

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA DE SISTEMAS
POSTGRADO DE MODELADO Y SIMULACION DE SISTEMAS

**PROPUESTA PARA MEJORAR LAS EVALUACIONES DE IMPACTO
AMBIENTAL DE LAS ACTIVIDADES DE EXPLOTACIÓN Y
PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO EN VENEZUELA**

TESIS

PRESENTADA ANTE EL CONSEJO DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAGISTER SCIENTIAE
EN MODELADO Y SIMULACION DE SISTEMAS

ING. ELIANA M. GUZMAN U.
TUTOR: ING. MAGDIEL ABLAN

MERIDA, FEBRERO DE 2003

AGRADECIMIENTO

A mi familia por su apoyo incondicional en todo momento.

A la profesora Magdiel Ablan por servir de guía en cada etapa del desarrollo de esta investigación.

A los funcionarios del MARNR de la ciudad de Maturín por la colaboración prestada durante la recopilación de la información.

A todas aquellas personas que de alguna manera me brindaron su apoyo y que se sienten participes de este trabajo.

RESUMEN

La industria petrolera es la principal actividad económica nacional y por ende tiene una profunda influencia sobre el medio ambiente y la dinámica socioeconómica del país. Una de las herramientas más utilizadas para medir el tipo y magnitud de los impactos ocasionados por una industria, proyecto o actividad en el ambiente y para planificar las medidas preventivas o de mitigación necesarias para su protección son las evaluaciones de impacto ambiental (EIA). En este sentido, el objetivo del presente trabajo es analizar el procedimiento usado en Venezuela para la elaboración de las EIA de las actividades de explotación y producción de petróleo.

Con el fin de alcanzar este objetivo, se hizo una revisión de las EIA consignadas ante el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR) de la ciudad de Maturín, relacionadas con actividades petroleras y se seleccionaron tres de ellas. Estas EIA fueron objeto de un riguroso análisis donde se revisaron aspectos concernientes al cumplimiento de la legislación venezolana en materia ambiental; el uso de metodologías de evaluación y predicción de impactos, y la inclusión de modelos o técnicas para reflejar el aspecto dinámico de los proyectos. Basándose en este análisis se realizaron una serie de recomendaciones a seguir para las etapas de análisis de sensibilidad, identificación de efectos y evaluación de impactos que se postula, que podrían resultar en mejoras sustanciales en el proceso de elaboración de la EIA.

Una de las principales recomendaciones realizadas tiene que ver con el uso de modelos de simulación en la elaboración de los EIA. Se presentan varios ejemplos que ilustran cómo los modelos de simulación permiten integrar el conocimiento que se tiene de un sistema y mejorar la predicción de los impactos mediante la ejecución de diversos escenarios de intervención del medio.

CONTENIDO

Agradecimiento	ii
Resumen	iii
Contenido	iv
Indice de Figuras	vii
Indice de Tablas	ix
Capítulo 1. Descripción de la Investigación	1
1.1 Introducción	2
1.2 Definición del Problema	2
1.3 Objetivos de la Investigación	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Justificación	5
1.5 Metodología	5
1.6 Trabajos Previos	8
1.7 Contenido de este documento	10
Capítulo 2. Marco Legal Venezolano en Materia Ambiental	12
2.1 Introducción	13
2.2 Discusión del Marco Legal	14
2.2.1 Normas y Leyes generales en materia ambiental	15
2.2.1.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela	15
2.2.1.2 Ley Orgánica del Ambiente	17
2.2.1.3 Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio	18
2.2.1.4 Ley Penal del Ambiente	19
2.2.2 Normas y Leyes que regulan a las evaluaciones de impacto ambiental	20
2.2.2.1 Decreto N° 1257, mediante el que se dictan las Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente	20
2.2.2.2 Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos	23

2.2.2.3 Autorizaciones Ambientales	25
2.2.3 Normas y Leyes específicas para cada medio y para controlar la contaminación	26
2.2.3.1 Decreto N° 2289, mediante el que se dictan las Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos	26
2.2.3.1.1 Informe Complementario Disposiciones Del Decreto 2289 Respecto al Tratamiento De Desechos Petroleros	29
2.2.3.2 Decreto N° 883, mediante el que se dictan las Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos	32
2.2.3.3 Decreto N° 638, mediante el que se dictan las Normas sobre la Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica	33
2.2.3.4 Normas sobre el Control de la Contaminación Generada por el Ruido	34
2.3 Proyecto de Código Orgánico Ambiental de Venezuela	34
Capítulo 3. Marco Teórico	36
3.1 Introducción	37
3.2 Actividades petroleras en Venezuela	37
3.2.1 Exploración	38
3.2.2 Perforación	40
3.2.3 Producción	41
3.2.4 Refinería	43
3.3 Teoría sobre las Evaluaciones de Impacto Ambiental	45
3.3.1 Definiciones	46
3.3.2 Planificación y Gestión de las EIA	49
3.3.3 Metodologías para realizar las EIA	54
3.3.3.1 Problemática	54
3.3.3.2 Utilidad de las metodologías	55
3.3.3.3 Metodologías más comunes	56
3.3.4 Uso de modelos en las Evaluaciones de Impacto Ambiental	61

3.3.4.1 Modelos	62
3.3.4.2 Tipos de Modelos	63
3.3.4.3 Modelos ecológicos	64
3.3.4.4 Etapas de un estudio de simulación	66
3.3.4.5 Dinámica de Sistemas	68
Capítulo 4. Resultados	70
4.1 Introducción	71
4.2 Diagnóstico de las EIA realizadas en Venezuela para las actividades vinculadas al sector petrolero	71
4.2.1 Perspectiva Legal	71
4.2.2 Perspectiva Dinámica	74
4.2.3 Perspectiva Técnica	76
4.2.3.1 Metodologías empleadas	76
4.2.3.2 Carencia de Información y presencia de afirmaciones no sustentadas	93
4.2.3.3 Subjetividad en la Información utilizada	95
4.2.3.4 Inconsistencias	96
4.2.4 Resumen del diagnóstico	96
4.3 Propuesta	97
4.3.1 Sensibilidad Ambiental	98
4.3.2 Identificación de Impactos	102
4.3.3 Evaluación de Impactos	105
4.3.3.1 Uso de modelos de simulación en la evaluación de los impactos potenciales de un proyecto petrolero de explotación y producción	107
Capítulo 5. Conclusiones	138
5.1 Conclusiones	138
Referencias	142
Anexos	147

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procedimiento ordinario para la obtención de la AOT y AARNR	27
Figura 2. Procedimiento especial para la obtención de la AOT y AARNR de Actividades mineras y de hidrocarburos	28
Figura 3. Marco conceptual de los estudios de impacto ambiental	50
Figura 4. Interrelaciones de los efectos medioambientales en una EIA	57
Figura 5. Ejemplo de un diagrama de redes para analizar impactos ambientales posibles	62
Figura 6. Clasificación de los modelos simbólicos	65
Figura 7. Etapas de un estudio de simulación	67
Figura 8. Resumen del diagnóstico	97
Figura 9. Aspectos que conforman una Evaluación de Impacto	98
Figura 10. Proceso de sensibilidad ambiental	99
Figura 11. Elementos que conforman cada medio y criterios para la definición de las unidades de sensibilidad	100
Figura 12. Indicadores ambientales	101
Figura 13. Proceso de identificación de impactos	103
Figura 14. Métodos utilizados en la identificación de impactos ambientales de acuerdo al medio que se esté evaluando	104
Figura 15. Procedimiento para la identificación de impactos	105
Figura 16. Métodos utilizados en la evaluación de impactos ambientales de acuerdo al medio que se esté evaluando	106
Figura 17. Diagrama causal del crecimiento de una población	109
Figura 18. Modelo en VENSIM para simular la dinámica de una población animal	111
Figura 19. Simulación de la ocurrencia de un impacto sobre la población total de la especie	112
Figura 20. Simulación de la ocurrencia de un impacto que disminuye el área ocupada por la población de la especie animal	113
Figura 21. Diagrama causal para el proceso de eutroficación de un lago	115
Figura 22. Modelo en VENSIM para la eutroficación de un lago	116

Figura 23. Simulación de la eutroficación cultural vs. la eutroficación natural	118
Figura 24. Modelo en VENSIM del crecimiento de un centro poblado ubicado en una zona petrolera	121
Figura 25. Simulación del crecimiento de un centro poblado	122
Figura 26. Simulación de la dinámica de las variables población y disponibilidad de trabajo cuando ocurre un aumento en la tasa de inmigración hacia la zona petrolera	123
Figura 27. Simulación de la dinámica de la variable disponibilidad de trabajo cuando ocurre un decremento en el número de trabajos que ofrece cada proyecto	124
Figura 28. Diagrama esquemático del Sistema de Aguas en el Suelo	126
Figura 29. Modelo en VENSIM del sistema de aguas en el suelo	128
Figura 30. Simulación de la escorrentía como resultado de un cambio en la topografía del terreno	129
Figura 31. Simulación del nivel de agua en la superficie del suelo como resultado de un cambio en la topografía del terreno	129
Figura 32. Simulación del nivel de agua en el suelo para diferentes valores de escorrentía e infiltración	130
Figura 33. Diagrama esquemático del Flujo de Agua en una Cuenca	131
Figura 34. Modelo en VENSIM del flujo de agua en una cuenca	133
Figura 35. Simulación del caudal de un río para diferentes densidades de la capa vegetal de la cuenca	134
Figura 36. Simulación del caudal de un río cuando su cuenca ha sido cubierta por asfalto, concreto o edificaciones	135
Figura 37. Simulación del caudal de un río cuando ocurre un cambio en el espesor del suelo de la cuenca	136
Figura 38. Simulación de la escorrentía cuando ocurre un cambio en el espesor del suelo de la cuenca de un río	136
Figura 39. Simulación del agua en el suelo y las aguas subterráneas cuando ocurre una modificación en el espesor del suelo de la cuenca del río	137

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicación de las metodologías en el proceso de EIA	56
Tabla 2. Ejemplo de una matriz de interacción simple	59
Tabla 3. Parte de una lista de control simple para proyectos de gasoducto	60
Tabla 4. Ejemplo de valoración de la unidad de sensibilidad valle lateral	80

Capítulo 1. Introducción

1.1 Introducción

En el presente capítulo se hace una descripción de los aspectos que rigen este trabajo de investigación, comenzando con la definición del problema donde se presentan los aspectos problemáticos de la situación actual de las evaluaciones de impacto de la industria petrolera en Venezuela. A la definición del problema le sigue el planteamiento del objetivo general que se busca alcanzar una vez finalizado este trabajo; dicho objetivo se desglosa en diferentes objetivos específicos. A continuación se presentan los antecedentes o trabajos previos realizados en el área de esta investigación, los cuales servirán de apoyo en el desarrollo de esta investigación. Por último se exponen la justificación y descripción de la metodología empleada en el desarrollo del trabajo.

Esto se hace con el fin de que los lectores tengan una idea de las especificaciones metodológicas que se han tomado en cuenta en la realización de la presente investigación.

1.2 Definición del Problema

El objetivo de este proyecto es estudiar y analizar el procedimiento utilizado en Venezuela para hacer las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) de las actividades de explotación y producción de petróleo. Las Evaluaciones de Impacto Ambiental son una actividad diseñada para identificar, predecir, interpretar y comunicar información acerca de los impactos que producen las propuestas legislativas, las políticas, los programas, los proyectos y los procedimientos operacionales sobre el ambiente biogeofísico, la salud humana y el bienestar (Munn, 1979:190).

En el contexto venezolano las EIA son llevadas a cabo por diferentes entes, tanto públicos como privados, con el fin de obtener el permiso de ocupación del territorio exigido por el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales Renovables (MARNR) en el Decreto 1.257 (República de Venezuela, 1996a). La investigación realizada evidencia que, en muchas ocasiones, dichas EIA son tratadas como un trámite más que es necesario cumplir con el fin de obtener el permiso para llevar a cabo un determinado proyecto. Una vez que el permiso es otorgado por el MARNR, la EIA realizada es olvidada. Otros autores han documentado también el rol de las EIA como un trámite administrativo en vez de un papel

de trabajo, que sirva de soporte a todas las actividades planificadas y ejecutadas a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. Por ejemplo, Sebastiani et al. (2001:140), plantea que los beneficios potenciales de un reporte completo de las EIA no son completamente entendidos. Para los propietarios de un proyecto, dicho reporte es un paso requerido para comenzar la preparación del sitio para la construcción y no anticipan algún uso futuro.

Otro problema asociado con la elaboración de las EIA en Venezuela, a juzgar por el análisis realizado de varios de estos documentos (Arborea et al., 2001; Geohidra, 2001; Consultores OTEC, 1996), tiene que ver con la ausencia de modelos o metodologías unificadas para la elaboración del documento, la valoración de los impactos, los factores a considerar y los umbrales para decidir magnitud del impacto, entre otros. Esto ocasiona que con frecuencia se ignoren aquellos impactos para los cuales no se tiene suficiente información, o se omita información importante para la valoración de los impactos. Por supuesto, esto también aumenta la dificultad de evaluación de las EIA por parte del MARNR y la discrecionalidad de los distintos funcionarios a cargo del proceso.

Estos aspectos deficientes asociados a las EIA traen como consecuencia una larga lista de problemas ambientales potenciales, que para el caso de la industria petrolera han sido enumerados por Buroz (1998:103) como sigue:

1. En la explotación y producción:

- Intervención de ecosistemas frágiles: dicha intervención esta dada por una acción, producto de la explotación o producción del petróleo, la cual irrumpe en las interacciones naturales de los ecosistemas, llegando en algunos casos a eliminarlas por completo.
- Crecimiento demográfico en las zonas petroleras: este proceso se produce debido a que las personas emigran hacia estas zonas con la finalidad de mejorar su ingreso, porque se tiene la creencia que la mano de obra tiene una mejor remuneración y se tienen mayores beneficios.
- Abandono de instalaciones: debe seguirse un conjunto de acciones para abandonar un área o instalación, que incluyan medidas a adoptarse para evitar efectos adversos al medio ambiente debido a la presencia de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que puedan aflorar a corto, mediano o largo plazo.

- Derrames petroleros en bosques, sabanas, acuíferos, ríos, mares: estos derrames pueden afectar a la flora, fauna y asentamientos humanos cercanos a las áreas afectadas, que traen como consecuencia grandes problemas ambientales.
 - Alteraciones de la economía local: los habitantes de la zona cambian las actividades económicas que acostumbraban realizar (agricultura, artesanía, dulces criollos, turismo) por otras que posiblemente les produzcan mayores beneficios.
2. En la refinación y transformación de hidrocarburos:
- Concentración urbano-industrial: la cuál causa una serie de problemas ambientales que se manifiestan de diferentes maneras: contaminación atmosférica causada por las emisiones de las industrias y gases de escape de los vehículos, la aparición de cordones de miseria con su inadecuada localización de viviendas, la producción de basura, la sobrecarga de los servicios básicos y la violencia, entre otros.

Dada la magnitud de la industria petrolera en Venezuela y la gran cantidad de problemas ambientales que puede acarrear la realización de sus actividades sino se consideran debidamente sus impactos ambientales, es importante estudiar y analizar todos aquellos aspectos que pudiesen mejorar el procedimiento utilizado en Venezuela para hacer las Evaluaciones de Impacto Ambiental de las actividades de explotación y producción de petróleo.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General:

Estudiar y analizar el procedimiento utilizado en Venezuela para hacer las Evaluaciones de Impacto Ambiental de las actividades de explotación y producción de petróleo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Hacer un diagnóstico de las técnicas, procedimientos y marco legal usados en Venezuela para realizar las Evaluaciones de Impacto Ambiental de las actividades petroleras.

- Diseñar modelos para elaborar el análisis de sensibilidad ambiental, la identificación y la evaluación de impactos, que forman parte de una EIA para proyectos de explotación y producción petrolera que se llevan a cabo en Venezuela.
- Sugerir mejoras técnicas al procedimiento utilizado para realizar las EIA en Venezuela, considerando la posibilidad de tomar en cuenta el aspecto dinámico asociado a los posibles impactos causados por las actividades petroleras.

1.4 Justificación

En la actualidad se hace mucho énfasis en la importancia que tiene la conservación del ambiente, desde la contribución que debe hacer cada ser humano hasta las grandes empresas, quienes son las principales responsables de la degradación del ambiente y por ende deben ser las principales interesadas en realizar EIA eficientes y que realmente describan los efectos de sus acciones sobre el medio ambiente. La industria petrolera no escapa a esta realidad, por esto sus actividades deben estar sujetas a una seria normativa que les indique cómo deben hacerse las EIA y si se están tomando en cuenta los aspectos que realmente determinan la existencia o no de un impacto al ambiente.

Siendo Venezuela un país cuya economía está netamente basada en las actividades petroleras, debe ser de primordial interés tener un criterio unificado acerca de la metodología empleada en la realización de las EIA para las actividades petroleras.

1.5 Metodología

La presente investigación es un estudio de tipo exploratorio, ya que una vez realizada la revisión de la literatura relacionada con la elaboración de las EIA en Venezuela para proyectos petroleros, se determinó que son pocos los trabajos e investigaciones que se han llevado a cabo en esta área.

Según Hernández et al. (1998:58) las investigaciones exploratorias se efectúan, cuando se tiene como objetivo estudiar un tema o problema de investigación poco

estudiado o que no ha sido tratado anteriormente en otras investigaciones. Los estudios exploratorios sirven para familiarizarse con fenómenos, conceptos e ideas que no se conocen muy bien. Este tipo de estudio se caracteriza por ser más flexible en su metodología en comparación con otro tipo de estudios, siendo más amplios y dispersos.

En el marco de una investigación de tipo exploratoria, la metodología a seguir en el presente trabajo se describe en las siguientes etapas:

- 1) Se realizaron entrevistas con diferentes funcionarios del MARNR de la ciudad de Maturín, quienes aportaron valiosa información que sirvió de guía en el proceso de documentación, revisión, análisis y selección de las EIA que se encuentran consignadas en dicho Ministerio.
- 2) Se realizó una búsqueda y revisión de por lo menos veinte estudios de evaluación de impacto ambiental de las actividades de explotación y producción de la industria petrolera en Venezuela. De todos estos se seleccionaron dos pertenecientes a la zona oriental del país, por su gran desarrollo petrolero, correspondientes a los estados Monagas y Anzoátegui, y el tercero forma parte de un proyecto que pertenece a la Planta de Amuay ubicada en el estado Falcón. Las tres EIA han sido elaboradas por consultores privados, especializados en realizar este tipo de estudio.

Esta selección de las tres evaluaciones de impacto ambiental, se realizó siguiendo el procedimiento para obtener una muestra de tipo no probabilística, en la cual "la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características del investigador o del que hace la muestra". La ventaja de este tipo de muestra es que se puede realizar una selección cuidadosa controlada de sujetos con ciertas características especificadas (Hernández et al., 1998:207,227).

En este caso la selección de la muestra dependió de un proceso de toma de decisiones por parte de la autora de la presente investigación, en el cual las EIA seleccionadas debían poseer la mayor cantidad posible de las siguientes características:

- Que pertenecieran a proyectos petroleros de explotación y producción de petróleo o gas natural, de diferentes zonas geográficas del país.

- Que aplicaran las metodologías más comúnmente utilizadas, cualitativas o cuantitativas, para la identificación y evaluación de impactos. Además de que fueran aplicadas de la manera más rigurosa posible.
 - Ser recomendada por los funcionarios del MARNR, por el cumplimiento de los requisitos establecidos por dicho Ministerio.
 - Ser de data reciente (no más de 5 años de elaboración).
- 3) Una vez que fueron seleccionadas las tres EIA, se evaluaron estos estudios desde las siguientes perspectivas. En particular:
- a) Desde la perspectiva legal: se revisaron y analizaron el conjunto de leyes, decretos y normas vigentes en Venezuela en materia ambiental, haciendo especial énfasis en los Decretos relacionadas con las evaluaciones de impacto ambiental. Con el fin de responder a interrogantes como las siguientes: ¿Cumplen los estudios la normativa legal vigente para el momento de su realización?, ¿Están claros los estándares de calidad ambiental bajo los cuales se declara la ocurrencia del impacto?.
 - b) Desde la perspectiva de uso de modelos de simulación: se identificaron algunas situaciones en donde el uso de modelos de simulación ayudaría a manejar el proceso de identificación y evaluación de impactos.
 - c) Desde la perspectiva técnica: con la finalidad de hacer una comparación y discusión de la solvencia técnica de las metodologías usadas en las EIA elaboradas en Venezuela, se realizó una revisión documental que permitió conocer cuáles eran las metodologías estándares empleadas en el campo de las EIA en su elaboración.
- 4) Se elaboró la propuesta de cómo es posible mejorar la elaboración de una EIA para proyectos de explotación y producción de petróleo, en las etapas correspondientes a la elaboración de la sensibilidad ambiental, identificación y evaluación de impactos y cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

Por último se presentan las recomendaciones pertinentes con base en los análisis realizados.

1.6 Trabajos Previos

Haciendo una revisión general de todo tipo de material que fuese útil para la presente investigación, se encontró una amplia gama de referencias sobre Estudios y Evaluaciones de Impacto Ambiental, libros, guías metodológicas, manuales, aplicaciones a casos prácticos, entre otras. Dichas referencias explican una serie de métodos y técnicas a seguir a lo largo del proceso de evaluación de los impactos. Sin embargo, fueron muy pocas las referencias encontradas que trataran el caso, bajo cualquier punto de vista, de las EIA realizadas en Venezuela para proyectos de la industria petrolera. A continuación se listan las referencias consultadas:

1. Sebastiani et al. (2001), proponen una metodología para revisar el papel que juega una EIA completa dentro del marco de trabajo del Sistema de Gerencia Ambiental, a lo largo del ciclo de vida de una planta industrial. Como introducción al tema, se hace un análisis acerca de la situación en la que se encuentran las EIA y como son tratadas, no solo en Venezuela sino en otros países. Dicho análisis está basado en dos planteamientos hechos por Turner (1999), según el cual: a) las EIA son usadas solamente como listas de chequeo en la etapa de obtención de los permisos para el proyecto y; b) para que una EIA sea efectiva, debe operar a través de todo el ciclo de vida del proyecto, ya que en la mayoría de los casos, no existen mecanismos que aseguren que las medidas acordadas en la etapa de planificación son llevadas a cabo subsecuentemente.

Estos autores presentan de forma detallada una serie de aspectos que afectan negativamente los procesos de gerencia ambiental y cumplimiento de las regulaciones en lo concerniente a documentación, monitoreo y mediciones ambientales, comunicación interna y externa, compromiso gerencial y actitud gerencial, lo cual resume muy bien la forma como se manejan los procesos de evaluación ambiental en Venezuela.

Los resultados muestran el vínculo que existe en el uso actual de las EIA completas dentro del proceso de evaluación ambiental a través del ciclo de vida de una planta industrial.

2. Buroz (1998) presenta una serie de aspectos a ser tomados en cuenta en el proceso de gestión ambiental venezolano, haciendo una clara explicación del marco de referencia para las EIA en Venezuela. Aunque no trata específicamente el caso de las actividades petroleras, si hace mención de ellas y de las consecuencias negativas para el ambiente.

