolero*. Quito: Acción Ecológica

Larrea, Carlos (2006). “Petróleo y estrategias de desarrollo en el Ecuador: 1972-2005”. *Petróleo y desarrollo sostenible en el Ecuador*. V3. Quito: FLACSO

Logical Decisions (2008). *Logical Decisions Decision Support Software User's Manual*. USA

Manteiga, Lola (2000). “Los indicadores ambientales como instrumentos para el desarrollo de la política ambiental y su integración con otras políticas”. *Estadística y Medio Ambiente*. Pp 75-87. Sevilla

Martínez-Alier Joan, Giuseppe Munda y Jhon O'Neill (1997), “Weak comparability of values as a foundation for ecological economics”. *Ecological Economics*, 26: 277

_____ (1998). *Curso de economía Ecológica*. México: RFAALC

Munda Giuseppe (2003), “Social Multi-Criteria Evaluation: Methodological Foundations and Operational Consequences”, *European Journal of Operational Research* 158: 662-667.

_____ (2010). *Social Multi-Criteria Evaluation for a Sustainable Economy*. Berlín donde fue impreso: Springer

Naranjo, Marco (2006). “Auge Petrolero y enfermedad holandesa en el Ecuador”. *Petróleo y desarrollo sostenible en el Ecuador*. 3. Las ganancias y pérdidas, Quito: FLACSO

Narváez, Iván (2000). Aguas de formación y derrames de petróleo: La dimensión política en la problemática Socioambiental Petrolera. Quito: Petroecuador

Norton, B. G. (1995). Evaluating ecosystem states: two competing paradigms. *Ecological Economics*, 14(2), 113-127.

- Novo, María (2006). *El desarrollo sostenible. Su dimensión ambiental y educativa*. Madrid: Pearson Education
- OECD (1991). *Technology and Productivity: The Challenge for Economic Policy*. Paris
- _____ (1993). *OECD core set of indicators for environmental performance reviews*.
- _____ (2008). *OECD Key Environmental Indicators*. Paris
- Olmedo, Elizabeth (2011). “¿Por qué existen contradicciones entre lo que se dice y lo que se hace en la gestión ambiental de Petroecuador?”. *Disertación Maestría, FLACSO*.
- Pomerol Jean-Charles y Barba-Romero Sergio (2000). *Multicriterion Decision in Management Principles and Practuce*. New York: LLC
- PRAS (2014). *Derecho de la naturaleza a la restauración y lineamientos sobre política pública de reparación integral de pasivos*. Ministerio del Ambiente. Ecuador
- Quiroga, Rayén (2007). “Indicadores ambientales y desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe”. *CEPAL-Serie Manuales 55*: 18-19
- Ravetz J.R (1999), What is Post-Normal Science. *The journal of policy, planning and futures studies*, Futures 31
- Royuela, M. A. (2001). Los sistemas de indicadores ambientales y su papel en la información e integración del medio ambiente. En *I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente*: 1231-1256
- Russi, Daniela y Martínez-Alier (2002). “Los Pasivos Ambientales”. *ÍCONOS* número 15: 123-131
- Sánchez, Karla, Francisco Jiménez, Sergio Velásquez, Mario Piedra y Eddy Romero (2004). Metodología de análisis multicriterio para la identificación de áreas prioritarias de manejo del recurso hídrico en la cuenca del río Sarapiquí, Costa Rica. *Comunicación Técnica de Recursos Naturales y Ambiente*. 41. 88-95
- Smeets, Edith y Rob Wetering (1999). “Eviromental Indicators: Typology and overview”. *Technical Report n25*: 6.
- Vallejo, María Cristina, Carlos Larrea, Rafael Burbano y Fander Falconí (2011). *La Iniciativa Yasuní-ITT desde una perspectiva multicriterial*. Ecuador: FLACSO
- Pimiento, Elkin (1997). El desarrollo sostenible y los recursos naturales no renovables. *Ensayos de Economía*. Vol.7: 13.