El libro es una recopilación de los aspectos más importantes del ambiente y su administración, comenzando por la definición de los conceptos básicos del área. Luego hace una caracterización de los problemas ambientales globales, regionales y nacionales, donde se señalan los problemas ocasionados por las actividades petroleras. Por último presenta una propuesta para la estructura administrativa para la gestión ambiental, haciendo una reseña de cómo surgió la necesidad de crear el MARNR, que funciones y políticas lo regían y su evolución a lo largo del tiempo.

3. En Sebastiani et al. (1996) se hace un análisis de los decretos 2213 de 1992 y 1257 de 1996 en lo relativo a permisión de actividades: fase de autorización o aprobación de la Autorización de Ocupación del Territorio (AOT), con el fin de establecer los problemas existentes para otorgar la AOT. Además, se hace una evaluación del Decreto 1257 específicamente lo relacionado con el documento de intención, tiempo para la AOT, modalidades de evaluación ambiental, relación de la evaluación ambiental con los planes existentes y diferencias establecidas para la permisión de actividades de hidrocarburos y minería.

Los resultados de este trabajo muestran un análisis bien detallado, del cual surgen una serie de mejoras y sugerencias que se deben tomar en cuenta para agilizar el proceso de solicitud y otorgamiento de los permisos necesarios para ejecutar proyectos que según la ley requieran la realización de una EIA y de la AOT.

4. Métodos para la Evaluación de Impactos Ambientales Incluyendo Programas Computacionales editado por Duek (1980), es un manual de métodos de

evaluación ambiental producto de la experiencia obtenida en el curso interamericano sobre impacto ambiental en obras de infraestructura realizado en el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras (CIDIAT) en Noviembre de 1978. El objetivo de este manual es explicar la aplicación de métodos matriciales, tales como el uso de la matriz de Leopold, el método de Fisher & Davies, Hill & Alterman y Welch & Lewis. También se explica el uso del método de índices desarrollado por Batelle Columbus Laboratories. Para estos análisis se utilizan ejemplos de diferentes áreas de estudio, y se describen programas computacionales desarrollados en Fortran IV y PL/1.

5. Duek (1995) en su trabajo de ascenso titulado Una Nueva Metodología para Modelar la Evaluación de Impactos Ambientales, hace el planteamiento de una metodología para llevar a cabo las EIA, la cual sigue las siguientes etapas: a) Determinar proposiciones de impacto ambiental en el marco de la planificación del desarrollo; b) Establecer funciones de evaluación de impacto ambiental para cada proposición de impacto ambiental; c) Expresar la interconectividad entre las funciones de impacto ambiental; y d) Desarrollar criterios de optimalidad par el control ambiental del desarrollo y permitir su uso en el diseño de alternativas. Esta secuencia de pasos fue ejemplificada usando el Proyecto de Desarrollo del Sur de Monagas y Anzoategui (DSMA) de LAGOVEN en la Faja Petrolífera del Orinoco. El desarrollo de este trabajo le permite concluir al autor que el diseño y evaluación de un proyecto deben ir de la mano, ya que si una EIA se realiza al final del diseño y evaluación interna de un proyecto, esto ocasionará pérdidas de recursos y la inevitable falta de comunicación entre los profesionales que elaborarán el proyecto.

1.7 Contenido de este documento

En el capítulo 2 se presenta el análisis de las EIA elaboradas en Venezuela para proyectos de explotación y producción petrolera, desde la perspectiva legal. Allí se hace

una revisión de las Leyes, Decretos y Normas que rigen en materia ambiental en Venezuela, haciendo especial énfasis en el marco legal que rige la elaboración de las EIA constituido por el Decreto 1257, mediante el que se dictan las *Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente*, y las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos*, que contiene los cuestionarios ambientales que deben incluirse en las EIA.

El marco teórico que sustenta esta investigación se presenta en el capítulo 3. En este capítulo se presentan los conceptos e ideas vinculados a este trabajo y que comprenden: 1) una explicación de cuáles son las actividades petroleras en Venezuela, 2) la presentación de la teoría que rige las EIA en general y 3) cómo el uso de modelos de simulación puede ser de utilidad en la elaboración de una EIA para proyectos petroleros.

El Capítulo 4 contiene los resultados obtenidos en esta investigación, comenzando por un diagnóstico del estado actual de las EIA elaboradas en Venezuela para proyectos de explotación y producción de petróleo. Este diagnóstico se hizo desde tres perspectivas: legal, dinámica y técnica, con el fin de que sirviera de base para desarrollar la propuesta de cómo mejorar el procedimiento utilizado para elaborar las EIA. A continuación, se presenta la propuesta definitiva que comprende el procedimiento a seguir en la elaboración de la sensibilidad ambiental, en la identificación y evaluación de impactos y en el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Estas tres etapas forman parte del conjunto de pasos que conforman una EIA completa. Por último, se muestra cómo el uso de modelos de dinámica de sistemas pueden usarse en la etapa de identificación y evaluación de impactos.

Finalmente, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas del desarrollo de esta investigación.

Una vez que se han presentado los objetivos y demás aspectos metodológicos que rigen la presente la investigación, se procede a desarrollar cada una de las perspectivas que sirven de apoyo para el estudio y análisis de las EIA, por lo tanto en el siguiente capítulo se procede a estudiar y analizar el marco de leyes que rigen en materia ambiental en Venezuela.

Capítulo 2. Marco Legal Venezolano en Materia Ambiental

2.1 Introducción

El marco legal venezolano en materia ambiental, es una de las perspectivas bajo la cual se estará analizando y estudiando el procedimiento que se sigue en Venezuela para realizar las EIA.

Para llevar a cabo dicho análisis general de los aspectos ambientales legales y regulatorios en Venezuela, se presenta una clasificación del marco legal partiendo de las leyes más generales, como por ejemplo, la *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela*, pasando por leyes que tratan aspectos ambientales más específicos como la *Ley Orgánica del Ambiente*, la *Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio* y la *Ley Penal del Ambiente*, hasta llegar a los decretos más específicos que tratan factores particulares del medio ambiente como los *Decretos 1257, 2289, 883, 638* y las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos*.

El *Decreto 1257* mediante el cual se dictan las *Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente*, es de especial interés para esta investigación ya que su objetivo es establecer los procedimientos que se deben seguir para realizar una evaluación ambiental de actividades que posiblemente causen daño al medio ambiente, incluyendo a los seres humanos. Dichos procedimientos varían de acuerdo al proyecto que se pretenda llevar a cabo, por esto en las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos*, se establece el contenido del documento de una evaluación de impacto ambiental de acuerdo al tipo de proyecto que se esté evaluando.

Como complemento al *Decreto 1257*, se encuentran una serie de Decretos adicionales que establecen las Normas para el tratamiento de diversos factores ambientales que forman parte de una evaluación de impacto ambiental, como lo es el manejo de cuerpos de agua, desechos, vertidos o efluentes líquidos, contaminación sónica, entre otras. Estas Normas son de especial interés en una EIA, ya que establecen los estándares de calidad mínimos que se deben cumplir cuando se está llevando a cabo una actividad que sea susceptible de degradar el medio ambiente.

Todo este conjunto de Leyes y Decretos conforman el marco legal ambiental en Venezuela. El ente encargado de velar por el fiel cumplimiento de todas estas leyes es el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR), que desde 1977 viene desarrollando un conjunto acciones que le ha permitido establecer los estándares en materia ambiental en Venezuela. Además el MARNR, es el encargado de recibir y evaluar toda EIA que sea requerida por las leyes venezolanas, con el fin de otorgar las autorizaciones y permisos necesarios para dar inicio o continuidad a cualquier tipo de actividad que afecte al medio ambiente.

2.2 Discusión del Marco Legal

Las leyes venezolanas tienen diferentes niveles que van desde la Constitución hasta Decretos que dictan normas muy específicas. Toda actividad que se lleve a cabo y tenga influencia sobre el ambiente, directa o indirectamente, tiene la obligación de cumplir con la legislación de protección del ambiente. Toda regulación constitucional, estatutaria y regulatoria concerniente al ambiente, es aplicable a esta área, al igual que otros textos legales como por ejemplo los Tratados Internacionales y cualquier cláusula contractual sobre ambiente.

Para propósitos de esta investigación, se considera que el marco legal venezolano vigente en materia ambiental, se encuentra dividido en los siguientes tres niveles:

1. Normas y Leyes generales en materia ambiental conformado por la *Constitución de la República Bolivariana de Venezuela*, la *Ley Orgánica del Ambiente*, la *Ley Orgánica para la Ocupación del Territorio* y la *Ley Penal del Ambiente*.
2. Normas y Leyes que regulan a las evaluaciones de impacto ambiental constituido por el *Decreto 1257*, las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Explotación y Producción de Hidrocarburos*, y por último las Autorizaciones Ambientales.
3. Normas y Leyes específicas para cada medio y para controlar la contaminación, tales como el Decreto 2289 mediante el que se dictan las *Normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el Manejo de los Desechos Peligrosos*, el

Decreto 883 mediante el que se dictan las *Normas para la Clasificación y el Control de la Calidad de los Cuerpos de Agua y Vertidos o Efluentes Líquidos*, el Decreto 638 mediante el que se dictan las *Normas sobre la Calidad del Aire y Control de la Contaminación Atmosférica* y el Decreto mediante el que se dictan las *Normas sobre el Control de la Contaminación Generada por el Ruido*.

2.2.1 Normas y Leyes generales en materia ambiental

2.2.1.1 Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (República Bolivariana de Venezuela, 2000).

El artículo 127 de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, establece que:

"Es un derecho y un deber de cada generación proteger y mantener el ambiente en beneficio de sí misma y del mundo futuro. Toda persona tiene derecho individual y colectivamente a disfrutar de una vida y de un ambiente seguro, sano y ecológicamente equilibrado. El Estado protegerá el ambiente, la diversidad biológica, los recursos genéticos, los procesos ecológicos, los parques nacionales y monumentos naturales y demás áreas de especial importancia ecológica. El genoma de los seres vivos no podrá ser patentado, y la ley que se refiera a los principios bioéticos regulará la materia. Es una obligación fundamental del Estado, con la activa participación de la sociedad, garantizar que la población se desenvuelva en un ambiente libre de contaminación, en donde el aire, el agua, los suelos, las costas, el clima, la capa de ozono, las especies vivas, sean especialmente protegidos, de conformidad con la ley."

Este artículo establece la obligación que tiene cada individuo y el propio Estado, de proteger el medio ambiente de cualquier acción que pudiera causarle daños. El ente encargado de hacer cumplir este artículo, por parte del Estado, es el MARNR.

En el artículo 128 se establece que:

"El Estado desarrollará una política de ordenación del territorio atendiendo a las realidades ecológicas, geográficas, poblacionales, sociales, culturales, económicas, políticas, de acuerdo con las premisas del desarrollo sustentable, que incluya la información,

consulta y participación ciudadana. Una ley orgánica desarrollará los principios y criterios para este ordenamiento."

Este artículo establece la necesidad de realizar un desarrollo organizado del territorio venezolano, el cual está plenamente regulado por la Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio, la cual será explicada más adelante.

El artículo 129, es clave para esta investigación y establece que:

"Todas las actividades susceptibles de generar daños a los ecosistemas deben ser previamente acompañadas de estudios de impacto ambiental y socio cultural. El Estado impedirá la entrada al país de desechos tóxicos y peligrosos, así como la fabricación y uso de armas nucleares, químicas y biológicas. Una ley especial regulará el uso, manejo, transporte y almacenamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas. En los contratos que la República celebre con personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, o en los permisos que se otorguen, que afecten los recursos naturales, se considerará incluida aun cuando no estuviera expresa, la obligación de conservar el equilibrio ecológico, de permitir el acceso a la tecnología y la transferencia de la misma en condiciones mutuamente convenidas y de restablecer el ambiente a su estado natural si éste resultara alterado, en los términos que fije la ley."

Este artículo de la nueva Constitución establece de forma explícita la obligatoriedad de realizar EIA a todas aquellas actividades susceptibles a generar daños al medio ambiente, además establece la necesidad de realizar planes de contingencia con el fin de recuperar el estado natural del medio luego de haber recibido el impacto negativo.

A diferencia de la Constitución actual, en la Constitución derogada solo se tenía un artículo (artículo 106) que establecía que el Estado debía proteger y conservar los recursos naturales de su territorio, y que su explotación tendría beneficios primordialmente para el colectivo de todos los venezolanos. En esta nueva Constitución se tienen los tres artículos anteriormente mencionados que establecen de forma directa la obligatoriedad de proteger los recursos naturales y de realizar las EIA en los casos que lo ameriten.

En este mismo nivel de las leyes venezolanas se encuentran las leyes orgánicas, las cuales proporcionan una idea general y las regulaciones sobre algún tema específico, estableciendo el marco legal básico sobre un tema en particular, pero son usualmente complementadas por regulaciones específicas. Cuando no existen regulaciones específicas

referentes a alguna materia, las normas establecidas en las leyes orgánicas son las que rigen.

2.2.1.2 Ley Orgánica del Ambiente (República Bolivariana de Venezuela, 1976).

Esta fue la primera ley creada en Venezuela, en junio de 1976, con el propósito de proteger el ambiente. Cualquier actividad que pueda causar algún daño al medio ambiente, está sujeta a control gubernamental, siendo el ente encargado el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Esta ley ha sido estructurada en tres grandes áreas:

1. La Planificación Ambiental como instrumento para alcanzar las metas de la ley, estableciendo lineamientos para la administración y manejo de las actividades que posiblemente ocasionen daños al ambiente, siguiendo el Plan Nacional de Conservación, Defensa y Mejoramiento del Ambiente.
2. La creación de Agencias Nacionales de Protección Ambiental como el Consejo Nacional del Ambiente, la Oficina Nacional del Ambiente y la Procuraduría del Ambiente, cada una con atribuciones bien definidas en los artículos 11, 15 y 31 respectivamente.
3. Definición del daño ambiental permitido, así como las violaciones, sanciones y penalidades en caso de incumplir la presente ley.

En el caso de las actividades de energía, minería y producción de hidrocarburos, este control es ejercido también por el Ministerio de Energía y Minas. La ley establece los principios generales para la conservación, defensa y mejoramiento del medio ambiente para el beneficio de la calidad de vida. Para alcanzar este propósito, esta ley en su artículo 20 considera una lista muy general de actividades que pueden causar daños al ambiente.

El artículo 21 de esta ley establece que:

"Las actividades susceptibles de degradar el ambiente en forma no irreparable y que se consideren necesarias por cuanto reporten beneficios económicos o sociales evidentes, sólo podrán ser autorizados si se establecen garantías, procedimientos y normas para

su corrección. En el acto de autorización se establecerán las condiciones, limitaciones y restricciones que sean pertinentes."

El instrumento utilizado para establecer las garantías, procedimientos y normas para corregir los daños causados al ambiente por determinadas actividades, tal y como lo exige el artículo anterior, corresponde a las EIA que son consignadas al MARNR antes de dar inicio a un determinado proyecto. Por lo tanto, una EIA debe contemplar dichos aspectos con el fin de ser evaluados y aprobados por el MARNR.

2.2.1.3 Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio (República Bolivariana de Venezuela, 1983).

Esta ley fue decretada en agosto de 1983, y su objetivo primordial es establecer las normas que regirán el proceso de división territorial, tomando en consideración la estrategia económica y social, de desarrollo de la Nación a largo plazo.

Esta ley en su artículo 2 define ordenación territorial, como la regulación y promoción de establecimientos humanos, de las actividades económicas y sociales de las personas, así como el desarrollo espacial, con el fin de mejorar el nivel de vida de la población, en armonía con la optimización de la explotación de los recursos naturales y la protección y valorización del ambiente, como objetivos fundamentales del desarrollo integral.

Como parte de la ordenación del territorio se debe considerar la protección del ambiente, de las aguas, los suelos, el subsuelo, los recursos forestales y demás recursos naturales renovables y no renovables, tal y como lo establece el artículo 3.

Uno de los aspectos más importante de esta ley lo contempla el artículo 53, donde se establece que antes de que cualquier actividad pueda comenzar, se requiere tener la permisología necesaria de las autoridades encargadas, siempre y cuando dicha actividad pertenezca a la lista de las actividades que requieren autorizaciones de uso de la tierra. Además, se debe estar en conformidad con lo establecido en los planes de ordenación del territorio, como requisito constante a nivel nacional, estatal, local y en áreas bajo régimen de administración especial.

2.2.1.4 Ley Penal del ambiente (República Bolivariana de Venezuela, 1992a).

Fue creada en enero de 1992 y complementa a la Ley Orgánica del Ambiente. Su objetivo principal es determinar qué se debe considerar como delitos ambientales, los cuales son definidos como acciones que violan las reglas establecidas para la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente, además establece penalidades criminales para estos delitos. Amparados en esta ley, es posible sancionar crímenes ocasionados por conductas de negligencia o imprudencia, aunque las penalidades estipuladas para estas circunstancias serán reducidas a un tercio o a la mitad de las penas normales aplicables a crímenes cometidos con intención. Esta ley también crea un sistema de medidas precautelativas para la restitución y reparación, con la finalidad de minimizar el daño ambiental causado (BPMAW, 2000).

En el Título II de los delitos contra el ambiente, se establecen las sanciones y multas para aquellas personas que realicen alguna actividad capaz de causar daño a las aguas, medio lacustre, marino y costero, suelos topografía y paisaje, envenenamiento, contaminación y demás acciones capaces de alterar la atmósfera o el aire, flora, fauna sus hábitats o las áreas bajo régimen de administración especial.

En este mismo Título existe el Capítulo VI de las omisiones en el Estudio y Evaluación del Impacto Ambiental, en cual contiene el artículo 61 que establece:

"Omisión de requisitos sobre impacto ambiental.- El funcionario público que otorgue los permisos o autorizaciones, sin cumplir con el requisito de estudio y evaluación del impacto ambiental, en las actividades para las cuales lo exige el reglamento sobre la materia, será sancionado con prisión de tres (3) a seis (6) meses y multa de trescientos (300) a seiscientos (600) días de salario mínimo."

Los principales delitos que contempla esta ley son (BPMAW, 2000):

- Daño al suelo, vegetación y topografía del paisaje;
- Descarga ilegal de aguas contaminadas;
- Descargas de hidrocarburos en ambientes acuáticos;
- Práctica de actividades prohibidas en áreas protegidas;
- Disposición o abandono de desechos violando estándares;
- Extracción ilegal de minerales no metálicos; y

- Deforestación de cuencas hidrográficas utilizadas para suplir aguas.

Las penalidades que establece esta ley son prisión, arresto, multas y trabajos comunitarios. También establece penalidades accesorias para personas naturales y para personas jurídicas. Una compañía es culpable de un delito ambiental cuando la acción es cometida por decisión de su órgano ejecutivo. Acciones legales en relación a ese tipo de delitos son escuchadas por los tribunales penales.

2.2.2 Normas y Leyes que regulan a las evaluaciones de impacto ambiental

El segundo nivel de las leyes venezolanas lo contemplan los decretos y normas técnicas. En el caso de los decretos relacionados con el medio ambiente, su objetivo es controlar las actividades que afecten los recursos naturales renovables y proveer lineamientos para definir los límites de contaminación aceptables. A continuación se presentan dos decretos en materia de evaluación de impacto ambiental y el procedimiento a seguir ante el MARNR para la obtención de las autorizaciones ambientales requeridas para dar inicio a un proyecto petrolero.

2.2.2.1 Decreto N° 1257, mediante el que se dictan las Normas sobre Evaluación Ambiental de Actividades Susceptibles de Degradar el Ambiente (República Bolivariana de Venezuela, 1996a).

Este Decreto establece los procedimientos para los casos que ameritan una evaluación ambiental previa, de las actividades industriales o comerciales susceptibles de degradar el ambiente. A su vez, determina los métodos técnicos de evaluación, para verificar el daño ambiental permisible de los programas y proyectos de desarrollo.

Los capítulos de esta Norma han sido sintetizados por Sebastiani et. al. (1996:201), como tres modalidades en el procedimiento seguido para el otorgamiento de la autorización y aprobación para la ocupación del territorio, de la siguiente manera:

"Modalidad 1, procedimiento ordinario para actividades distintas a las mineras y de hidrocarburos, donde se establece que una vez que el

MARNR se pronuncie ante los resultados del EIA o EAE, se le otorgará o negará al promotor la autorización o aprobación para la ocupación del territorio

Modalidad 2, procedimiento ordinario para actividades mineras y de hidrocarburos, donde se establece que el primer paso para el otorgamiento de concesiones y contratos de exploración y explotación minera y de exploración y producción de hidrocarburos, es solicitar ante el MARNR la correspondiente aprobación para la ocupación del territorio, y

Modalidad 3, procedimiento en áreas urbanas y donde las autorizaciones y aprobaciones de ocupación del territorio son otorgadas por organismos distintos al MARNR."

El artículo 3 de este Decreto, establece las siguientes definiciones de las posibles metodologías a seguir para la evaluación ambiental de los programas y proyectos:

- Estudio de Impacto Ambiental (EIA): estudio orientado a predecir y evaluar los efectos del desarrollo de una actividad sobre los componentes del ambiente natural y social y proponer las correspondientes medidas preventivas, mitigantes y correctivas, a los fines de verificar el cumplimiento de las disposiciones ambientales contenidas en la normativa legal vigente en el país y determinar los parámetros ambientales que conforme a la misma deban establecerse para cada programa o proyecto.

Este Decreto utiliza el término Estudio de Impacto Ambiental, aunque no existe diferencia alguna entre esta definición y la de Evaluación de Impacto Ambiental, por esto para esta investigación ambos términos significan lo mismo.

- Evaluación Ambiental Específica (EAE): estudio orientado a evaluar la incorporación de la variable ambiental en el desarrollo de los programas y proyectos siguientes:
 - Los que generen efectos localizados o específicos sobre el ambiente.
 - Los que se localicen en áreas fuertemente intervenidas.
 - Los que hayan generado efectos en etapas previas de ejecución que ameriten ser evaluados.
 - Los que no requieran de la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental.
- Presentación de recaudos específicos (RE) que se requieran para evaluar el programa o proyecto a llevarse a cabo, una vez que se ha determinado, conforme al análisis del

Documento de Intención, que sus efectos sobre el ambiente serán mínimos. Dichos recaudos serán establecidos mediante una Resolución del MARNR

Así mismo se establecen las siguientes definiciones:

- Términos de Referencia (TR): Propuesta sobre el alcance y contenido de un Estudio de Impacto Ambiental, en función de las características particulares del programa o proyecto propuesto y el ambiente potencialmente afectado.
- Estudios de Línea Base (ELB): Programa de mediciones destinadas a establecer una descripción válida de las condiciones ambientales importantes para la toma de decisiones sobre la actividad, antes del desarrollo del Programa o Proyecto propuesto.

La presentación ante el MARNR de alguno de los cinco documentos anteriores, está contemplado en el procedimiento que debe seguir el encargado del proyecto para solicitar las autorizaciones necesarias, el cual está explicado con mayor detalle más adelante en este capítulo. En el caso de que se requiera la presentación de una EIA, se debe proceder primero a presentar los TR, con el fin de explicar los alcances y las afectaciones potenciales del proyecto. El ELB, forma parte del documento de la EIA, cuando se hace la caracterización ambiental del medio ambiente donde estará ubicado el proyecto petrolero.

Todas las partes (personas naturales o entidades jurídicas públicas o privadas) interesadas en llevar a cabo programas o proyectos que requieran ocupación de tierras, deben notificarlo al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, presentando un Documento de Intención, donde se especifiquen las acciones susceptibles de producir un impacto ambiental que forman parte del proyecto (BPMAW, 2000).

Las compañías involucradas en la exploración y producción de hidrocarburos están obligadas a presentar un Estudio de Impacto Ambiental para las siguientes operaciones, según lo establece el artículo 6 de este Decreto:

- Programas de perforación exploratoria y producción de hidrocarburos;
- Refinerías de petróleo y plantas de mejoramiento de crudos;
- Desarrollos de complejos petroquímicos;
- Complejos criogénicos, y cualquiera otra actividad que requiera estudios de acuerdo a las evaluaciones técnicas en el documento de intención (aunque no estén especificados en la ley);

- Disposición de desechos: rellenos sanitarios de más 300 toneladas métricas por día e instalaciones para el tratamiento y disposición final de desechos tóxicos o peligrosos.

El Capítulo II de este Decreto, titulado *Del Procedimiento para Actividades Mineras y de Hidrocarburos*, establece de forma detallada cada uno de los pasos a seguir en la obtención de la autorización para la ocupación del territorio, para proyectos de índole petrolera. Dicho procedimiento contempla la fase de exploración (Sección II) y la fase de explotación minera y producción de hidrocarburos (Sección III)

En el Capítulo III, titulado *Del Procedimiento en Areas Urbanas y donde las Autorizaciones y Aprobaciones para la Ocupación del Territorio son otorgadas por organismos distintos al MARNR*, se establecen los pasos a seguir en la obtención de la autorización para las actividades a realizarse en áreas urbanas y donde las autorizaciones sean emitidas por un organismo diferente al MARNR.

Las compañías deben obtener la autorización para la ocupación de las tierras por parte del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables antes de entrar en cualquier concesión o acuerdo. Además, deben completar un cuestionario ambiental, el cual dará las bases para determinar las medidas necesarias para reducir el impacto ambiental.

2.2.2.2 Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos (República de Venezuela, 1996b).

Tiene por objeto establecer cuáles son los recaudos que deben ser consignados ante el MARNR, con el fin de realizar la evaluación ambiental de los proyectos mineros y de hidrocarburos, en concordancia con lo establecido en el Decreto 1257.

Estas normas constan de tres capítulos, el primero establece las *Disposiciones Generales*, el segundo establece los *Recaudos para la Evaluación Ambiental de la Actividad Minera* y el tercero establece los *Recaudos para la Evaluación Ambiental de la Exploración y Producción de Hidrocarburos*.

En este último capítulo la Sección I, *De los Recaudos para la Tramitación de Aprobaciones y Autorizaciones de Ocupación del Territorio para la Exploración y Producción de Hidrocarburos*, presenta el Cuestionario Ambiental a ser presentado para la tramitación de la aprobación de ocupación del territorio, según lo establece el artículo 16 del Decreto 1257. Dicho Cuestionario Ambiental está estructurado de la siguiente manera:

1. Identificación del solicitante: Contiene toda la documentación necesaria para identificar a la empresa u organismo que realizará el proyecto, incluyendo las principales actividades que realizan.
2. Descripción del proyecto propuesto: Explicación detallada de todo el proyecto, dónde se realizará exactamente, qué superficie ocupará, qué actividades se llevaran a cabo a todo lo largo del mismo, potencial estimado de hidrocarburos, inversión y relación del proyecto con otros que se estén ejecutando o se vayan a ejecutar en el área.
3. Descripción del área: Incluye la descripción de las características físico-naturales del área donde se llevará a cabo el proyecto, cuerpos de agua presentes, formaciones vegetales, grado de intervención que incluya posibles procesos erosivos, contaminación de aguas, aire, suelos, generación de ruidos, alteración de la topografía y paisaje y por último la descripción de los procesos de degradación ambiental presentes en el área.
4. Efectos potenciales del proyecto: Se establece una lista de los efectos potenciales del proyecto sobre los medios físico-natural y socioeconómico, y la escala a utilizar para medir la intensidad del efecto, Alto (A), Medio (M) o Bajo (B).
5. Proposición de medidas de prevención y mitigación: Como último aspecto se debe presentar el plan de medidas preventivas y mitigantes que se llevaran a cabo en el transcurso y una vez finalizado el proyecto, con el fin de eliminar o disminuir los efectos potenciales negativos causados.

En este mismo capítulo la Sección II, *De los Recaudos para la Tramitación de las Autorizaciones para la Afectación de Recursos Naturales Renovables para la Prospección Sísmica de la Fase de Exploración de Hidrocarburos*, indica los recaudos que deberán acompañar a la solicitud de autorización para la afectación de recursos naturales renovables en la fase de exploración de hidrocarburos, según lo establecido en el artículo 17 del

Decreto 1257. Este documento debe contener los puntos descritos anteriormente pertenecientes a la Sección I de estas Normas, además de:

- Cuantificación de recursos afectados: Se debe indicar el tipo y cantidad de vegetación, suelo y agua a ser afectados por las actividades de proyecto.
- Costo de las medidas de protección ambiental: Estimación de los costos de la proposición de las medidas.
- Alcance de los Estudios de Línea Base a ser realizados durante el levantamiento de información sísmica.
- Plan de supervisión ambiental.
- Anexos.

2.2.2.3 Autorizaciones Ambientales

De acuerdo al marco ambiental venezolano, la realización de cualquier proyecto relacionado con la industria petrolera y petroquímica, debe ser objeto de un régimen de autorizaciones ambientales, las cuales son indispensables en el inicio y en cualquier etapa de un proyecto petrolero. Estas autorizaciones se clasifican como sigue:

1. Para el desarrollo de proyectos:
 - Autorización para ocupación del territorio (AOT).
 - Autorización para afectar recursos naturales (AARN).
2. Proyectos en operación o para el inicio de la operación:
 - Registro de actividades susceptibles de degradar el ambiente (RASDA), el cual se obtiene siguiendo un proceso de inscripción en el MARNR.
 - Autorización de continuación temporal mientras dure el proceso de adecuación ambiental.
3. Manejo de desechos sólidos peligrosos:
 - Registro de actividades susceptibles de degradar el ambiente (RASDA).
 - Plan de cumplimiento por parte de generadores de desechos.

- Plan de contingencia frente a accidentes relacionados con manejo de desechos, cuando es requerido.
- Plan de adecuación para generadores de materiales y desechos peligrosos que no cumplan con la normativa establecida.

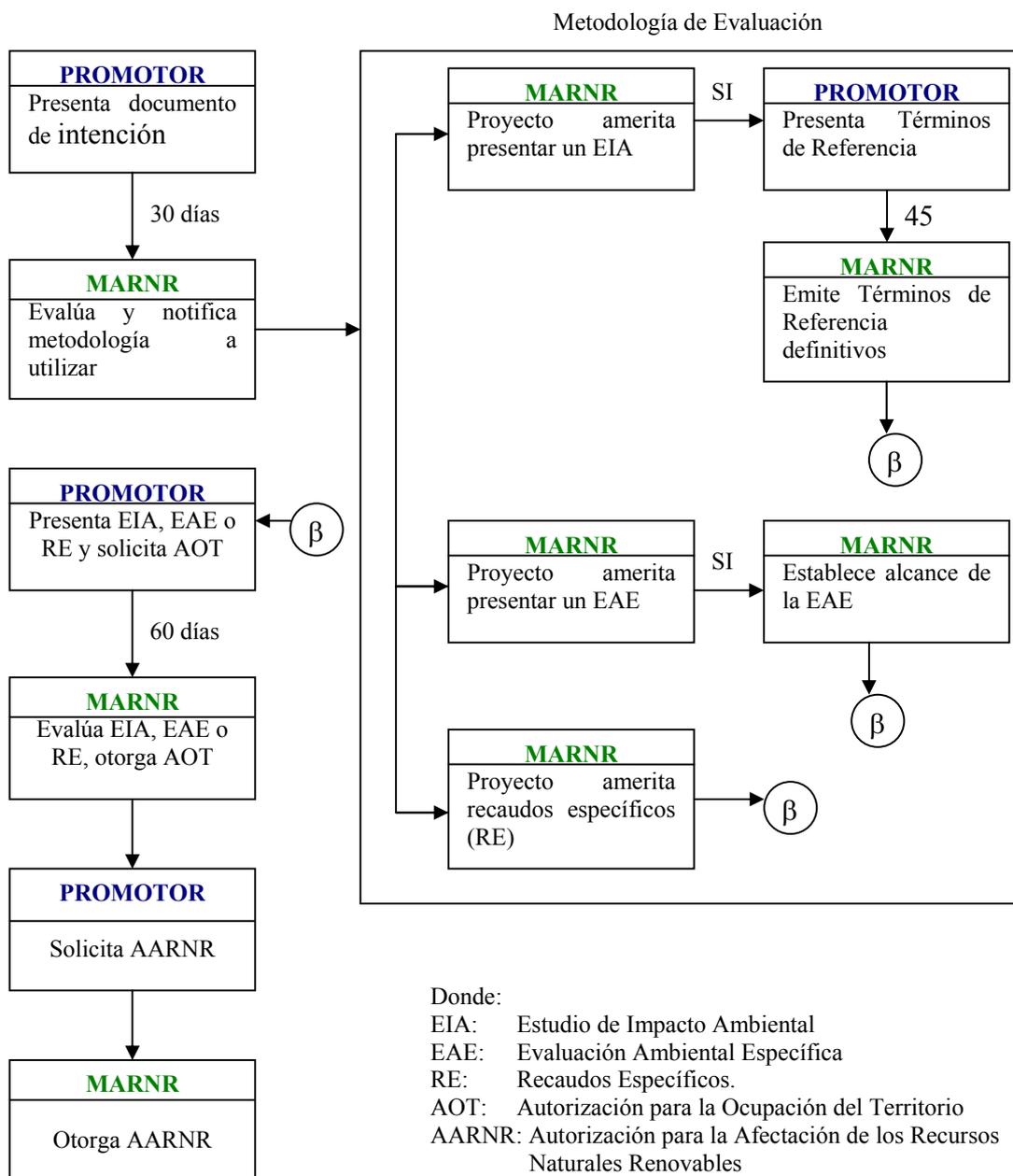
Los procesos de obtención de autorizaciones y aprobaciones antes listadas, siguen procesos de tramitación particulares para cada caso, los cuales han sido esquematizados y se muestran en las figuras 1 y 2.

2.2.3 Normas y Leyes específicas para cada medio y para controlar la contaminación

Las normas y leyes que a continuación se presentan, establecen los estándares de calidad ambiental que se deben mantener en cada uno de los aspectos que conforman el medio físico-natural, con la finalidad de preservar las condiciones ambientales más adecuadas y evitar la contaminación producida por las diferentes actividades que forman parte de un proyecto petrolero.

2.2.3.1 Decreto N° 2289, mediante el que se dictan las normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos (República de Venezuela, 1997a y 1998).

El objetivo de este Decreto es regular la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de desechos, cuando ambos presenten características, composición o condiciones que puedan poner en peligro y representen un riesgo para la salud y el ambiente. El Decreto está modificado para dar orientación en cómo manejar la generación, el transporte y la disposición o tratamiento de desechos peligrosos. Estos estándares tienen la finalidad de reducir la generación de desechos, desarrollar el reciclaje, reutilizar y mejorar el uso de los materiales peligrosos de manera que sean materiales peligrosos recuperables, y por último gobernar el tratamiento y disposición final, cumpliendo con los estándares de seguridad para evitar el poner en peligro a la salud humana o al ambiente.



Fuente: PetroLatin, 2000

Figura 1. Procedimiento Ordinario para la obtención de la AOT y AARNR

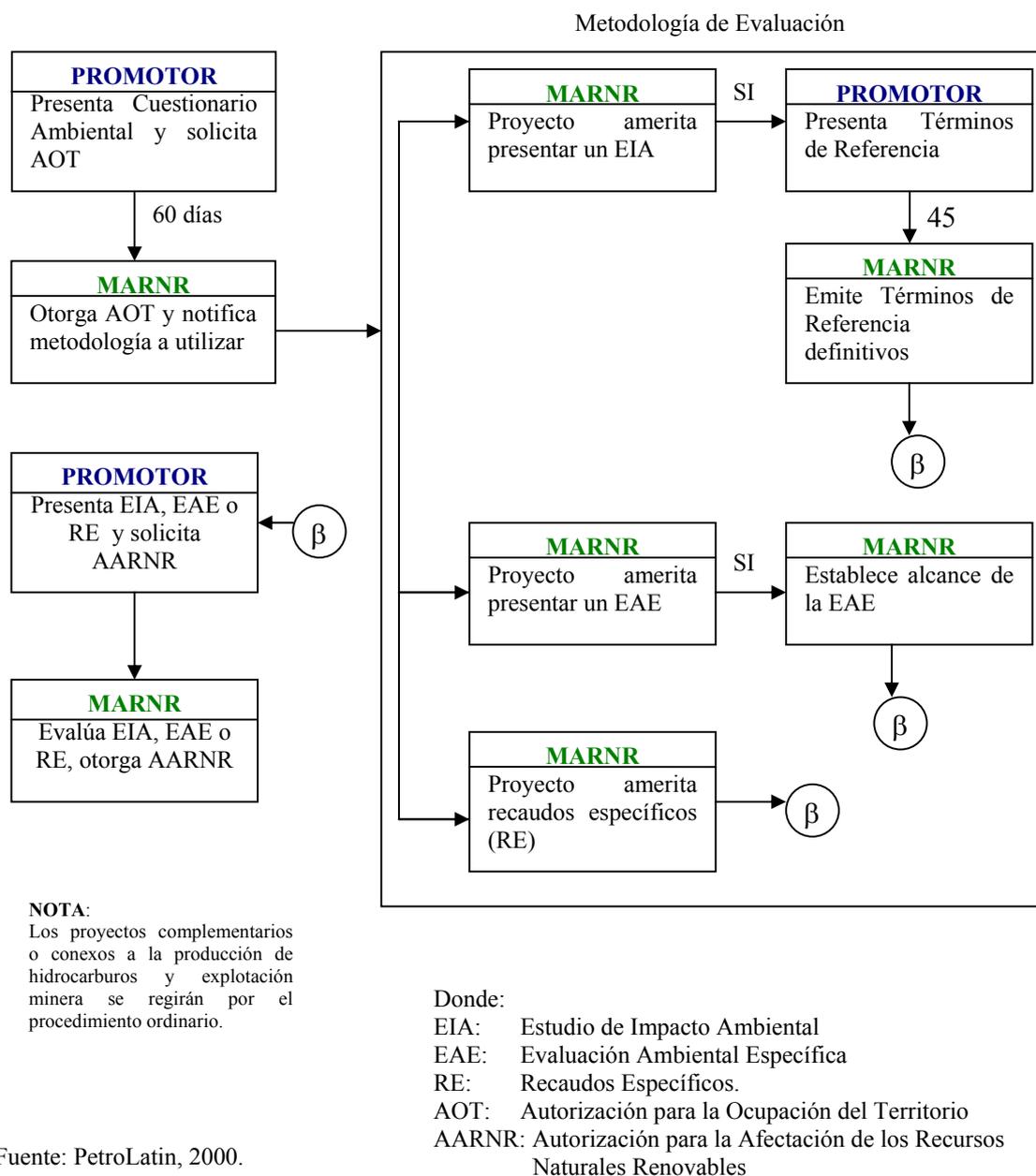


Figura 2. Procedimiento Especial para la obtención de la AOT y AARNR de Actividades Mineras y de Hidrocarburos

Las características de peligrosidad están especificadas en este Decreto en el artículo 6, conforme a la definición de las Naciones Unidas para el transporte de mercancías de este

tipo: explosivos, inflamables, corrosivos, tóxicos (venenos), sustancias infecciosas, ecotóxicos y oxidantes. Ahora bien, la peligrosidad de un material está dada también por la fuente generadora de donde provenga, en otras palabras, las actividades susceptibles de degradar el ambiente son las principales fuentes generadoras de materiales peligrosos.

Además de existir en los anexos listas en donde se encuentran descritas todas las sustancias consideradas peligrosas, también se encuentran especificadas en el Decreto las actividades que son potenciales generadores de materiales recuperables y desechos peligrosos y los reactivos y sustancias incompatibles. Existen en el Decreto capítulos específicos para las materias de actividades de exploración y producción de petróleo, exploración y explotación de minerales y desechos peligrosos provenientes de establecimientos de salud.

En cuanto a las sanciones, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, siguiendo las disposiciones de la *Ley Orgánica del Ambiente*, puede ordenar la aplicación de medidas de seguridad en el momento y el lugar que le parezca sean necesarias, sin perjuicio de la responsabilidad establecida en la *Ley Penal del Ambiente*.

2.2.3.1.1 Informe Complementario Disposiciones De Decreto 2289 Respecto Al Tratamiento De Desechos Petroleros.

El Decreto 2.289, en su capítulo III, dispone expresamente de normas para los Desechos Peligrosos Provenientes de Actividades de Exploración y Producción de Petróleo. Su objetivo es establecer las normas para el manejo de los desechos mencionados y las condiciones para su disposición. Lo ideal sería disponer estos desechos en el sitio de su generación o áreas próximas a éste, debido a las grandes cantidades que se manejan.

Las Normas del Capítulo III se aplican de la siguiente manera:

Los desechos considerados en dicho capítulo comprenden los generados en las actividades de exploración y producción de petróleo, incluyendo fluidos y ripios de perforación, lodos aceitosos, arenas de producción y suelos contaminados con hidrocarburos. En caso de que estos materiales puedan ser recuperados, se manejarán de acuerdo a las normas dispuestas en el capítulo de recuperación de materiales del Decreto en

cuestión. A continuación se indican algunos de los procedimientos que se pueden emplear para manejar desechos como los ripios o fluidos en base agua o aceites y las arenas de producción:

- a.- Confinamiento en el suelo;
- b.- Esparcimiento en suelos;
- c.- Disposición final en cuerpos de aguas superficiales;
- d.- Inyección en acuíferos no aprovechables, yacimientos petroleros o acuíferos asociados;
- e.- Biotratamiento;
- f.- Incineración

Esta lista no es taxativa, es sólo numerativa. Si existe alguna otra práctica, el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá otorgar autorización para otro método después de haber estudiado la demostración de la factibilidad técnica y ambiental de su aplicación, realizada por parte del interesado.

Para las prácticas de confinamiento en el suelo y esparcimiento en suelos, mencionadas anteriormente, existen unas condiciones que se deben cumplir, especificadas en el Decreto.

Los desechos provenientes de los ripios y fluidos de perforación elaborados en base agua, pueden ser dispuestos en cuerpos de aguas marino-costeras y oceánicas, áreas estas que no estén bajo Régimen de Administración Especial, y cumpliendo con las medidas derivadas de la evaluación ambiental correspondiente, siempre y cuando dichos desechos no excedan de 1,0 mg/kg de mercurio o 3,0 mg/kg de cadmio, o presenten aceite libre.

Cuando no sea posible aplicar alguno de los tratamientos de los desechos peligrosos de recuperación antes mencionados, se deben seguir otros procedimientos de manejo de los desechos como lo son:

1.- Almacenamiento y Disposición Final:

Mientras no sean dispuestos, los fluidos y ripios de perforación en base agua o aceite y lodos aceitosos, deberán ser almacenados en fosas o tanques. El tamaño, diseño y construcción de los sitios para el almacenamiento deberán ser adecuados al volumen que contendrán para que no presenten riesgos de derrames o infiltraciones.

Las fosas que se utilicen para el almacenamiento durante la perforación de pozos, deberán someterse al proceso de sellado en un lapso no mayor de 1 año después de completada la actividad de perforación, de acuerdo a la evaluación ambiental.

Todo tipo de almacenamiento de cualquier clase de desechos generados en actividades de exploración y producción de petróleo deberá realizarse asegurándose que no presentarán ningún tipo de riesgo para la salud humana o el ambiente.

El generador de desechos peligrosos provenientes de las actividades de exploración y producción de petróleo deberá presentar un plan de cumplimiento que garantice que las áreas donde serán almacenados y dispuestos los desechos generados están acondicionadas para dicho proceso, en la zona donde fueron generados o en otra cercana que reúna las condiciones necesarias.

2.- Medidas de Monitoreo y Control:

El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá exigir las siguientes medidas de monitoreo y control en el momento que le parezcan necesarias:

- a.- Perforación de pozos a nivel de acuíferos aprovechables;
- b.- Realización de pruebas de toxicidad empleando bioindicadores acuáticos o terrestres;
- c.- Mediciones de compuestos volátiles en aire;
- d.- Otras evaluaciones que estime procedentes para casos de almacenamiento y disposición final indicadas en este capítulo.

3.- Manejo:

Todos los desechos que hayan estado almacenados para la fecha de la promulgación de este Decreto se manejarán de acuerdo a estas normas y disposiciones.

4- Transporte:

El transporte de dichos desechos podrá efectuarse bajo la supervisión de una empresa manejadora o del generador del desecho por medio de los siguientes vehículos:

- a.- vehículos propiedad del generador, acondicionados para transportar estos desechos;
- b.- transportistas de materiales inflamables (si lo son);
- c.- vehículos de limpieza de lodos de alcantarillado y pozos sépticos.

Estas son, en general, las normas dispuestas en el Decreto en cuanto a actividades de exploración y producción de petróleo.

2.2.3.2 Decreto N° 883, mediante el que se dictan las normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (República de Venezuela, 1995a).

El objetivo principal de estas reglas es controlar la calidad de los cuerpos de agua, tomando en consideración sus usos actuales y potenciales. Para lograr este objetivo, el Decreto establece límites de efluentes y obliga a la creación de planes de calidad para cada uno de los cuerpos de agua, estableciendo prioridades dependiendo de los problemas presentes en cada uno.

En el artículo 3 se hace una clasificación de las aguas en siete tipos, que van desde las aguas de contacto humano hasta las utilizadas en procesos industriales que no requieren agua potable.

En el artículo 4 establecen los criterios para la clasificación de las aguas, así como los niveles de calidad exigibles de acuerdo con los usos a que se destinen, dichos criterios están basados en mediciones de los siguientes parámetros, los cuales deben encontrarse dentro de cierto rango: oxígeno disuelto (D.O.), pH, color real, turbiedad, fluoruros y organismos totales.

En el Capítulo III *Del Control de los Vertidos Líquidos*, en la Sección I se listan las actividades que están sujetas a dicho control, entre las que se encuentran la producción de petróleo crudo y gas natural, refinación del petróleo, fabricación de productos diversos derivados del petróleo y del carbón, transporte por oleoductos y gasoductos, depósito y almacenamiento de hidrocarburos y sus derivados.

Otro aspecto interesante de este Decreto con respecto a las actividades petroleras, se encuentra en el artículo 17 de la Sección VI *De las Descargas o Infiltraciones en el Subsuelo*, donde se exceptúa a las actividades de inyección asociadas a la exploración y explotación del petróleo, de la prohibición de efectuar descarga, infiltración o inyección en

el suelo o en el subsuelo de vertidos líquidos tratados o no, en acuíferos no aprovechables y en yacimientos petroleros y acuíferos asociados.

Como una observación especial de este artículo se establece que el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables podrá ordenar la perforación de pozos a nivel de acuíferos aprovechables, como medida de monitoreo y control para operaciones permanentes de inyección. Asimismo, podrá exigir el uso de técnicas como registros eléctricos, de flujo, de presión y de temperatura, pruebas de cementación y de cualquier otro mecanismo que permita el seguimiento y control del avance del fluido inyectado en el acuífero o yacimiento receptor (República de Venezuela, 1995a).

2.2.3.3 Decreto N° 638, mediante el que se dictan las normas sobre la calidad del aire y control de la contaminación atmosférica (República de Venezuela, 1995b).

Estas reglas establecen como su principal objetivo el control de la calidad del aire; para lograrlo establece estándares de calidad de aire, límites de emisiones y clasifica el aire por zonas.

Uno de los aspectos más importantes contemplados en estas normas es el establecimiento de los límites de calidad del aire para una lista de contaminantes de la atmósfera. Además, se establece una clasificación de zonas de acuerdo con los rangos de concentraciones de Partículas Totales Suspendidas (PTS), calculadas en base a promedios anuales. Dicha clasificación comprende:

- Aire limpio.
- Aire moderadamente contaminado.
- Aire altamente contaminado.
- Aire muy contaminado.

Al igual que en los Decretos anteriores se establecen las fuentes fijas de emisión de contaminantes que deberán someterse a la aplicación de este Decreto, la producción de petróleo y gas natural es una de estas las actividades según la Clasificación Internacional Uniforme de las Naciones Unidas. Además, se establecen los límites de emisión de

contaminantes del aire y de opacidad, para cada una de las fuentes fijas de contaminación atmosférica.

2.2.3.4 Normas sobre el Control de la Contaminación Generada por el Ruido (República de Venezuela, 1992b)

El objetivo de estas normas es establecer los mecanismos de control de la contaminación producida por fuentes fija o móviles generadoras de ruido.

Para el caso de las fuentes fijas se establecen los niveles de ruido tolerables en decibeles clasificados por horario (diurno o nocturno), tipo de ruido (continuos equivalentes o los que no pueden ser excedidos durante más del 10% del lapso de medición) y tipo de zona (I: sectores residenciales unifamiliares, II: sectores residenciales multifamiliares, III: sectores residenciales comerciales, IV: sectores comerciales industriales, V: sectores que bordean las autopistas y aeropuertos).

También se establecen los niveles de ruido en decibeles para fuentes móviles como vehículos terrestres (motocicletas, automóviles, autobuses, camiones y vehículos de carga) y aeronaves.

Además, se establece que la determinación de los niveles de ruido deberá realizarse, siguiendo los métodos establecidos en la Norma Venezolana COVENIN 1671 vigente.

2.3 Proyecto de Código Orgánico Ambiental de Venezuela

Existe en el país un proyecto de Código Orgánico Ambiental, el cual reúne toda la legislación ambiental existente en el país hasta el momento. No ha sido aprobado, pero una vez sancionado por el Ejecutivo Nacional, derogaría todas las leyes vigentes. Todavía es incierto el tratamiento que se le dará y cuando será aprobado.

El Código consta de 10 libros, donde en más de 1.000 artículos trata los temas de calidad ambiental, calidad del aire, de los cuerpos de agua, desechos y materiales peligrosos, materiales radioactivos, radiación electromagnética, ruidos y otras molestias

ambientales (*environmental nuisances*). Se encarga también de temas como la creación de la policía ambiental, de la permisología para el uso de los recursos naturales, los estudios de impacto ambiental, planes de inspección, auditorías ambientales y procedimientos. Los dos últimos libros del Código, disponen las normas de las sanciones administrativas y penales, especificando cuales son los crímenes en contra del ambiente (BPMAW, 2000).

Capítulo 3. Marco Teórico

3.1 Introducción

Toda investigación pertenece a cierta área del conocimiento, por lo tanto es necesario plasmar los conceptos, metodologías y técnicas necesarios para establecer las bases teóricas sobre las cuales se desarrollarán las principales ideas de esta investigación.

Este marco teórico está centrado en exponer lo que son las EIA en general, qué conceptos manejan los diferentes autores, cuál será el adoptado en este trabajo tomando en cuenta el contexto venezolano y las metodologías y técnicas usadas en el desarrollo de tales evaluaciones.

Como las EIA objeto de estudio en este trabajo son las elaboradas para proyectos petroleros, es necesario exponer y explicar cuáles son las actividades que se llevan a cabo en Venezuela en este tipo de industria, con el fin de tener una idea de los posibles impactos que estas actividades puedan ocasionar, no solo en el medio ambiente, sino también a los seres humanos.

Por último, en este capítulo se expone como el uso de cierto tipo de modelos puede ser de mucha utilidad al momento de llevarse a cabo los estudios y análisis que forman parte de una EIA, sobre todo en la etapa de identificación y evaluación de los impactos. En este caso, los modelos empleados en el análisis de los impactos son los modelos dinámicos, usando específicamente a la Dinámica de Sistemas como técnica de análisis y ejecución de las simulaciones.

3.2 Actividades petroleras

La historia del petróleo en Venezuela viene desde el descubrimiento de América, cuando los españoles encontraron que los indios en el Lago de Maracaibo utilizaban la brea para cubrir sus embarcaciones con el objetivo de impermeabilizarlas, forrar cestos y hacer hachones. "Mene" era el nombre que los aborígenes le daban a los rezumaderos de asfalto existente en las costas del Lago de Maracaibo. Igualmente se tiene conocimiento que los piratas ingleses y holandeses utilizaron el asfalto para calafatear sus naves (Balestrini, 1966:5).

En 1878 se inició la primera explotación comercial del petróleo en Venezuela cuando se fundó la compañía "Petrolia del Táchira" para la explotación de 101 hectáreas en el estado Táchira, al suroeste del lago de Maracaibo. Desde esa época hasta hoy, la industria petrolera venezolana ha evolucionado y se ha desarrollado. A la par y debido a las diferentes necesidades de dicha industria, fueron apareciendo las empresas contratistas petroleras. Actualmente en Venezuela existen más de dos mil empresas contratistas dedicadas a apoyar las diferentes actividades que requiere la industria petrolera venezolana, muchas de estas empresas contratistas están funcionando desde hace más de cincuenta años (Balestrini, 1966:7).

La industria petrolera, esta integrada por una serie de operaciones continuas que van desde la exploración, para determinar dónde se encuentra ubicado un yacimiento de petróleo, hasta la refinación que permite producir los derivados del petróleo que constituyen el producto final listo para ser consumido y utilizado en diferentes procesos industriales y domésticos.

3.2.1 Exploración

La mayor parte de las reservas probadas en Venezuela la conforman crudos de alta viscosidad, (petróleos pesados, extrapesados y bitúmenes) y gas natural tanto mediano como liviano. Estos elementos son los que reciben el nombre de hidrocarburos, ya que son compuestos orgánicos depositados en el subsuelo, que combinan en diferentes proporciones al hidrógeno y carbono. Los depósitos donde se encuentran dichos hidrocarburos reciben el nombre de yacimientos o trampas petroleras que no son más que "acumulaciones naturales de estas sustancias en estado gaseoso y líquido, que se encuentran en rocas porosas que se alojan en un depósito impermeable en el subsuelo y tiene límites definidos en relación a los fluidos confinados" (Montiel, 1999). Estos hidrocarburos se encuentran a presiones bastante elevadas, por esto cuando la punta del taladro perfora el reservorio, el gas se expande de manera violenta y tiende a escaparse por el orificio succionando los líquidos de la roca porosa y se forma el pozo alrededor del punto de perforación.

Para buscar donde están ubicados los yacimientos de petróleo es que se realizan las actividades exploratoria superficiales. Existen tres tipos de actividades (Montiel, 1999):

1. Geológicas. Consiste en realizar un examen de las rocas visibles en la superficie con el objetivo de localizar afloramientos de asfalto, impregnación de petróleo en las rocas o arenas superficiales, emanaciones de gas, depósitos naturales de parafina o presencia de minerales azufrosos. Si se observa la presencia de alguno de estos indicadores se realiza un levantamiento topográfico y se pueden hacer levantamientos de mapas. Este tipo de actividad no presente impacto alguno al medio físico o socioeconómico.
2. Geofísicas. Algunas de estas requieren el uso del gravímetro o gravitómetro, el cual es un instrumento sensible que mide las variaciones de la atracción de la fuerza de la gravedad en la superficie de la Tierra. Tales variaciones pueden evidenciar estructuras geológicas ocultas favorables a la posibilidad del hallar petróleo. En el caso de exploraciones geoquímicas se utiliza sustancias químicas que detectan las impregnaciones aceitosas de las rocas y sedimentos superficiales. Este tipo de actividad no presente impacto alguno al medio físico o socioeconómico.
3. Mediciones Sísmicas. Su objetivo es generar un terremoto artificial con dinamita u otro agente explosivo, colocado a cierta profundidad de manera tal que se produzcan ondas que puedan ser captadas por sismógrafos colocados en otras partes de la superficie a cierta distancia del punto de explosión. Este sismo puede ser registrado por el sismógrafo en refracción o reflexión. La primera consiste en captar las ondas que regresan a la superficie con el fin de obtener un panorama del subsuelo, porque los sismógrafos graban con diferentes signos las ondas que viajan más rápido en formaciones subterráneas duras y compactas. Por el contrario, las ondas que chocan con superficies y rocas más blandas se movilizan con menos rapidez. Esto hace posible medir el tipo de roca existente debajo de la superficie e identificar su posición y naturaleza.

El método de reflexión es el más importante, porque a través del mismo principio descrito para la refracción, el sismógrafo puede capturar y describir los estratos presentes y sus profundidades.

Estas actividades exploratorias pueden ocasionar un impacto muy puntual al medio físico, al ocasionar una contaminación sónica, alterar la vegetación primaria y secundaria, la topografía y poblaciones animales de la zona, de acuerdo a la magnitud de las explosiones que se efectúen.

En resumen, las actividades de exploración del petróleo comprenden una serie más o menos definida de etapas en la recopilación de datos geológicos superficiales y del subsuelo, que ayudan a la inferencia de la presencia de petróleo en yacimientos comercialmente explotables (Martínez, 1963).

Debe quedar claro que a pesar de que estas actividades exploratorias permiten conocer la forma y estructura del yacimiento, su profundidad y sus dimensiones, no es posible detectar si el yacimiento tiene posibilidades de explotación comercial de petróleo. Esto solo se sabrá al momento de realizar una perforación exploratoria con objetivos extractivos, que no es más que el procedimiento de taladrar hasta llegar al yacimiento para conocer su presión y sus condiciones productivas.

3.2.2 Perforación

Una vez que se han realizado cualquiera de las actividades exploratorias descritas anteriormente, y se haya determinado un sitio favorable donde posiblemente se encuentre una acumulación de hidrocarburos, se procede a la perforación del yacimiento para explorar con mayor precisión su naturaleza y proceder a la instalación del pozo si se reúnen las condiciones de explotación comercial.

La perforación se hace por rotación de una barrena de acero cortante que se enrosca en el extremo inferior de un tubo que también es de acero, cuya longitud se va aumentando añadiéndole tubos a medida que la barrena perfora y se va clavando en la tierra. La barrena, que es la punta que perfora, es de diamantes industriales (carbono puro), enclavados en una matriz circular que con su movimiento rotatorio muele las formaciones y los estratos que va encontrando. Otro elemento muy importante en este proceso es una sustancia especial líquida que se inyecta y sale por agujeros que posee la barrena, este líquido eyectado a alta

presión se denomina lodo y sus funciones son a) regresar a la superficie arrastrando consigo los trozos de roca o materiales triturados, y b) sirve para enfriar la barrena perforadora.

Además, se utilizan tubos de revestimiento (lastras) de un diámetro mayor que la tubería de perforación que se van incluyendo a medida que avanza la profundidad del taladro. Su función es proteger el tubo perforador para evitar obstrucciones que se puedan presentar (Montiel, 1999).

Existen una cierta cantidad de posibles impactos ambientales ocasionados por la generación de desechos durante el proceso de perforación, ya que los fragmentos de roca que son taladrados emergen a la superficie mezclados con el lodo de perforación. Dichos fragmentos son un problema en si debido al gran volumen producido, pero adicionalmente, este problema se incrementa ya que dichos fragmentos están recubiertos o mezclados con el lodo de perforación, que puede ser aceitoso. Estos lodos están combinados con disolventes y contaminantes suspendidos que incluyen mercurio, cadmio, arsénico, hidrocarburos y diesel (EPA, 2000). Por ende, su disposición temporal final puede ser un problema, ya que al ser depositado en la superficie terrestre o en fosas no acondicionadas puede ocasionar contaminación del suelo o aguas subterráneas a través de un proceso de percolación, fuga o escorrentía.

Las operaciones de perforación también producen emisiones, tales como vapor de escape de los motores diesel y turbinas que poseen los equipos de perforación. Los contaminantes del aire emitidos por estos equipos son los que tradicionalmente se han asociado con las fuentes de combustión, incluyendo óxidos de nitrógeno, partículas, ozono y monóxido de carbono. Adicionalmente, sulfatos de hidrógeno pueden liberarse durante el proceso de perforación (EPA, 1992)

3.2.3 Producción.

La producción se define "como el volumen de petróleo, originalmente contenido en las cuencas sedimentarias, que ha sido traído a la superficie" (Martínez, 1963).

Una vez que se determina que la capacidad comercial de producción del yacimiento es suficiente, se realizan una serie de operaciones que tienen como objetivo la terminación

del pozo petrolero, a fin de dejarlo listo para su producción normal. Una vez que se han realizado las tareas de perforación, revestimiento y cementación de las tuberías que forman las paredes del pozo y la barrena ha alcanzado el yacimiento, se prepara el pozo para su explotación introduciendo una tubería de diámetro relativamente pequeño cuyas dimensiones se encuentran entre los 5 y 10 centímetros, por la cual subirán el petróleo y el gas hacia la superficie. El espacio que se encuentra en el tope del pozo se cierra utilizando válvulas y conexiones, con el objetivo de controlar el flujo del pozo (Montiel, 1999).

En los campos petroleros jóvenes con frecuencia se encuentra el petróleo sometido a una considerable presión que proviene de los gases almacenados en el vértice del anticlinal o bien del agua salada que se encuentra en los estratos. Estas fuerzas impulsan al petróleo fuera del estrato hacia el sondeo y a menudo bastan para transportar el petróleo hasta la superficie, lo que hace que el pozo trabaje bajo su propia presión. Pero una vez que no es posible seguir la producción usando la presión natural del pozo, es necesario recurrir a la extracción del petróleo usando bombas que lo aspiran hacia la superficie. Esta operación de bombeo se realiza con simples bombas cilíndricas de surtidor, que se desplazan alternativamente hacia arriba y hacia abajo en el interior de la tubería de conducción del petróleo, de un modo análogo a como trabaja el pistón de un motor dentro del cilindro. En el movimiento descendente se abren las válvulas, cerrándose las mismas cuando corresponde el movimiento ascendente, con lo que el líquido fluye hacia la superficie (Ruf, 1965).

El petróleo bruto extraído de los pozos, se mide, se desgasifica en separadores especiales de gas, se libera del lodo, del agua emulsionada y arena y se transporta mediante bombas a través de oleoductos a los depósitos o a las refinerías.

El subproducto primario obtenido en este proceso es el agua de producción (agua mezclada con crudo). Otros desechos que pueden generarse durante la producción incluyen los desechos residuales que permanecen después de la separación del crudo y gas natural (EPA, 2000).

El Instituto Americano de Petróleo, estima que se obtienen cerca de ocho barriles de agua de producción por cada barril de petróleo producido anualmente. Aunque muchos componentes se pueden separar del agua fácilmente, algunos otros componentes e

impurezas son solubles en agua, por lo tanto son difíciles de remover. Algunas sustancias se pueden encontrar en elevadas concentraciones, tales como cloruro de sodio, calcio, magnesio y potasio (EPA, 2000).

El riesgo de contaminación con este tipo de agua, difiere si las operaciones son costa afuera o tierra adentro:

- Operaciones tierra adentro: pueden tener un alto riesgo para el medio ambiente si producen agua con altas concentraciones salinas. La descarga inapropiada de agua producción en el suelo puede resultar en niveles muy altos de salinidad que afectan el crecimiento de la vegetación. Si se hace un vertido en alguna fuente de agua, esta puede ser no apta para consumo humano.
- Operaciones costa afuera: pueden producir impactos al área que rodea a la plataforma, si efluentes de agua de producción no son apropiadamente tratados o descargados. La concentración de metales, radionúclidos y materiales residuales de petróleo en el agua producción, puede ser mayor que la del agua que rodea a la plataforma (EPA, 2000).

3.2.4 Refinación

El petróleo natural o crudo, tal como se obtiene del proceso de producción, es un líquido pardo-negruzco de olor desagradable, que contiene hidrocarburos de distintos grados de volatilidad y constitución química, además se encuentra mezclado con compuestos sulfurados, nitrogenados y oxigenados. De tal forma que no es adecuado para su utilización directa, siendo preciso refinarlo. Los procesos de refinación son de dos tipos:

1. Seleccionadores físicos: se usan para separar la mezcla hidrocarburada existente en el petróleo crudo. Entre los más comunes se encuentran: la destilación (a presión atmosférica o al vacío), la absorción, la separación por cristalización (útiles para fabricar parafina, cerasina y petrolatum), la extracción y la adsorción.
2. Químicos: se usan con el fin de aprovechar lo más racionalmente posible la totalidad del petróleo crudo, transformando sus componentes químicamente, es decir, por ataque de la magnitud y estructura de las moléculas de los hidrocarburos. Para determinados

finos se ha de proceder incluso a la realización de síntesis o composición artificial de compuestos particularmente valiosos. Algunos de los procesos químicos son: el *cracking* térmico y la pirólisis, *cracking* catalítico, *reforming* térmico y catalítico, polimerización, alcoholación, isomerización e hidrogenación (Ruf, 1965).

La refinación en Venezuela fue hasta hace unos 25 años una industria en la cual prácticamente no existían los procesos llamados secundarios o de conversión de los componentes naturales del petróleo, es decir que de todos los procesos existentes predominaba la separación física simple de los componentes naturales del petróleo como la gasolina, kerosene, gasóleos y residuales, el cual recibe el nombre de destilación atmosférica o *topping*. Este esquema tradicional de refinación unido al hecho de que los crudos venezolanos son predominantemente pesados, son los factores de mayor peso que hacen de Venezuela un país cuyas exportaciones de productos refinados está constituida principalmente por residuales (González et al., 1976:5).

Los procesos de refinación utilizan y generan una enorme cantidad de químicos, muchos de los cuales son liberados de las refinerías en forma de descargas de emisiones de aire, desechos sólidos y agua contaminada. Los contaminantes típicos generados son componentes orgánicos volátiles (VOC), monóxido de carbono (CO), óxidos sulfurosos (SO_x), óxidos nitrosos (NO_x), partículas de amoníaco (NH₃), sulfato de hidrógeno (H₂S), metales, ácidos y numerosos componentes tóxicos orgánicos (EPA,1995).

Por esto, los procesos de refinación pueden causar un impacto a la atmósfera cuando no se tiene una política de manejo y control de las emisiones de aire contaminado. Dichas emisiones incluyen las fugas de constituyentes volátiles presentes en el petróleo crudo, emisiones de los quemadores de combustibles que se utilizan en los calentadores y las emisiones propias de cada uno de los procesos de refinación (EPA,1995).

Las aguas superficiales y subterráneas pueden verse afectadas por las descargas de aguas contaminadas, que para el proceso de refinación pueden ser: agua de enfriamiento, agua de procesos, aguas negras y agua de lluvia. Estas descargas deben estar precedidas por un tratamiento para que puedan ser descargadas a Plantas Públicas de Tratamiento de Aguas (POTW) o a aguas superficiales, siguiendo lo que establece la normativa ambiental (EPA, 1995).

Además, los suelos también pueden verse afectados ya que existen procedimientos de inyección subterránea de estas aguas. Muchas refinерías han descargado, sin intención, hidrocarburos líquidos en aguas subterráneas y aguas superficiales. En algunas refinерías agua subterránea contaminada ha emigrado y ha ocasionado una continua filtración en aguas superficiales, convirtiéndolas en no aptas para consumo humano (EPA, 1995).

3.3 Teoría sobre las Evaluaciones de Impacto Ambiental

En los últimos años se ha hecho énfasis en la importancia de implementar el uso de las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA), con el fin de valorar los efectos que tiene cualquier acción antrópica sobre el ambiente. Dichas evaluaciones se efectúan para prevenir y controlar la realización de actividades y el empleo de tecnologías susceptibles de degradar el ambiente, así como para corregir los efectos que éstas pudieran causar.

Las EIA buscan: predecir las consecuencias negativas de proyectos de desarrollo, establecer las acciones que se deben llevar a cabo para prevenir, mitigar, corregir y controlar los impactos y planificar las tareas de vigilancia y control del cumplimiento de dichas acciones. Además, uno de sus objetivos es comparar proyectos alternativos entre sí, para determinar aquel que causa menores daños al ambiente (Buroz, 1998).

Un estudio de impacto necesita realizar varias tareas, entre las que se incluye la identificación de impactos, la descripción del medio afectado, la predicción y estimación de impactos, la selección de la alternativa de la actuación propuesta de entre las opciones que se hayan valorado para cubrir las demandas establecidas y el resumen y presentación de la información.

Según el Decreto 1257, en Venezuela el alcance y contenido de los estudios de impacto ambiental se determina a partir de una propuesta de términos de referencia, la cual debe incluir:

1. Descripción preliminar del programa o proyecto y el medio ambiente.
2. Definición del área de influencia del programa o proyecto.
3. Identificación de impactos potenciales asociados a las opciones consideradas para el desarrollo del programa o proyecto propuesto.

4. Propuesta sobre los alcances de estudio en relación con los siguientes aspectos:
 - 4.1 Información básica para la realización del estudio.
 - 4.2 Metodología para la evaluación de impactos.
 - 4.3 Descripción de las medidas preventivas, mitigantes y correctivas de los impactos potenciales previstos para las opciones consideradas.
 - 4.4 Análisis de las opciones relativas al diseño, localización y tecnología consideradas durante el proceso de formulación del proyecto.
 - 4.5 Programa de seguimiento.
 - 4.6 Lineamientos del plan de supervisión ambiental.
 - 4.7 Documento síntesis del Estudio de Impacto Ambiental.
5. Plan de trabajo.
6. Equipo de trabajo.

3.3.1 Definiciones.

A continuación se definen los términos que deben ser comprendidos con el fin de establecer la base sobre la cual se desarrollarán las principales propuestas de esta investigación. La primera de estas definiciones es la de Evaluación de Impacto Ambiental, que en las normas venezolanas recibe el nombre de Estudio de Impacto Ambiental y será la definición utilizada en esta investigación:

"Estudio orientado a predecir y evaluar los efectos del desarrollo de una actividad sobre los componentes del ambiente natural y evaluar los efectos del desarrollo de medidas preventivas, mitigantes y correctivas, a los fines de verificar el cumplimiento de las disposiciones ambientales contenidas en la normativa legal vigente en el país y determinar los parámetros ambientales que conforme a la misma deban establecerse para cada programa o proyecto" (República de Venezuela, 1996a).

Otras definiciones adicionales acerca de EIA:

Para Canter (2000) una Evaluación de Impacto Ambiental puede definirse "como la identificación y valoración de los impactos (efectos) potenciales de proyectos, planes, programas o acciones normativas relativos a los componentes físico-químicos, bióticos, culturales y socioeconómicos del entorno". Esta definición no solo toma en cuenta la

necesidad de realizar una EIA para un proyecto, sino también para la creación de nuevas leyes o normas que puedan afectar a cualquiera de los componentes mencionados.

Buroz (1998:60) añade a las definiciones anteriores la necesidad de comunicar la información obtenida luego de realizar una EIA: "Es una actividad diseñada para identificar, predecir, interpretar y comunicar información acerca de los impactos que producen las propuestas legislativas, las políticas, los programas, los proyectos y los procedimientos operacionales sobre el ambiente biogeofísico, la salud humana y el bienestar".

En la definición de EIA de Conesa (1993:26) se expresa el hecho de que una EIA se lleva a cabo con el fin de que las autoridades competentes puedan evaluar la posibilidad de ejecutar o no un proyecto, de acuerdo a los impactos que sean declarados: "Es un procedimiento jurídico-administrativo que tiene por objetivo la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas Administraciones Públicas competentes".

Otra definición importante es la de Impacto Ambiental, que para el caso de esta investigación se tomará la siguiente definición dada por Conesa (1993:25).

" El impacto de un proyecto sobre el medio ambiente es la diferencia entre la situación del medio ambiente futuro modificado, tal y como se manifestaría como consecuencia de la realización del proyecto, y la situación del medio ambiente futuro tal como habría evolucionado normalmente sin tal actuación, es decir, la alteración neta (positiva o negativa en la calidad de vida del ser humano) resultante de una actuación...Se dice que hay un impacto ambiental cuando una acción o actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales.

Hay que hacer constar que el término impacto no implica negatividad, ya que éstos pueden ser tanto positivos como negativos".

Otra definición de impacto ambiental que incluye el concepto de calidad del ambiente esta dada por Munn (1975:61): "Es el cambio neto (positivo o negativo) en la salud del hombre o en su bienestar (incluyendo el cabal funcionamiento de los ecosistemas de los

cuales depende la supervivencia humana) que resulta de un efecto ambiental y que está relacionado con la diferencia de calidad del ambiente que existiría si la acción del proyecto, programa, política, etc., se produjese o no".

Las siguientes definiciones son muy útiles cuando se está hablando de EIA y es necesario tener claro el significado de cada término.

Inventario Ambiental: "Es una descripción completa del medio tal y como es en un área donde se plantea ubicar una determinada actuación. El inventario se estructura a partir de una lista de control de parámetros de los medios físico-químico, biológico, cultural y socioeconómico. El medio físico-químico incluye áreas principales como son los suelos, la geología, la topografía, los recursos hídricos superficiales y subterráneos, la calidad del agua, la calidad del aire y la climatología. El medio biótico se refiere a la flora y fauna de un área incluyendo las especies existentes. Los elementos del medio cultural incluyendo los lugares arqueológicos e históricos y los recursos estéticos, tales como la calidad visual. El medio socioeconómico se refiere a un abanico de aspectos relacionados con el ser humano y el medio, entre los que se incluyen las tendencias demográficas y la distribución de la población, los indicadores económicos del bienestar humano, los sistemas educativos, las redes de transporte, y otras infraestructuras como el abastecimiento de agua, el saneamiento y la gestión de residuos sólidos; servicios públicos como la policía, la protección contra incendios, las instalaciones médicas y otros muchos" (Canter, 2000:2).

Valoración del Impacto Ambiental (VIA): "La VIA tiene lugar en la última fase del Estudio de Impacto Ambiental y consiste en transformar los impactos, medidos en unidades heterogéneas, a unidades homogéneas de impacto ambiental, de tal manera que permita comparar alternativas diferentes de un mismo proyecto y aun de proyectos distintos" (Conesa, 1993:27).

Indicador de Impacto Ambiental: "Es un elemento o parámetro que suministra una medida (al menos en un sentido cualitativo) de la magnitud de un impacto ambiental" (Munn, 1975:61).

"Elemento o concepto asociado a un factor que proporciona la medida de la magnitud del impacto, al menos en su aspecto cualitativo y también, si es posible, en el cuantitativo.

Algunos indicadores pueden expresarse numéricamente, mientras otros emplean conceptos de valoración calificativos, tales como "excelente", "muy bueno", "bueno", "regular", "deficiente", "nulo", etc... Para cada Indicador de Impacto, es preciso disponer de una función de valores asociada, que permita establecer la Calidad Ambiental en función de la magnitud de aquél" (Conesa, 1993:29).

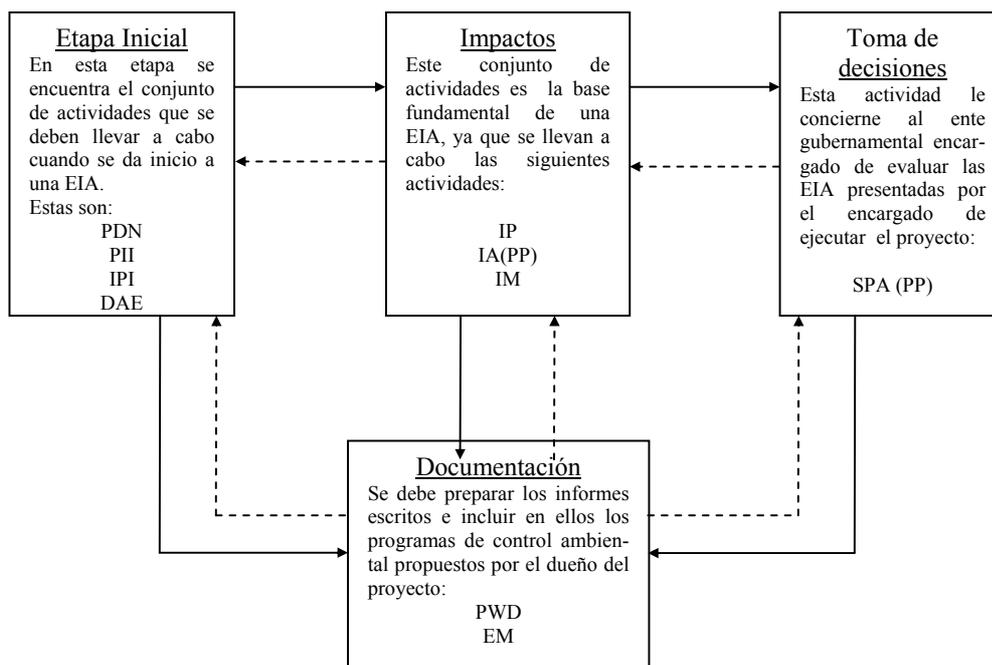
Tipos de Impacto: Para Canter (2000:13) el término clave en el proceso de una EIA es "impacto significativo", pues las actuaciones propuestas cuyos efectos sobre el medio humano son significativos, requieren un estudio de impacto ambiental. El concepto de "significativo" tal y como la plantea la NEPA (Ley de la Política Ambiental Nacional de los Estados Unidos) requiere consideraciones sobre el contexto y la intensidad del impacto. Contexto significa que debe ser analizado en relación con la sociedad en su conjunto (humana, nacional), la región afectada, los intereses afectados, la localidad y la duración de los efectos a corto y largo plazo. Intensidad se refiere a la gravedad del impacto.

Estudio preliminar: El objetivo es realizar un estudio preliminar y, dependiendo de los hallazgos de este estudio, se procede a llevar a cabo un estudio de impacto integral o simplemente se justifica que los hallazgos fueron tales que no haría falta un estudio integral. Según Canter (2000:26) en Estados Unidos un estudio preliminar consiste en una evaluación ambiental (EA) cuyo objetivo es determinar si los impactos previstos de la actuación tendrían un efecto significativo sobre la calidad del medio humano. Para el caso de Venezuela, este documento recibe el nombre de términos de referencia y su elaboración se encuentra regulada por el Decreto 1257.

3.3.2 Planificación y Gestión de las EIA

Para que una Evaluación de Impacto Ambiental tenga éxito y se obtengan los resultados esperados es necesario que sea bien planificada y se ejecute de acuerdo a dicha planificación, ya que de otra manera pueden obviarse aspectos importantes y los resultados no serán útiles ni estarán acordes con la realidad.

En la Figura N° 3, se muestra un modelo propuesto por Canter (2000:48) que consta de diez actividades para la planificación y conducción de estudios que permitirán identificar y evaluar los impactos ocasionados por un proyecto, plan, programa y normas.



Leyenda.

PDN: descripción y necesidad del proyecto

PII: recolección de la información institucional pertinente

IPI: identificación de los impactos potenciales del proyecto

DAE: descripción del entorno afectado

IP: predicción del impacto

IA: evaluación del impacto

PP: participación ciudadana

IM: medidas de corrección del impacto potencial

SPA(PP): selección de alternativas

PWD: preparación de la documentación escrita

EM: Planificación y aplicación de programas detallados de control ambiental

Fuente: Canter, 2000

Figura 3. Marco conceptual de los estudios de impacto ambiental

Descripción y necesidad del proyecto (PDN).

En esta actividad se busca determinar las características, necesidades y alternativas que han sido consideradas o se podrían considerar del proyecto propuesto. La información

fundamental que se requiere conocer del proyecto sería: la descripción del tipo de proyecto y de cómo funciona y opera en un contexto técnico; la localización; el periodo de tiempo requerido para su ejecución completa; las alteraciones potenciales ambientales durante la fase de operación del proyecto, que incluyen las necesidades del terreno, las emisiones de contaminantes atmosféricos, el uso del agua y los vertidos de contaminantes, la generación de residuos y las necesidades de su eliminación; la necesidad del proyecto en la localización propuesta para el proyecto, que podría estar relacionada con la vivienda, los servicios básicos, el desarrollo económico de la zona y muchos otros; y por último las alternativas genéricas que hayan sido consideradas.

Recolección de la información institucional pertinente (PII).

Está basada en la información institucional pertinente relativa a la construcción y operación del proyecto propuesto, la cual se refiere a las diferentes leyes ambientales, reglamentos y normas referidas con el entorno físico-químico, biológico, cultural y socioeconómico. Esta actividad se puede apoyar en la realización de un primer y amplio proceso de identificación de las cuestiones ambientales significativas y los impactos relativos de los proyectos propuestos. La PII sirve principalmente para dos cosas: (1) es una ayuda para la interpretación de las condiciones existentes y (2) proporciona la base para interpretar los impactos o efectos previstos de los proyectos.

Identificación de los impactos potenciales del proyecto (IPI).

Es una identificación cualitativa, y se hace con el fin de que sea útil para etapas posteriores, incluye la consideración de impactos genéricos relativos al tipo de proyecto que se este planteando, los cuales pueden ser consultados en estudios de impacto ambientales realizados con anterioridad o textos que tratan estos aspectos. Un trabajo apropiado durante esta actividad es realizar una revisión bibliográfica de las metodologías y técnicas usadas para identificar los impactos potenciales de determinado proyecto, como las matrices de interacción simple, las listas de control, los árboles de decisiones, entre otros.

Descripción del entorno afectado (DAE).

Esta descripción debe ser selectiva, tomando en cuenta únicamente los factores ambientales que posiblemente se vean afectados por el proyecto, con el fin de preparar

descripciones suficientemente detalladas de las condiciones existentes y evitar incluir información no significativa para el proyecto.

Las fuentes de información útiles en la descripción de las características físicas pueden ser: investigaciones previas, mapas topográficos y de suelos, fotografías aéreas, sistemas de información geográfica, entre otras, de los cuales se pueden extraer información sobre la calidad del aire, calidad del agua, suelos, tipos de hábitats existentes por zonas, especies en peligro de extinción, propiedades arqueológicas e históricas, densidad de población, niveles de ingreso, servicios públicos existentes por zonas, características de la infraestructura, etc.

Predicción del impacto (IP).

Es la actividad técnicamente más difícil. Se refiere básicamente a la cuantificación, si es posible, o la valoración cualitativa de los impactos previstos del proyecto que ocurrirán sobre el medio ambiente. Para hacer esto se pueden usar modelos matemáticos, ensayos de laboratorio, información análoga o métodos de clasificación ambiental. Se debe advertir que existen muchas dificultades intrínsecas para predecir los impactos, especialmente para proyectos a gran escala. Esta dificultad radica en el desconocimiento de muchos de los impactos, la variabilidad y elasticidad del entorno natural y la escasez de modelos adecuados.

Lo ideal es cuantificar tantos impactos como sea posible, ya que se ha determinado que si se logran cuantificar se observa que los efectos supuestos no son tan graves. Sin embargo, la mayoría de los impactos ambientales no son cuantificables o los requerimientos de recursos económicos y humanos para llevar a cabo tal cuantificación pueden sobrepasar el presupuesto de la EIA. En la mayoría de los casos es necesario la utilización del buen juicio de los profesionales para intentar prever los impactos.

Evaluación del impacto (IA).

Esta actividad consiste en la realización de la evaluación del impacto. Por necesidad, los estudios de impacto representan una mezcla de información técnica y análisis junto con juicios de valores. Por esto, evaluación se refiere a la interpretación del significado de los cambios previstos que ocasionará el proyecto propuesto. Esto se debe a que muchos de los

puntos de las definiciones son generales y requieren el uso de un juicio de interpretación considerable.

Otro aspecto que hay que tomar en cuenta es la opinión pública, la cual se puede obtener haciendo uso de reuniones públicas o programas de participación pública (PP). La opinión pública puede delimitar recursos y valores ambientales importantes de un área particular y esto debería tomarse en cuenta en la evaluación del impacto

Medidas de corrección del impacto potencial (IM).

Está asociada con la identificación y valoración de las medidas de corrección del impacto potencial. Estas medidas son: (1) evitar completamente el impacto, no considerando una cierta acción o partes de una acción; (2) minimizar los impactos limitando el grado o magnitud de la acción y su ejecución; (3) rectificar el impacto mediante reparación, rehabilitación y restauración del entorno afectado; (4) reducir o limitar el impacto a lo largo del tiempo haciendo uso de operaciones de conservación y mantenimiento mientras dure la acción; y (5) compensar el impacto sustituyendo o proporcionando recursos o ambientes sustituidos.

Selección de alternativas (SPA).

Consiste en seleccionar la acción propuesta de las alternativas. El análisis de alternativas representa el centro del proceso de EIA. Aunque en muchos proyectos la variedad de las alternativas puede estar limitada, siempre es posible evaluar alternativas potenciales.

Existen diferentes métodos sistemáticos que se pueden utilizar para comparar y valorar las consecuencias ambientales de las alternativas, las cuales representan herramientas útiles para demostrar por qué fue seleccionada una acción propuesta para un proyecto particular.

Preparación de la documentación escrita (PWD).

Lo más importante en esta actividad es utilizar los principios competentes de la escritura técnica. Esto incluye la utilización de esquemas, documentación esmerada de los datos y de la información, uso libre del material de exposición visual y la revisión cuidadosa del material escrito para asegurar la comunicación efectiva tanto para la audiencia técnica como para una que no sea técnica.

Planificación y aplicación de programas detallados de control ambiental (EM).

Esta actividad es especialmente importante para proyectos grandes con impactos ambientales potenciales significativos. El control medioambiental se puede requerir para establecer las condiciones básicas en el área del proyecto.

Canter (2000:188) propone un modelo de seis etapas que resume estas diez actividades, con el objetivo de planificar y realizar las EIA. El modelo es flexible y puede adaptarse al proyecto que se esté evaluando haciendo las modificaciones pertinentes, en caso de ser necesario, para tratar los aspectos específicos de dicho proyecto. Las seis etapas genéricas asociadas con los impactos sobre algún medio específico son:

Etapa 1: Identificación de los impactos del proyecto propuesto en sus fases de construcción y funcionamiento, sobre un medio en particular.

Etapa 2: Descripción de las condiciones existentes en el entorno medioambiental presentes en el área donde se llevará a cabo el proyecto.

Etapa 3: Obtención de estándares y directivas en materia ambiental (leyes, normas y reglamentos).

Etapa 4: Predicción de impactos haciendo uso de modelos matemáticos generales, predicciones cualitativas basadas en el estudio de casos y opiniones profesionales.

Etapa 5: Valoración de la importancia del impacto utilizando la información obtenida en la etapa 3, junto con opiniones profesionales y públicas. Esta valoración se hace con el fin de evaluar el significado de los impactos beneficiosos y perjudiciales.

Etapa 6: Identificación, desarrollo e incorporación de medidas correctoras apropiadas para los impactos adversos.

3.3.3 Metodologías para realizar las EIA

3.3.3.1 Problemática.

Según Conesa (1993:51), existe un problema inherente a las EIA que tiene que ver con la imposibilidad de elaborar una metodología que sea común para todos los tipos de proyectos que requieran un estudio de este tipo. La mayoría de las metodologías se utilizan

en la identificación, predicción o evaluación de impactos ambientales específicos, siendo idóneas para proyectos concretos en base a los cuales han sido concebidas. Las principales razones que hacen difícil obtener una metodología única y estándar son:

- El cambio de factores afectados hace que el método varíe.
- Sólo se puede llegar a un tipo de método según la actividad que se considere.
- Existen varios métodos para estudiar el impacto sobre un mismo factor.

Para Canter (2000:72) no existe una metodología "universal" que pueda aplicarse a todos los tipos de proyectos en cualquier medio en el que se encuentre ubicado. Es muy poco probable que se desarrollen métodos globales, debido a la carencia de información técnica y la necesidad de realizar juicios subjetivos en la valoración de los impactos. Una perspectiva adecuada es la de considerar las metodologías como instrumentos que puedan utilizarse para facilitar el proceso de EIA.

Las metodologías no proporcionan respuestas completas a todas las preguntas sobre los impactos de un proyecto o de las alternativas que se estén valorando. Las metodologías no son recetas de cocina mediante las que se consigue un estudio con éxito si se siguen las indicaciones detalladas de la metodología. Estas deben seleccionarse a partir de una valoración apropiada y usando la experiencia profesional.

3.3.3.2 Utilidad de las metodologías.

Según Canter (2000:72) las metodologías pueden ser útiles, aunque no se requieren específicamente en todo el proceso de EIA, siendo algunas de ellas de gran utilidad para determinadas tareas del proceso. En la Tabla 1 se muestran cinco actividades que se llevan a cabo en una EIA y algunas metodologías útiles asociadas. Por ejemplo, las matrices y los diagramas de redes son útiles para la identificación de impactos, mientras que las listas de control con pesos y escalas, con puntuación o jerarquización encuentran su mejor aplicación en la valoración final de las alternativas y en la selección de la actuación propuesta. No es necesario usar la misma metodología a lo largo de la EIA, puede ser mejor utilizar distintas partes de varias metodologías para ciertas tareas.

3.3.3.3 Metodologías más comunes.

Las EIA son por definición un tipo de informe técnico que abarca una gran cantidad de ámbitos conceptuales que se encuentran integrados todos entre sí. El medio es un ente holístico y son precisamente las interrelaciones entre los factores que lo componen la característica esencial para comprenderlo. En la figura 4, se observan las interrelaciones de los factores ambientales desde la perspectiva de la EIA (Conesa, 1993:53).

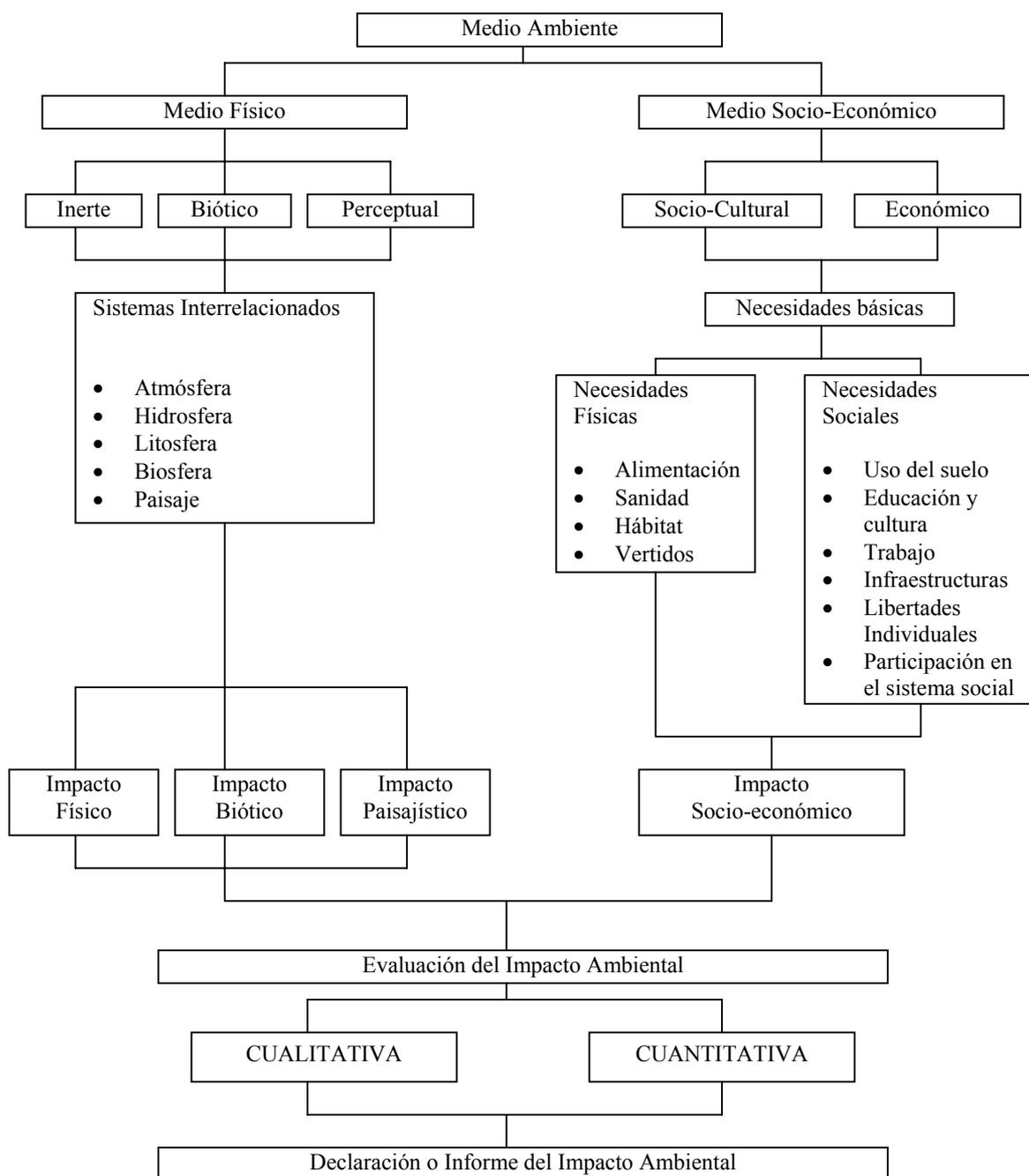
Tabla 1. Aplicación de las metodologías en el proceso de EIA

Tarea del Proceso	Metodologías		Utilidad relativa
Identificación de impactos	Matrices	Simples	Alta
		En etapas	Media
	Diagramas de Redes Listas de Control	Simples* Descriptivas	Alta Media Media
Descripción del medio afectado	Matrices	Simples	Baja
		En etapas	
	Diagramas de Redes Listas de Control	Simples* Descriptivas	Alta
Predicción y evaluación de impactos	Matrices	Simples	Media
		En etapas	Media
	Diagramas de Redes Listas de Control	Descriptivas	Media
		Escalas, puntuaciones, jerarquías	Alta Baja
Selección de la actuación propuesta (según valoración de alternativas)	Matrices	Simples	Media
		En etapas	Baja
	Listas de Control	Escalas, puntos, jerarquías Escalas-peso, jerarquías, puntos	Media Alta
Resumen y comunicación del estudio	Matrices	Simples	Alta
		En etapas	Baja
	Listas de Control	Simples*	Media

* Las listas de control simples incluyen métodos de cuestionarios.

Fuente: Canter, 2000:73

Por esto, es que existen numerosos métodos, modelos y procedimientos utilizados para hacer la evaluación de los impactos sobre los diferentes medios, ya que ninguno es universal sino específico para situaciones o aspectos concretos.



Fuente: Conesa, 1993

Figura 4. Interrelaciones de los factores medioambientales en una EIA

A continuación se describirán brevemente algunos de los métodos más significativos mencionado en la Tabla 1.

- Matrices

Este método de matrices interactivas fue desarrollado por Leopold y fue el primero que se estableció para las EIA.

La matriz está formada por filas que representan los factores ambientales que pueden ser afectados y columnas que contienen las acciones que se vayan a llevar a cabo en el desarrollo del proyecto y que posiblemente sean causa de impactos. La matriz contiene una lista de 88 factores ambientales (filas) y 100 acciones (columnas), por lo que el número de interacciones posibles es de $88 \times 100 = 8800$, aunque es posible que para un proyecto sean omitidos tanto los factores como acciones que no formen parte de él.

El primer paso es determinar las interacciones: cuando se prevé un impacto, la matriz aparece marcada con una línea diagonal en la casilla correspondiente a la interacción factor ambiental-impacto.

El segundo paso es describir la interacción en términos de magnitud, M (extensión del impacto) e importancia, I (intensidad o grado de incidencia). La magnitud de una interacción es su extensión o escala y se describe mediante la asignación de un valor numérico entre 1 y 10, donde 10 representa una gran magnitud y 1 una pequeña. Los valores próximos al 5 representan impactos de extensión intermedia. La importancia de una interacción esta relacionada con lo significativa que ésta sea, o con la evaluación de las consecuencias probables del impacto previsto, la escala de la importancia también varía de 1 a 10 y sigue el mismo principio de la escala anterior (Canter, 2000:75).

En la Tabla 2 se muestra un ejemplo del uso de una matriz de interacción simple para un proyecto que consta de dos fases: construcción y operación.

"La suma por filas proporcionará las incidencias del conjunto de acciones sobre cada factor ambiental y por tanto, su fragilidad ante el proyecto. La suma por columnas arrojará una valoración relativa del efecto que cada acción producirá en el medio y por tanto, su agresividad" (Conesa, 1993:57).

Tabla 2. Ejemplo de una matriz de interacción simple

		Acciones del proyecto										
		Fase de Construcción					Fase de Operación					
		Perforación de pozos	Inyección	Gasoducto	Oleoducto	Pozos	Planta de inyección de agua salada	Planta de tratamiento de crudo	Oleoducto	Gasoducto	Impacto Total	
Medio Físico	Medio Inerte	Agua Superficial	M									
		Agua Subterránea	I									
		Suelo										
		Aire										
	Medio Biótico	Vegetación										
		Fauna										
Total de cada acción												

Fuente: Propia

- Listas de Control

También reciben el nombre de Listas de Chequeo, y varían desde listados de factores ambientales hasta sistemas muy elaborados que incluyen la ponderación de importancias para cada factor ambiental y la aplicación de técnicas de escalas para los impactos de cada alternativa en cada factor. Las más utilizadas son las listas de control simples y las descriptivas. Las simples son listas que contienen los factores ambientales que deben ser estudiados, pero no proporcionan información sobre los datos específicos que se requieren, los métodos de estimación o la predicción y evaluación de impactos. Las descriptivas se refieren a métodos que incluyen listas de factores ambientales con información sobre cómo realizar las estimaciones, la predicción y la evaluación de impactos (Canter, 2000:102).

En la Tabla 3 se presenta un listado de los factores ambientales de una lista de control simple, que se utiliza en Estados Unidos para proyectos de gasoducto.

Tabla 3. Parte de una lista de control simple para proyectos de gasoducto

Categoría	Comentarios
Características y usos del suelo	<p>Identificar los usos actuales y describir las características del área.</p> <p><i>Usos del suelo.</i> Describir la extensión de los usos actuales, tales como la agricultura, negocios, industria, ocio, residencial, naturaleza y otras categorías como el potencial desarrollo; sitúe los grandes corredores de transporte que se encuentren próximos, incluyendo carreteras, autopistas, canales de navegación y pautas del tráfico aéreo; ubique las instalaciones de líneas de comunicación y su disposición (subterránea, superficial y aérea); identifique recursos hídricos.</p> <p><i>Topografía, fisiografía y geología.</i> Proporcionar una descripción detallada de las características topográficas, fisiográficas y geológicas del área en la que se propone la actuación. Incluya los mapas topográficos del Servicio de Reconocimiento Geológico de los Estados Unidos, fotografías aéreas (si están disponibles) y otro material gráficos.</p> <p><i>Suelos.</i> Describir las características físicas y la composición química de los suelos, incluyendo la relación de estos factores con la pendiente del terreno.</p> <p><i>Riesgos geológicos.</i> Indicar la posibilidad de que ocurran riesgos geológicos en el área, tales como terremotos, vuelcos, deslizamientos de laderas, subsidiencias, permafrost y erosión.</p>
Especies y ecosistemas	<p>Identificar aquellas especies y ecosistemas que serán afectados por la acción propuesta.</p> <p><i>Especies.</i> Recoger en categorías generales, con sus nombres comunes o científicos, las especies vegetales y animales que se encuentran en la zona de la acción propuesta, e indique aquellos que tienen una importancia comercial o turística.</p> <p><i>Comunidades y asociaciones.</i> Describir las comunidades y asociaciones vegetales y animales dominantes dentro del área de la actuación propuesta. Proporcionar una estimación de las densidades de población de las principales especies. Si no hay datos disponibles del área inmediata a la actuación propuesta, se pueden usar datos de áreas comparables.</p> <p><i>Recursos bióticos únicos y otros.</i> Describir ecosistemas únicos o especies raras o en peligro y otros recursos bióticos que puedan tener una especial importancia en el área de la actuación propuesta.</p>

Fuente: Canter, 2000:105

Las listas de control son útiles para facilitar las discusiones del equipo multidisciplinario, que se realicen con el propósito de identificar los impactos claves y los factores ambientales del proyecto objeto de estudio.

- Diagramas de redes

Son muy útiles para identificar los impactos previstos asociados a un proyecto, plan o programa. También ayudan a organizar el debate sobre los posibles impactos y su presentación, permitiendo comunicar fácilmente al público interesado la información sobre un impacto ambiental. La limitación principal de este método es la mínima información que proporciona sobre los aspectos técnicos de la predicción de los impactos y sobre los medios para evaluar y comparar los impactos de las alternativas. Además, la representación gráfica de estas redes puede volverse muy compleja.

Su esencia es integrar las causas de los impactos y sus consecuencias a través de la identificación de las interrelaciones que existen entre las acciones causales y los factores ambientales que reciben el impacto, incluyendo aquellas que representan sus efectos secundarios y terciarios (Canter, 2000:99).

En la figura 5 se muestra un ejemplo de un diagrama de redes que se puede utilizar en el análisis de impactos ambientales posibles.

Otra metodología que se puede utilizar en diversas tareas del proceso de elaboración de una EIA, y que no está contemplada en la Tabla 1, son los modelos ambientales. Estos modelos pueden ser de gran utilidad en la identificación y evaluación de impactos, ya que permiten evaluar y analizar sistemáticamente los factores o variables ambientales que conforman los medios físico, natural y socioeconómico objeto de estudio.

3.3.4 Uso de modelos en las Evaluaciones de Impacto Ambiental

En esta sección se presentan los conceptos y bases teóricas necesarias para entender cómo el uso de modelos matemáticos y de simulación, pueden ser de gran utilidad en la elaboración de una EIA para proyectos de explotación y producción de petróleo.

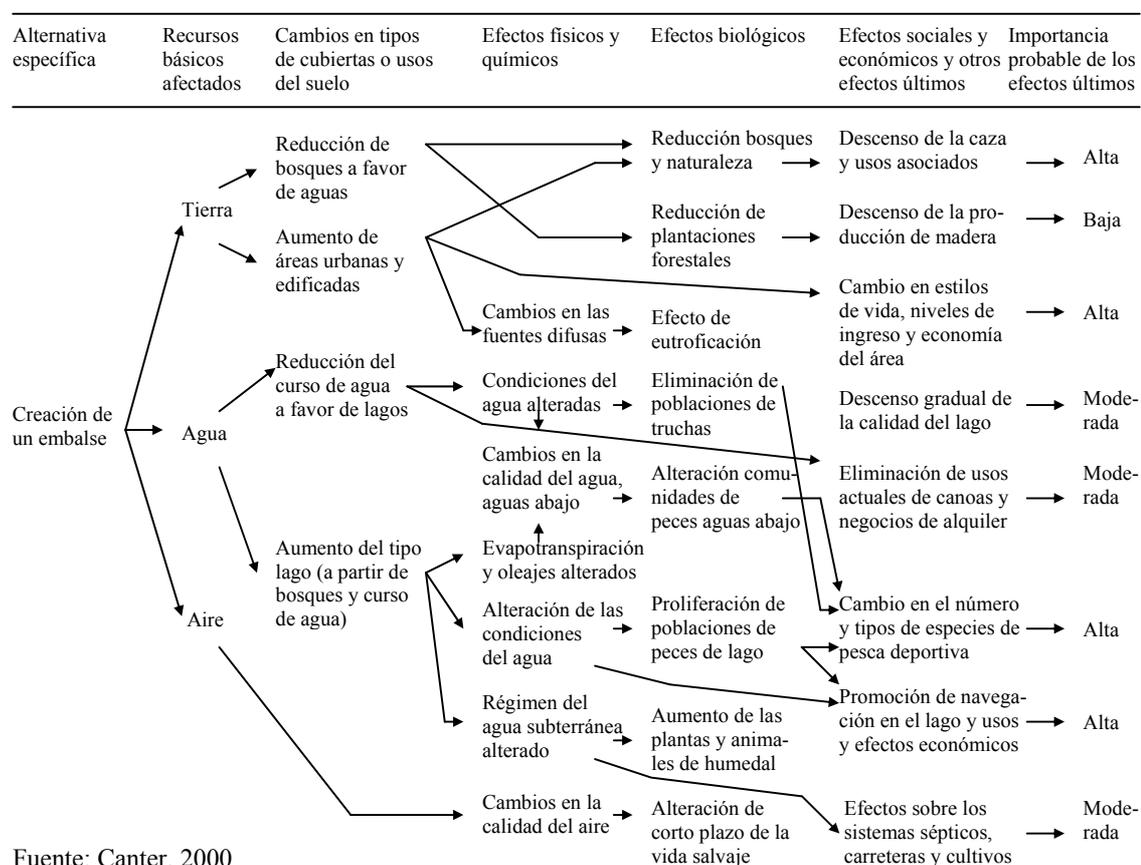


Figura 5. Ejemplo de un diagrama de redes para analizar impactos ambientales posibles

3.3.4.1 Modelos

Un sistema puede estudiarse por medio de la observación directa y experimentación con el propio sistema. En muchos casos esto no es posible porque el sistema no existe, puede ser inaccesible, es imposible hacer experimentos con el sistema o están prohibidos, son muy costosos, la escala de tiempo es muy grande o pequeña, o finalmente los datos no están inmediatamente disponibles (Domingo, 2000).

En la mayoría de estas situaciones es posible construir y hacer experimentos con un sistema artificial, que se asemeje al sistema real en estructura y comportamiento. Esto es lo que se conoce como un modelo del sistema. Mapas, pinturas, maquetas, plantas piloto, gráficos, matrices, descripciones verbales, representaciones mentales, fábulas, metáforas,

sistemas de ecuaciones diferenciales, algebraicas o lógicas, algoritmos, programas de computación, han sido utilizados como modelos. En todos estos casos el sistema real, difícil de entender y manejar, se sustituye por un modelo constituido por objetos y relaciones más familiares o manejables. Por ende, la construcción de un modelo es un proceso esencial de entendimiento. Los modelos se construyen para conocer y resolver problemas usando este conocimiento. Se asume que, cuando se construye un modelo, se obtiene un entendimiento sustancial del sistema objeto de estudio (Domingo, 2000).

Un modelo nunca contendrá todas las características del sistema real, porque entonces sería el sistema mismo, pero es importante que el modelo contenga las características que son esenciales en el contexto del problema que se está resolviendo o describiendo (Jørgensen, 2001:1). Por esto es, el comportamiento del modelo puede diferir en algunos aspectos del comportamiento del sistema real, aunque lo que se busca es eliminar dicha diferencia haciéndole ajustes al modelo en la etapa de construcción.

Esta etapa de construcción de un modelo recibe el nombre de modelado, y consiste básicamente en la traducción de la información recolectada sobre el sistema que se está estudiando, en algún tipo de modelo. Aprender algunos patrones correspondientes a diferentes tipos de modelos, puede ayudar a desarrollar la habilidad de diseñar modelos (Domingo, 2000).

3.3.4.2 Tipos de Modelos

Existen numerosas clasificaciones de los modelos, ninguna permite realmente establecer categorías estrictamente excluyentes. Una de estas clasificaciones la presenta Turner (1970:364), en función de las reglas de construcción del modelo, es decir, en función de la forma cómo se establece la relación de correspondencia. Esta clasificación es la siguiente (Felicísimo, 2001):

Icónicos: la relación de correspondencia se establece a través de las propiedades morfológicas, haciendo un cambio de escala pero se conservan el resto de las propiedades topológicas. Un ejemplo de modelo icónico es una maqueta, donde se ha establecido una reducción de tamaño conservando las relaciones dimensionales básicas.

Análogos: poseen algunas propiedades similares a los objetos representados pero sin ser una réplica morfológica de los mismos. Para su construcción normalmente se utiliza un conjunto de convenciones que sintetizan y codifican propiedades del objeto real, con la finalidad de para facilitar la lectura o interpretación de los mismos.

Un ejemplo de modelo análogo es un mapa impreso, que se construye mediante un conjunto de convenciones cartográficas, que conducen a un resultado final claramente distinto del objeto representado.

Simbólicos: se construyen usando reglas notablemente más abstractas, debido a que este tipo de modelos se emplea en los casos en que el objeto real se representa mediante una codificación matemática (geométrica, estadística, entre otras). Un ejemplo de modelo simbólico, es la representación de un edificio mediante la identificación y codificación en una estructura geométrica de sus elementos básicos. Este modelo permite la aplicación de algoritmos para, por ejemplo, estimar los esfuerzos a los que está sometido el edificio.

En esta última categoría se encuentran los modelos utilizados en esta investigación, específicamente los modelos ecológicos y de simulación.

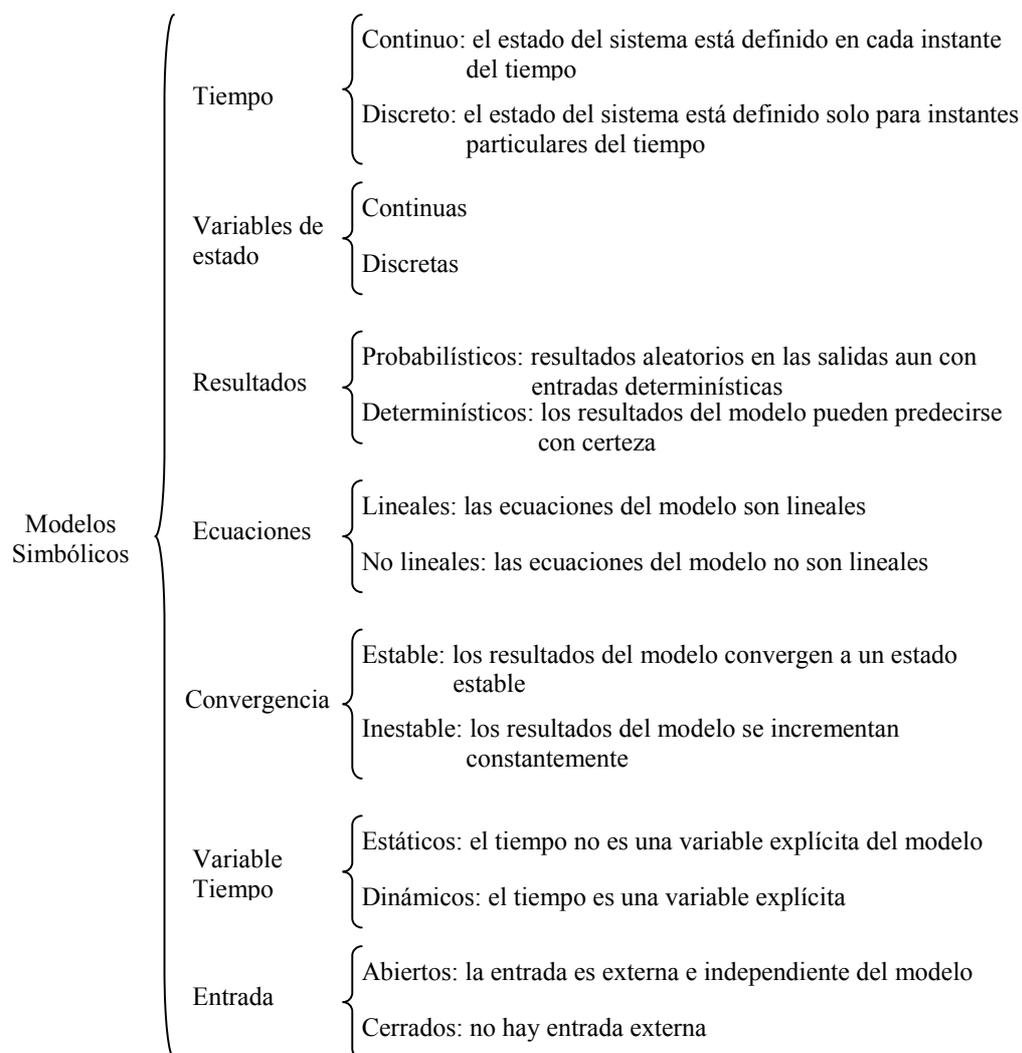
Como se muestra en la figura 6, existen otros tipos de modelos que pertenecen a la categoría de modelos simbólicos, pero que difieren unos de otros debido a la presencia de ciertas características.

3.3.4.3 Modelos ecológicos

Los modelos ecológicos están siendo ampliamente utilizados por los especialistas en el área, con el fin de tratar de entender un poco mejor cómo funcionan e interactúan los sistemas en la naturaleza.

Los modelos ecológicos pueden considerarse como una síntesis de lo que se conoce acerca de los sistemas naturales. Estos modelos deben contener las características que son de interés para el problema científico o administrativo que se quiera resolver. Los ecosistemas son sistemas muy complejos, por lo tanto es complicado capturar las principales características que son importantes para un problema ecológico. Sin embargo,

intensas investigaciones llevadas a cabo en las últimas décadas, han hecho posible establecer modelos ecológicos útiles (Jørgensen, 2001:10).



Fuente: propia
Conceptos: Jain, 1991

Figura 6. Clasificación de los modelos simbólicos

Debido a esta complejidad inherente a los sistemas naturales, los modelos ecológicos se deben concentrar únicamente en los objetos de interés para el problema que se esté

considerando, ya que muchos detalles irrelevantes podrían nublar el objetivo principal del modelo (Jørgensen, 2001:15).

Los modelos ecológicos objeto de interés para esta investigación son los modelos matemáticos, que describen las principales características, relaciones e interacciones de los sistemas naturales en términos matemáticos.

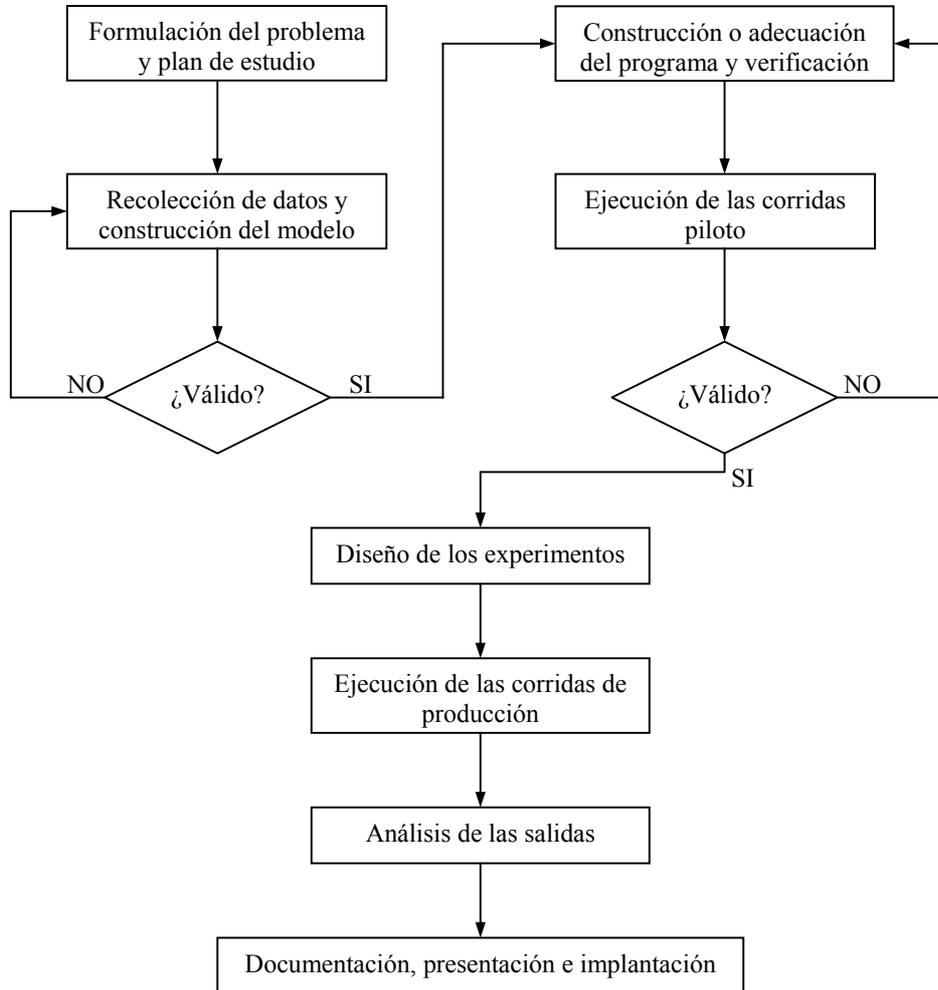
Un tipo especial de modelos ecológicos son los modelos de simulación ecológicos. Consisten en una colección de hipótesis, en forma de ecuaciones, que describen cómo la mayor parte de los elementos del modelo (variables de estado) cambian a lo largo del tiempo. Estas hipótesis usualmente están clasificadas en diferentes procesos que controlan las tasas de cambio de las variables de estado (Swartzman et al., 1987:2).

Estos modelos de simulación son la única herramienta, actualmente disponible, para traducir una colección de hipótesis de procesos ecológicos, en una representación de cómo funciona un ecosistema completo. Además, estos modelos describen la función de los ecosistemas, a través de los cambios sobre el tiempo o espacio (o ambos), utilizando cantidades mensurables, por consiguiente permiten realizar pruebas del conjunto de hipótesis de los procesos, a nivel del ecosistema (Swartzman et al., 1987:1).

Entender el modelado ecológico demanda familiaridad con la amplia variedad de aplicaciones que deben construirse sobre la base de un caso de estudio. La credibilidad en la formulación del modelo depende de los datos y experimentos usados para generarlo. Por esto es necesario llevar a cabo una descripción del problema y el ecosistema a ser modelado, antes de iniciar la construcción del modelo ecológico (Swartzman et al., 1987:2).

3.3.4.4 Etapas de un estudio de simulación

Como se mencionó en la sección anterior los modelos de interés para esta investigación son los modelos ecológicos y su simulación. Por esto es necesario tener claro que etapas se llevan a cabo en una investigación que se basa en la elaboración de un modelo y su simulación. En la figura 7 se muestra un diagrama de flujo que describe las etapas de una investigación de este tipo.



Fuente: Law and Kelton, 2000

Figura 7. Etapas de un estudio de simulación

Un estudio de simulación básicamente se lleva a cabo para resolver un problema, que puede ser de diferentes tipos (Zeigler, 1976):

- Entender cómo funciona el sistema real: en este caso se utilizan modelos para probar hipótesis acerca de la estructura y funcionamiento del sistema real.
- Optimizar ciertos aspectos del sistema real.

- Estudiar un sistema muy complejo que no podría o sería muy difícil de analizar usando otros medios.
- Realizar experimentos que con el sistema real serían demasiado costosos, consumirían demasiado tiempo o serían moralmente objetables. Otra ventaja adicional es que los experimentos se pueden repetir y son indestructibles, y los datos generados son más fáciles de analizar e interpretar.
- Sirve de herramienta de didáctica, permitiendo enseñar el funcionamiento del sistema real.
- Prepararse para cambios que puedan ocurrir en el medio ambiente del sistema real.

3.3.4.5 Dinámica de Sistemas

En esta sección se tratarán los términos, conceptos y aplicaciones que sustentan a la Dinámica de Sistemas como disciplina académica.

En primer lugar, es necesario aclarar el significado que tienen los términos sistemas y dinámica en este contexto. Para Aracil (1995:8), un sistema es una unidad cuyos elementos interactúan juntos, ya que continuamente se afectan unos a otros, de modo que operan hacia una meta común. Es algo que se percibe como una identidad que lo distingue de lo que la rodea, y que es capaz de mantener esa identidad a lo largo del tiempo y bajo entornos cambiantes. Este tipo de sistemas está caracterizado por el hecho de que se pueden especificar claramente las partes que lo integran y las relaciones entre estas partes, mediante las que se articula y forma una unidad.

Con respecto al término dinámica, Aracil (1995:9) lo emplea en oposición al término estática, con el fin de expresar el carácter cambiante de aquello que se adjetiva con dicho término. Al hablar de la dinámica de un sistema, se hace referencia a que las distintas variables que se pueden asociar a sus partes, sufren cambios a lo largo del tiempo como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas. Este será el sentido con el que se utilizará el término dinámica en esta investigación.

Una vez que se conoce el sentido en el que serán usados los términos sistemas y dinámica, se puede decir que la Dinámica de Sistemas es una disciplina para el estudio de

las relaciones entre la estructura y el comportamiento de un sistema, con ayuda de modelos informáticos de simulación (Aracil, 1995:81). En otras palabras, la dinámica de sistemas busca analizar cómo las relaciones en el seno de un sistema permiten explicar su comportamiento. Esta interacción es el resultado de que unas partes influyen sobre otras. Por lo tanto, los cambios que se producen en el sistema son reflejo, en alguna medida, de las interacciones que ocurren en su seno.

A partir de esta definición, se puede decir que para analizar y resolver un problema usando dinámica de sistemas, se requieren las siguientes destrezas (Roberts et al., 1983):

- Un conocimiento cabal del problema a tratar.
- Un método para estructurar y organizar el conocimiento acerca del problema.
- Una herramienta, la simulación por computador, que permita tomar en cuenta simultáneamente todas las relaciones que se consideran importantes para describir el problema.

Un proceso clave en la dinámica de sistemas es el modelado. Como ya se definió anteriormente, el modelado es un proceso mediante el cual se construye un modelo de un aspecto problemático de la realidad. En dinámica de sistemas comprende tres pasos fundamentales: la elaboración de un modelo mental, su transcripción a un diagrama de influencias y su conversión a un diagrama de Forrester (diagrama de flujos y niveles), a partir del cual se dispone ya de un modelo matemático que puede programarse en un computador (Aracil, 1995:82).

En este punto es donde comienza a ser de gran utilidad la simulación, ya que esta proporciona una historia a lo largo del tiempo de las operaciones del sistema que corresponden a los valores numéricos seleccionados para los coeficientes y condiciones iniciales. Debido a la gran cantidad de cálculos que requiere un estudio de simulación, su utilidad estuvo restringida hasta que estuvieron disponibles las computadoras digitales electrónicas (Forrester, 1968:3-10).

Capítulo 4. Resultados

4.1 Introducción

A continuación se presentan los resultados obtenidos en esta investigación. Se comienza con la presentación del diagnóstico de la situación actual de la elaboración de una EIA para proyectos de explotación y producción petrolera. Dicho diagnóstico se estructura siguiendo las perspectivas legal, dinámica y técnica. Su objetivo es conocer los aspectos que pueden ser mejorados, e incluir algunos nuevos que no son tomados en cuenta, como por ejemplo el uso de modelos dinámicos en la etapa de identificación y evaluación de los impactos.

Teniendo como base este diagnóstico y la revisión bibliográfica realizada, se hace una propuesta de cómo sería posible mejorar la elaboración de las EIA para proyecto de explotación y producción petrolera en Venezuela, específicamente en las fases de elaboración de la sensibilidad ambiental (caracterización del medio ambiente), identificación y evaluación de impactos. En esta última etapa, se presentan cinco ejemplos que demuestran cómo el uso de modelos dinámicos y su simulación, pueden ser de mucha utilidad en la etapa más crítica de la elaboración de una EIA.

4.2 Diagnóstico de las EIA realizadas en Venezuela para las actividades vinculadas al sector petrolero.

4.2.1 Perspectiva Legal

Las leyes venezolanas en materia ambiental son lo suficientemente completas, en especial el Decreto 1257 que rige la elaboración de un estudio de impacto ambiental, que contempla la elaboración de: a) una EIA, b) una Evaluación Ambiental Específica y c) la presentación de Recaudos Específicos.

En entrevistas personales realizadas con funcionarios del MARNR de la ciudad de Maturín, se manifestó el hecho de que los representantes de las empresas que solicitan la AOT, consideran que las EIA que ellos consignan son un requisito más y no un documento de trabajo que tiene que ser evaluado por el Ministerio, y si existen observaciones, modificaciones o explicaciones más detalladas, el solicitante está en la obligación de llevarlas a cabo y volver a consignar el documento ante dicho Ministerio. Esta actitud

ratifica el hecho de que para los dueños de los proyectos las EIA son solamente un requisito, y no un documento que contiene información muy importante y útil para la ejecución de todas las actividades que se llevan a cabo en el proyecto. Esta problemática ha sido observada y estudiada en Venezuela por Sebastiani et al. (2001:137), quienes han propuesto una metodología que toma en cuenta las variables ambientales utilizadas en una EIA, a lo largo del ciclo de vida de una planta industrial. Sin embargo, esto no es un problema inherente a Venezuela. En Europa se ha propuesto el uso de una metodología llamada Evaluación Ambiental Holística (HEA, por sus siglas e inglés) presentada por Salter et al. (2001:46), quienes afirman que las leyes Europeas no cubren el ciclo de vida completo del proyecto que se esté evaluando. Por esto, la HEA abarca tres metodologías (EA: Environmental Assessment, LCA: Life Cycle Analysis y CBA: Cost Benefit Analysis) que le permiten tomar en cuenta todos los aspectos relacionados con la evaluación del impacto a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

De acuerdo a esta investigación, se evidencia que este rol disminuido de las EIA puede deberse en parte a la carencia de supervisión efectiva por parte del MARNR. En conversaciones personales sostenidas con funcionarios de dicho Ministerio, se expresaba que dicha carencia se debía al poco personal disponible para tal fin, ya que son muchas las solicitudes de AOT y se debe compartir el tiempo entre la revisión y evaluación de las EIA y las inspecciones, las cuales consumen mucho tiempo debido a la ubicación geográfica de los diferentes proyectos. Dichas inspecciones están contempladas en el Decreto 1257, en el Capítulo II de la *Vigilancia y Control Ambiental*, artículo 33, según el cual el Ministerio puede realizar inspecciones en cualquier momento, con el fin de verificar la información aportada por el ejecutor del proyecto y observar si se está cumpliendo con la normativa legal.

Otro aspecto importante en este punto, es lo relativo a los estándares de calidad ambiental bajo los cuales se declara la ocurrencia de un impacto. Dichos estándares están plasmados en diferentes Decretos que contienen las normas específicas para evitar los impactos a los diferentes medios como los cuerpos de agua, aire y suelos, controlando el manejo de desechos peligrosos y la contaminación por vertidos o efluentes líquidos, ruido, emisión de gases, entre otros. Lo observado con respecto a estos estándares es que

parecieran estar desligados de las EIA, ya que en las revisiones realizadas a algunos de estos documentos se encuentran afirmaciones como la siguiente:

"Es importante tener presente que el análisis no consideró las afectaciones asociadas a la contaminación del suelo y a la afectación a la atmósfera local, debido a que: Ambos tipos de afectaciones están debidamente reguladas a través de los Decretos 638 y 2635, por lo que su exclusión no constituye un riesgo en el análisis, ya que, se asume que las actividades que dan origen a este tipo de afectaciones serán ejecutadas de acuerdo a las consideraciones establecidas en dichas regulaciones, por lo tanto se prevé que no deben existir modificaciones sobre el medio a causa de este tipo de afectación" (Geohidra, 2001:4-8).

Afirmaciones de este tipo no tienen sentido, ya que a pesar de existir una regulación en una materia, no quiere decir y mucho menos se debe asumir, que las actividades realizadas en un proyecto dado cumplirán con los estándares existentes en dicha regulación. Las EIA deben contener el análisis completo y hacer explícito el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental contemplados, tanto en decretos nacionales como en las regulaciones internacionales cuando sea el caso que no existan en la legislación venezolana. En este caso, los decretos o normas deben usarse para determinar si un impacto es significativo o no, dependiendo de si excede los límites legales establecidos en dichos decretos o normas.

La Norma sobre Evaluación Ambiental de Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos (República de Venezuela, 1996b), presenta una lista de los posibles efectos potenciales de los proyectos sobre los aspectos físico-naturales y socioeconómicos, la cual es bastante completa. El asunto clave aquí es que para medir el grado de intensidad de dicha afectación, es necesario utilizar ciertas variables ambientales las cuales no están contempladas en la norma, lo que hace posible que sea el propio encargado del proyecto el que estime cuáles son las variables a utilizar para medir el grado de intensidad del efecto producido por alguna actividad que forme parte del proyecto. Por esto se presentan observaciones en las EIA tales como: "Las variables ambientales consideradas relevantes en el área de estudio para el análisis de sensibilidad del medio físico fueron: sistemas hidrológicos, suelos - geomorfología" (Geohidra, 2001:4-10). En este caso, el encargado del proyecto considera que para estudiar el medio físico conformado

por aire, agua, y suelo solo es necesario analizar los sistemas hidrológicos y el suelo (además, de que estos no son variables ambientales, son sistemas que forman parte del medio físico-natural), aun cuando este proyecto contempla la explotación de un yacimiento de gas y la construcción de un gasoducto entre dos campos petroleros existentes. Estas actividades no están exentas de ocasionar emisiones de gas que, por ejemplo, podrían contaminar la atmósfera.

La escala de valoración de los impactos utilizada en las EIA revisadas, cumple con lo establecido en la ley. Se emplea una escala cualitativa de Alto, Medio y Bajo, y se cumple el requisito de presentar la justificación de cada valoración realizada. En algunos casos se hace una valoración cuantitativa que luego se transforma a la escala cualitativa exigida por la legislación.

4.2.2 Perspectiva Dinámica

Los modelos dinámicos pueden ser utilizados de forma efectiva cuando se realiza el análisis de los medios físico, biológico y socioeconómico. Para los dos primeros medios no se considera el aspecto dinámico de cada uno de ellos, se hace el análisis de cada variable ambiental, pero no se muestran los cambios que sufren estas variables a lo largo del tiempo como consecuencia de las interacciones que se producen entre ellas. Lo más cercano a este concepto dinámico que se puede estar, es cuando se habla de impactos indirectos, los cuales ocurren cuando un impacto sobre un medio puede afectar otro medio, pero no se dice cómo ocurre este proceso de afectación.

Por otra parte, el medio socioeconómico se considera de suma importancia cuando se está revisando una EIA. Como se expresa en la EIA realizada por Geohidra (2001:4-49), el análisis del medio socioeconómico se basa en la premisa de que *este medio es en esencia dinámico*, por cuanto expresa las relaciones entre la población y el medio físico, con el fin de producir bienes y servicios. De allí que el análisis de la sensibilidad del medio socioeconómico en el área de influencia de un proyecto, implica evaluar el funcionamiento del sistema urbano como expresión de la intervención y ocupación humana del territorio y de los vínculos funcionales que se dan entre las distintas localidades. Aquí se observa

claramente la posibilidad de utilizar modelos que describan la dinámica de los sistemas sociales que sean afectados por las actividades ejecutadas en un proyecto.

En las EIA consultadas, el análisis de sensibilidad del medio socioeconómico se hace usando una valoración cualitativa y en algunos casos cuantitativa, usando una escala de Alta, Media y Baja, pero en ningún caso se muestra la relación entre las variables y parámetros que se usan para describir el medio socioeconómico a lo largo del tiempo. Es decir, se admite la naturaleza dinámica de dicho medio pero no se analiza bajo esta premisa. Esto se observa, por ejemplo, en la siguiente definición de las variables que se utilizarán para llevar a cabo el análisis de sensibilidad del medio socioeconómico, "este análisis de sensibilidad es el resultado de una serie de aproximaciones sucesivas y es evaluada en términos del comportamiento de determinadas variables explicativas que puedan expresar la capacidad de respuesta a cambios, partiendo de una situación base y de la formulación de un conjunto de criterios, fundamentalmente referidos a la capacidad para integrar información, la posibilidad de representación cartográfica y la disponibilidad de la información" (Geohidra, 2001:4-49). Esta afirmación expresa los aspectos tomados en cuenta en la selección de las variables que utilizarán en el análisis, y en ningún momento se menciona la importancia de tomar en cuenta la relación entre las variables y cómo se comportan a lo largo del tiempo.

Otro aspecto importante que se pudo observar es la utilización de criterios de valoración, una vez que se pasa a la etapa de la evaluación cuantitativa de los impactos. En este caso se utiliza el criterio denominado Duración, el cual expresa el lapso o tiempo que dura la perturbación sobre el receptor, que en algunos casos se toma como permanente si el lapso de tiempo es mayor a 20 años, larga si es de 5 a 20 años, media si es de 1 a 5 años y corta si es menor a 1 año. Lo que se observó es que se asume que la perturbación provocada por el impacto es constante a lo largo del tiempo, no se expresa en ningún caso la idea de que el impacto afecte al receptor de una forma diferente a medida que transcurre el tiempo de duración. Lo único que se toma en cuenta es: a) los impactos acumulativos, que son el producto de la acumulación de los efectos de actuaciones pasadas, presente o futuras y b) los impactos primarios que al ocurrir en un medio afectan a otros medios; por ejemplo, un impacto sobre el medio físico puede ocasionar impactos sobre el medio biológico o

humano. Ninguno de los casos antes señalados es analizado haciendo uso de modelos dinámicos que describan la forma cómo se relacionan las diferentes variables y cómo cambia ese comportamiento a lo largo del tiempo.

4.2.3 Perspectiva Técnica

4.2.3.1 Metodologías empleadas

En las EIA objeto de estudio se diferencian tres tipos de metodologías empleadas, la primera para el análisis de sensibilidad ambiental, la segunda para la identificación de efectos y la tercera para la identificación y evaluación de los impactos. Cada una de estas metodologías será objeto de análisis y discusión con el fin de presentar los aspectos técnicos observados.

Para facilitar la presentación de las observaciones se considerará, en la exposición que sigue, como el primer caso de estudio la EIA realizada por Geohidra Consultores C.A. (2001). El segundo caso de estudio es la EIA realizada por Arborea, Consultores Ambientales C.A. y Compañía General de Combustibles CGC (2001) y el tercer caso de estudio es la EIA realizada por Consultores OTEC, S.A., BOC GASES (1996).

A) Metodología para realizar el análisis de sensibilidad

Por definición un análisis de sensibilidad consiste en evaluar el grado de susceptibilidad de un área, ecosistema, o medio a manifestar cambios en su condición actual ante cualquier intervención antrópica. Además, el análisis de sensibilidad comprende la definición de variables y unidades de sensibilidad con una representación en el espacio geográfico, que estén vinculadas a los medios físico, biológico y socioeconómico, cuyas características sean susceptibles de sufrir cambios debido a la ejecución de las actividades antrópicas (Geohidra, 2001:4-2).

Para los consultores de Arborea (2001:4-1), el análisis de sensibilidad se define como el potencial de efectos adversos que pueden ocurrir en un espacio geográfico como resultado de la alteración de cualquier proceso ambiental inducido por una actividad del proyecto.

El análisis de sensibilidad corresponde a lo que Canter (2000:188) identifica en su modelo de seis etapas como la etapa 2, descripción del entorno medioambiental. La cual consiste en describir sucintamente el entorno de las áreas que se verán afectadas por el proyecto bajo consideración.

Este análisis representa una base fundamental en la determinación del Valor de Impacto Ambiental (VIA) correspondiente a la fase de evaluación de los impactos, ya que permite tanto la medición de los criterios de valoración de los impactos como destacar los espacios o territorios que requieren especial atención antes y después de la ejecución del proyecto.

No existe una única metodología para realizar el análisis de sensibilidad, la mayoría son adaptaciones de métodos teóricos a las necesidades particulares o la mezcla de varios de ellos, por lo tanto a continuación se explican dos métodos que son los empleados en las EIA analizadas para llevar a cabo esta investigación. En el tercer caso de estudio, la EIA realizada por Consultores OTEC (1996), no se contempla la realización de este análisis de sensibilidad, se pasa directamente a la determinación de efectos.

1. La metodología utilizada por los consultores de Geohidra (2001:4-3) consta de cuatro etapas:

a) Identificación de las afectaciones genéricas: Las afectaciones genéricas son los cambios que podrían evidenciarse en el medio ambiente, con manifestaciones en uno o más de sus componentes, como producto de alguna actividad del proyecto.

En este paso, se definen de manera general los tipos de afectaciones que podrían incidir sobre el medio, teniendo como base la definición de actividades presente en la descripción del proyecto.

Por ejemplo, si se está evaluando el suelo como parte del análisis de sensibilidad del medio físico, un tipo de afectación que pudiera identificarse sería la generación de procesos erosivos.

b) Definición de las unidades de sensibilidad: A partir de la caracterización ambiental se definen unidades que agrupan elementos de similar estructura, función y composición, teniendo como base los siguientes criterios:

- Integran o sintetizan información.

- Son fundamentales para expresar aspectos ambientales básicos.
- Tienen representación geográfica.
- Presentan una amplia cobertura en el área objeto de estudio.
- Muestran una variabilidad de condiciones a lo largo del área de estudio.

Siguiendo el ejemplo del punto anterior, las unidades de sensibilidad que pueden definirse de acuerdo a la vegetación, relieve, formas del terreno, rasgos erosionales y drenaje natural son mesa disectada, mesa muy disectada, valle coluvio aluvial, valle lateral y vega coluvial.

Una vez definidas las unidades de sensibilidad, se procede a asociar las afectaciones genéricas a cada una de las unidades definidas.

c) Valoración de la sensibilidad: El objetivo de la valoración es cuantificar el grado de sensibilidad de cada variable ambiental, partiendo de una condición inicial I_0 . La valoración se hace a través de los siguientes dos pasos:

- Definición de parámetros indicadores. Los parámetros indicadores son expresiones de la unidad de sensibilidad, cuyas variaciones ante la incidencia de un proceso de afectación pueden ser medidas. Estos parámetros se asocian a tres atributos ecológicos: resistencia, reversibilidad y relevancia, considerados en este análisis como factores de sensibilidad. Estos atributos se definen de la siguiente manera:
 - Resistencia (r_1): expresada por la capacidad del recurso o variable, de recibir afectaciones sin alterar significativamente sus condiciones o funcionamiento.
 - Reversibilidad (r_2): capacidad del recurso o variable para retornar a su estado original luego de que ha cesado la afectación.
 - Relevancia ambiental (r_3): representada por la importancia del recurso o variable, en sus condiciones actuales, para otros componentes del ecosistema, otros ecosistemas o el hombre, de acuerdo a su relación con los mismos.

Los parámetros indicadores pueden ser simples o compuestos. Los de tipo simple, son aquellos en los que un solo parámetro puede representar toda una unidad de sensibilidad, mientras que los de tipo compuesto, son aquellos en los que varios parámetros pueden representar la condición de una misma unidad.

- Valoración de los parámetros indicadores: para medir los cambios en los parámetros indicadores definidos para cada variable ambiental, se usan criterios que representen los cambios en los atributos que caracterizan a un parámetro indicador, ante la acción de intervención asociada al proyecto que se esté evaluando. Dichos criterios parten de la condición inicial (I_0) y definen los cambios significativos en el parámetro indicador, los cuales se miden usando una escala de valores preestablecida.
 - Valoración de los parámetros indicadores simples: el valor dado a un atributo otorga de manera directa el peso del parámetro. La escala de valores que se asocia a cada criterio, así como su
 - Valoración de los parámetros indicadores compuestos: para este tipo de parámetros se hace un cálculo ponderado, donde el peso asignado a cada atributo parcial establecido, se define a juicio de especialistas. Se utiliza una escala de valores que se asocia a cada criterio de 1 a 3. La ecuación de valoración de un grupo de atributos, para un factor dado r , tiene la siguiente forma:

$$(Vp_{(1...n)}) = (p_{1a} \times Wp_1) + (p_{2b} \times Wp_2) + \dots + (p_{nc} \times Wp_n)$$

donde:

$Vp_{(1...n)}$: Valoración del parámetro.

p_1, p_2, \dots, p_n : Parámetros del atributo 1 al n.

a, b, c: Valores que podrían tomar los criterios en un rango de 1 a 3.

Wp_1, Wp_2 y Wp_n : Factor de ponderación de cada atributo

Continuando con el ejemplo anterior, si se está evaluando la sensibilidad del suelo se pueden definir como parámetros indicadores la erosividad del suelo (P1) para el atributo resistencia; grado de desarrollo del suelo (P1) y procesos de ablación y depositación (P2) para el atributo reversibilidad; y capacidad del suelo (P1) para el atributo relevancia. En este caso los criterios utilizados están relacionados con los atributos físicos vinculados a los procesos dinámicos de la erosión, los cuales están

íntimamente relacionados con la estabilidad y desarrollo estructural de los suelos, ubicación geomorfológica, pendiente y cobertura vegetal (ver Tabla 4).

- Valoración de la sensibilidad: este proceso se lleva a cabo para cada unidad de sensibilidad, realizando un cálculo ponderado que relaciona el valor parcial que representa cada uno de los tres atributos ecológicos: resistencia (r_1), reversibilidad (r_2) y relevancia ambiental (r_3). Para el caso de la EIA realizada por Geohidra (2001:4-7), se tomaron los siguientes pesos ponderados (W_r):

Resistencia $W_{r1} = 0,3$

Reversibilidad $W_{r2} = 0,3$

Relevancia ambiental $W_{r3} = 0,4$

Tabla 4. Ejemplo de valoración de la unidad de sensibilidad valle lateral

		Atributos ecológicos de sensibilidad				Sensibilidad
		Resistencia $R_1=P_1$	Reversibilidad $R_2=P_1*W_{P1}+P_2*W_{P2}$		Relevancia $R_3=P_3$	
		Parámetros				
Tipo de afectación	Unidad de sensibilidad	Erosividad del suelo (P1)	Grado de desarrollo del suelo (P1)	Procesos de ablación y depositación (P2)	Capacidad de uso (P3)	$S = R_1*W_1 + R_2*W_2 + R_3*W_3$
Generación de procesos erosivos	Valle lateral	2*	3*	2*	1*	1.72 \approx 2

Para este ejemplo se utilizaron los siguientes valores: $W_{P1}=0.4$, $W_{P2}=0.6$, $W_1=0.3$, $W_2=0.3$, $W_3=0.4$. Como se puede observar los atributos resistencia y relevancia están definidos por parámetros simples, mientras que el atributo reversibilidad está definido por parámetros compuestos.

* Estos valores corresponden a la valoración de los criterios señalados en el texto, usando una escala de 1 a 3.

Fuente: Propia

"Sin embargo, estos pesos podrían variar, dependiendo del tipo de unidad de sensibilidad y de las premisas de valoración que establezca el especialista" (Geohidra, 2001:4-7).

Una vez que se tienen definidos los pesos de ponderación de cada atributo geológico, se calcula el valor final de sensibilidad (S) para cada unidad, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$S = (r1 \times 0,3) + (r2 \times 0,3) + (r3 \times 0,4)$$

donde:

S: valor de sensibilidad para cada unidad

r1, r2 y r3: valores del atributo ecológico respectivo.

Como los atributos ecológicos se valoran en una escala del 0 al 3, el valor mínimo de S será 0 el máximo será 3. Un ejemplo de estos cálculos se muestra en la Tabla 4.

Los valores de sensibilidad obtenidos se redondean con la finalidad de convertirlos a la escala cualitativa de Alta (S=3), Media (S=2) y Baja (S=1), establecida en la legislación venezolana.

- d) Representación cartográfica de los valores de sensibilidad: Una vez que se ha calculado el valor de sensibilidad S para cada unidad, se procede a configurar los mapas temáticos de sensibilidad, usando diferentes colores de acuerdo a la valoración cualitativa de sensibilidad obtenida (alta, media y baja) para cada unidad.

2. La metodología utilizada por Arborea (2001:4-2) también consta de cuatro etapas:

- a) Selección de variables ambientales.
- b) Caracterización ambiental.
- c) Análisis de sensibilidad ambiental.
- d) Identificación y descripción de las unidades de sensibilidad.

Dichas etapas no se explican en detalle solo se indica que el espacio geográfico se analizó tomando en cuenta tres componentes que integran el ambiente: físico, biótico y socioeconómico, a los cuales se les asignó un factor de peso que "representa el valor numérico del peso literal de cada elemento específico del ambiente, es decir, la prioridad de protección y resguardo que requiere cada componente ambiental" (Arborea, 2001:4-1). El rango de estos pesos es de 0 a 1, donde el valor máximo constituye el de mayor importancia y protección dentro del ambiente. Los valores asignados en este estudio fueron:

- Componente Físico: es la parte inerte del ambiente, su afectación implicaría una intervención indirecta en los otros componentes, por lo tanto su factor de peso es 0.6.
- Componente Biótico: corresponde a la vegetación y fauna asociada a cada comunidad vegetal. El peso asignado es de 0.8.

- Componente socioeconómico: representa el factor social del espacio geográfico, que incluye la población y sus actividades económicas. La afectación de este componente atenta contra la vida de los habitantes de la zona, por lo tanto, el factor de peso asignado es 1, ya que la protección en este caso es primordial.

Luego se pasa a la determinación de los valores agregados de cada variable ambiental seleccionada como parte de uno de los tres componentes. Estos valores van de 1 a 5, 1 corresponde al elemento de menor importancia ecológica y social, y 5 al elemento de mayor jerarquía.

Para determinar la importancia de cada variable dentro del ambiente, se multiplica el valor agregado por el factor de peso establecido, según la siguiente ecuación:

$$Vf = Fpc \times Vav$$

donde:

Vf: Valor final.

Fpc: Factor de peso de cada componente.

Vav: Valor agregado a cada variable de un componente específico.

Por último, se procede a la identificación de las unidades de sensibilidad ambiental a través de la superposición de mapas temáticos y la sumatoria de los valores finales de cada variable ambiental. Este procedimiento da como resultado el número total de unidades de sensibilidad ambiental que pertenecen a alguna de las siguientes categorías:

- Sensibilidad Muy Alta: espacios que poseen un alto potencial ecológico y social.
- Sensibilidad Alta: áreas con recursos ecológicos y sociales importantes.
- Sensibilidad Media: zonas donde las alteraciones podrían generar cierta desarticulación en las condiciones ambientales.
- Sensibilidad Baja: espacios geográficos con poca importancia geológica y social.

A.1) Diagnóstico de la metodología utilizada para llevar a cabo el análisis de sensibilidad ambiental

Son variadas las metodologías utilizadas para realizar este análisis, los dos primeros casos de estudio presentan una metodología diferente y el tercero de ellos no hace dicho

análisis de sensibilidad ambiental. De todos modos a continuación se hace un diagnóstico de la aplicación de dichas metodologías.

El análisis de sensibilidad como ya se dijo, comprende la definición de variables y unidades ambientales de sensibilidad de los medios físico, biológico y socioeconómico, que sean susceptibles de sufrir variaciones debido a la acción de alguna actividad que forme parte del proyecto petrolero. Partiendo de esto se observó lo siguiente:

- No se explica cómo se definen u obtienen las unidades de sensibilidad.

En el primer caso de estudio se dice que "se definieron unidades que agrupaban elementos de similar estructura, función y composición ..." y que cumplieran con una serie de criterios. En el segundo caso de estudio se dice "fueron identificadas, dentro del Area Onado, 172 unidades de sensibilidad ambiental debidamente evaluadas y agrupadas en cuatro categorías, en función de las características y condiciones de fragilidad del espacio."

La siguiente afirmación no es motivo para que no se presente una explicación de cómo se obtienen estas unidades, ya que ellas son la base de toda EIA: "la evaluación y ponderación de las variables ambientales es un proceso complicado y que muchas veces se encuentra cargado de subjetividad, ya que pretende transformar una información teórica en un valor numérico que permita resumir en unos dígitos las diferentes características y condiciones de un ecosistema en particular" (Arborea, 2001:4-4).

- La valoración de las unidades de sensibilidad ambiental se hace de diferentes maneras.

En el primer caso de estudio, se toman tres atributos ecológicos (resistencia, reversibilidad y relevancia) sin explicar el porque, solo se dice que se consideran como factores de sensibilidad utilizados en la valoración de los parámetros indicadores (que pueden ser simples o compuestos), que no son más que expresiones de la unidad de sensibilidad del medio físico, biológico y socioeconómico. En dicha valoración de los parámetros se usa "una escala de valores preestablecida", pero no se dice quién o cómo se estableció. Para el caso de parámetros compuestos, no se explica cómo se hace la asignación de pesos para

cada atributo que conforma el parámetro. Con respecto al procedimiento de valoración de cada medio se presenta una explicación bien detallada de cómo se hizo, que variables ambientales se consideraron en cada análisis, los parámetros indicadores utilizados y una síntesis final a manera de conclusión para cada medio.

En el segundo caso de estudio, se toman en cuenta cinco variables ambientales seleccionadas basándose en "la experiencia profesional de los investigadores", geomorfología, vegetación, fauna, población y actividades económicas. Cada una de las cuales presenta una unidad de trabajo (geoformas, comunidad vegetal, hábitat, centros rurales y urbanos y uso de la tierra) y un conjunto de criterios que son utilizados en la valoración, en este caso presentan un total de 20 criterios.

Al comparar los procedimientos de valoración empleados en ambos casos de estudios, se puede notar que el primero es mucho más técnico y exhaustivo, de hecho se hacen más explicaciones y se presenta de forma directa cómo se hace la valoración de cada medio (físico, biológico y socioeconómico). En el segundo caso se explica la metodología a usar para la valoración de la sensibilidad ambiental y se dan los resultados finales, pero no se muestra cómo se aplicó para el caso del área del proyecto.

- Existencia de muchos errores en la presentación de la información.

Este es el diagnóstico del primer caso de estudio, porque como ya se mencionó el segundo caso no presenta detalles de la aplicación de la metodología y el tercer caso no hace uso de esta metodología.

Para la valoración de los parámetros se usa una escala de cero a tres, la cual permitirá darle el valor de 1, 2 o 3 al parámetro, con el fin de ser convertido a una escala cualitativa de baja, media y alta. El problema es que la escala inicial de cero a tres se toma de la siguiente manera: 0 - 0.95, 1.05 - 1.95 y 2.05 - 3.0, como se puede observar se dejan por fuera los valores que van de 0.96 - 1.04 y 1.96 - 2.04.

Los pesos ponderados para la resistencia, reversibilidad y relevancia ambiental se fijan desde el inicio del proceso de análisis como 0.3, 0.3 y 0.4 respectivamente, pero cuando se está evaluando la erosión del suelo se dice que se cambiarán dichos pesos y que se le dará mayor valor de ponderación a la resistencia y menor

ponderación a la reversibilidad, el asunto es que no se dice cuáles serán los nuevos pesos y al momento de usarlos se siguen tomando los pesos iniciales. En otros casos, se dice "la mayor ponderación se le asignará al atributo reversibilidad..." y al momento de asignar los pesos el mayor valor se le asigna a la resistencia. Tampoco se respetan la cantidad de parámetros asignados a cada atributo, por ejemplo se describen tres atributos y en la tabla de valoración de muestran cuatro.

En general, no se explica porque se toman determinados valores para los pesos W_{pi} utilizados en la ponderación de los parámetros que conforman un atributo.

- Se presenta una lista de afectaciones muy pobre.

En los tres casos de estudio se pudo observar que las actividades del proyecto que pudieran causar impactos son muy pocas, ya que solo se consideran las actividades que ellos quieren exponer. Por ejemplo, en la EIA realizada por Consultores OTEC (1996:5-6) solo se identifican tres posibles impactos: alteración de la calidad del aire y deterioro de la viabilidad durante la construcción de la planta de Hidrogeno y alteración de la calidad del aire y generación de ruido durante la fase de operación de dicha planta. Cuando en el flujograma que emplean para explicar el proceso de producción de hidrogeno, se observa que existe un venteo a la atmósfera de CO_2 y H_2O , gas de cola que va hacia los quemadores, como efluentes tienen aguas contaminadas con trazas de hidrocarburos, aguas de enfriamiento (agua de mar) y aguas negras.

B) Metodología para identificar los efectos

El objetivo de aplicar esta metodología es identificar aquellos efectos ambientales derivados de la interacción de las diferentes acciones o actividades del proyecto con los elementos ambientales que conforman el espacio geográfico donde está localizado el proyecto. Estos efectos pueden ser tanto positivos como negativos.

Esta identificación de efectos corresponde a la primera etapa del modelo de seis etapas de Canter (2000:188), dicha etapa recibe el nombre de identificación de impactos del proyecto propuesto. Este autor utiliza los términos impactos y efectos como sinónimos,

mientras que en las EIA analizadas, un efecto se convierte en impacto una vez que sea analizado en etapas posteriores de la EIA y posea las características de un impacto.

Al igual que en el punto anterior, no existe una metodología única para realizar la identificación de los efectos, por ende se explicarán las tres metodologías empleadas en cada una de las EIA analizadas.

1. La metodología utilizada por los consultores de Geohidra (2001:6-1) se basa en un análisis de acción-causa-efecto a través de un flujograma de encadenamiento, tanto para la fase de construcción como para la fase de operación. Para este análisis se toman las siguientes definiciones:

- Acción: es el punto de arranque del análisis y corresponde al conjunto de actividades del proyecto que posiblemente generen cambios o modificaciones negativas o positivas en el ambiente.
- Causa: representa la primera incidencia de las acciones del proyecto sobre el ambiente, que generalmente se manifiesta a nivel de los elementos o variables físicas del ambiente. Por ejemplo, si se considera como acción una deforestación, la causa subsiguiente será dejar el suelo desnudo y sin protección.
- Efecto: por definición es el resultado de la acción de una causa. Representa la repercusión o consecuencia que el proceso de afectación genera sobre la misma variable u otras variables ambientales.

La identificación de efectos por este método tiene la ventaja de que al ilustrar todo el proceso de cambios en el ambiente, es posible determinar en qué punto o nivel del encadenamiento se pueden aplicar las medidas ambientales necesarias para prevenir la ocurrencia del efecto o controlar, mitigar o reducir su incidencia.

2. La metodología empleada por Arborea (2001:5-1), le da el nombre de "grado de perturbación" a los efectos. Para su identificación emplea una matriz de doble entrada (una modificación de la matriz de Leopold) que permite evaluar a cada actividad del proyecto de acuerdo a los siguientes tres criterios de valoración:

- Tiempo: persistencia de la perturbación en un lapso de tiempo determinado, puede ser corto, mediano o largo plazo.

- Espacio: se refiere a la extensión de la perturbación en un área determinada.
- Reversibilidad: indica si el factor ambiental afectado por la perturbación puede o no restituirse a sus condiciones naturales.

Estos criterios se miden en una escala de cero a tres, con el fin de representar el grado de perturbación de la actividad sobre los componentes del ambiente. El cero indica que no existe perturbación y el tres es el máximo valor de perturbación.

La matriz esta formada por columnas que corresponden a los factores ambientales considerados (por ejemplo: suelo, aire, agua superficial, vegetación, fauna, población, servicios, uso de la tierra, paisaje, entre otras), y las filas son las actividades del proyecto divididas en fase de construcción y fase de operación (perforación, construcción de tuberías, plantas de tratamiento, entre otras). En cada celda de la matriz se coloca un valor (de 0 a 3) que representa la capacidad que tiene dicha actividad de perturbar a ese componente del ambiente, de acuerdo al criterio considerado.

Una vez que se tiene la matriz completamente llena, se procede a sumar por filas todas las puntuaciones obtenidas por actividad, con el fin de obtener el sub-total para cada medio (físico, biótico y socioeconómico) que será almacenado en la última columna. Luego, para cada actividad se suman los tres sub-totales de cada medio para obtener el valor total de la perturbación, con el fin de identificar las actividades del proyecto que causan una mayor perturbación y por ende se conocerán los efectos más sobresalientes de todo el proyecto.

3. La metodología utilizada por Consultores OTEC (1996:5-3) para identificar los efectos de las actividades del proyecto sobre los medios físico-biótico y socioeconómico, es la construcción de una matriz de "identificación y encadenamiento de efectos". Dicha matriz consta de las siguientes cinco columnas: actividades del proyecto, acciones, efectos sobre el medio físico-biótico y el medio socioeconómico e impactos evaluados.

A esta matriz le acompaña una descripción de cada uno de los efectos identificados sobre el medio socioeconómico y el medio físico-biótico, para este último los efectos están discriminados en la fase de construcción y operación del proyecto.

B.1) Diagnóstico de la metodología empleada en la identificación de efectos

Este procedimiento se usa en los tres casos de estudio, el primer y tercer caso utilizan una metodología bastante similar, mientras que el segundo usa una metodología bastante diferente.

Las metodologías empleadas son: en el primer caso, se hace un análisis acción - causa - efecto, utilizando un flujograma de encadenamiento, además se presenta una explicación detallada de todos los efectos identificados sobre los diferentes medios, a excepción de los efectos relacionados con riesgos mayores o contingencias, los que cuentan con soluciones de manejo en el diseño del proyecto y los derivados de malas prácticas ingenieriles. En el tercer caso, se utiliza una matriz que resume las actividades del proyecto (discriminadas en fase de construcción y fase de operación), las acciones generadas, los efectos (sobre el medio físico-biótico y socioeconómico) y los impactos evaluados.

Ambas metodologías son válidas para llevar a cabo el proceso de identificación de los efectos, lo que se puede observar es que en los dos casos se presentan y declaran muy pocas causas generadas por las actividades del proyecto, y en consecuencia son muy pocos los efectos e impactos negativos identificados. De hecho, en el tercer caso de estudio solo se identifican dos impactos en la fase de construcción del proyecto y uno en la fase de operación. Esto se debe a que no existen criterios definidos en el procedimiento de selección de los efectos que serán considerados como impactos. Es así como en el primer caso de estudio se dice que estos fueron seleccionados de la siguiente manera: "se realizó un taller con especialistas en las diversas disciplinas del proyecto y con los descriptores del proyecto, donde se adoptaron criterios para tal decisión, los cuales fueron:

- El nivel de asociación del efecto con los procesos de intervención antrópica del medio,...
- El criterio de "Impacto primario"..." Este tipo de impacto es el que ocurre sobre un medio dado pero tiene repercusiones sobre otros medios.

En el tercer caso de estudio sencillamente se dice que "Una evaluación de los efectos que generará el PROYECTO sobre el medio permite identificar los siguientes impactos potenciales:..."

En el segundo caso de estudio los efectos reciben el nombre de grado de perturbación, y la metodología lo que hace es evaluar las actividades del proyecto basándose en tres criterios: tiempo, espacio y reversibilidad. Este análisis se realizó usando una matriz de doble entrada, donde las columnas representan los factores ambientales (físicos, bióticos y socioeconómicos) y las filas representan las actividades del proyecto divididas en dos fases, la de construcción y operación. Las intersecciones de las filas con las columnas representan "la capacidad que tiene una actividad de perturbar a ese componente del ambiente ...", se utiliza una escala de 1, 2 y 3 para cada criterio. La columna final es la sumatoria por fila de todas las puntuaciones obtenidas por una actividad, la cual permite determinar cuáles son las actividades con mayores efectos. De esta forma es posible determinar los agentes perturbadores de cada actividad sobre un factor ambiental dado. El problema que presenta este análisis, es que no se explica con detalle por qué son considerados ciertos agentes como perturbadores, sencillamente se hace una lista pero no se dan los criterios empleados para su selección.

C) Metodologías para la identificación y evaluación de impactos

Estas metodologías corresponden a las etapas 4 (Predicción de impactos) y 5 (Valoración de la importancia del impacto) del modelo de seis etapas de Canter (2000:188). El objetivo en estas etapas es utilizar toda la información disponible para identificar los posibles impactos del proyecto que se está analizando, para luego evaluar la intensidad de dichos impactos y determinar si son beneficiosos o perjudiciales para el medio físico-natural o socioeconómico que se vea afectado.

Identificación de impactos:

La identificación de impactos es un proceso que está cargado de mucha subjetividad y no existe una metodología clara de cómo hacer esta identificación. Para el caso de las tres EIA analizadas este paso se hace de la siguiente manera:

1. Para Geohidra (2001:6-6) este proceso de identificación se comienza una vez que se tienen identificados los efectos, se procede a seleccionar cuáles de ellos serán

evaluados como impactos ambientales. "Para decidir qué efecto puede ser evaluado como impacto se realizó un taller con especialistas en las diversas disciplinas del proyecto y con los descriptores del proyecto, donde se adoptaron criterios para tal decisión, los cuales fueron:

- El nivel de asociación del efecto con los procesos de intervención antrópica del medio, pues resulta muy difícil desligar su incidencia del contexto global de la perturbación...
- El criterio de "Impacto primario". Este tipo de impactos ocurre en la mayoría de los casos sobre el medio físico con repercusiones posteriores sobre el medio biológico o el hombre, las cuales son bastantes difíciles de evaluar..." (Geohidra, 2001:6-7).

2. Para los Consultores de Arborea, la identificación de los impactos se efectúa cuando se conoce el grado de perturbación (efectos) del proyecto sobre el medio, "el grupo consultor analizó los parámetros ambientales afectados y las actividades que causaban dicha afectación, identificando una serie de impactos ambientales con cierta posibilidad de ocurrencia en el área" (Arborea, 2001:5-15).

3. En la EIA elaborada por Consultores OTEC (1996:5-6), no se describe el proceso empleado para identificar los impactos, solo se afirma que "una vez identificados los efectos se puede concluir que muy pocos de ellos derivarán en impactos...". Como se puede observar no queda claro cuál es el procedimiento que les permite concluir esto.

Evaluación de impactos:

Esta evaluación se puede realizar utilizando métodos cuantitativos o cualitativos, dependiendo de la preferencia del grupo evaluador. Los métodos cuantitativos están basados en la ponderación de los impactos, mientras que los métodos cualitativos se basan en la valoración de los impactos. En el caso de las EIA analizadas, se utilizan estos dos tipos de métodos en la fase de evaluación de los impactos.

1. El método de Criterios Relevantes Integrados, es cuantitativo y se basa en la obtención del Valor de Impacto Ambiental (VIA) generado por las actividades del proyecto que han sido consideradas como impactos para el medio ambiente y humano. Dicho método utiliza cinco criterios de ponderación: Probabilidad, Intensidad, Extensión,

Duración y Reversibilidad, con el fin de obtener el VIA de cada actividad utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{VIA} = (\text{P} \times \text{W}_\text{P}) + (\text{I} \times \text{W}_\text{I}) + (\text{E} \times \text{W}_\text{E}) + (\text{D} \times \text{W}_\text{D}) + (\text{R} \times \text{W}_\text{R})$$

donde:

- P: Probabilidad. Expresa la posibilidad de que ocurra la afectación.
- I: Intensidad. Expresa la fuerza con que se manifiesta el proceso puesto en marcha.
- E: Extensión. Constituye la influencia espacial o superficial afectada por la acción.
- D: Duración. Expresa el lapso o tiempo que dura la perturbación.
- R: Reversibilidad. Constituye la posibilidad o dificultad para retornar a la situación inicial.
- W_i : Peso o ponderación asociado a cada uno de los cinco criterios de ponderación.

Las EIA realizadas por Geohidra (2001:6-8) y Consultores OTEC (1996:6-2) emplean esta metodología para evaluar los impactos, aunque difieren en la asignación de pesos a cada uno de los criterios de ponderación, y en la escala utilizada para el VIA.

2. La metodología utilizada por Arborea (2001:5-15) para la evaluación de los impactos es cualitativa, consiste en hacer una descripción detallada de cada uno de los impactos identificados. Para realizar dicha descripción, utilizan un formato que contiene la siguiente información:
 - Impacto: Identifica el impacto que se va a describir.
 - Etapas: Se refiere a la etapa del proyecto en la que se generará el impacto, en este caso puede ser en la etapa de construcción (de instalaciones o vías de acceso) o perforación de pozos (de desarrollo o reactivación).

- Procesos: son los procesos del proyecto que generan el impacto (por ejemplo, traslado de equipos, perforación del pozo, construcciones civiles y mecánicas, entre otras).
- Actividad: es la actividad del proceso en el cual se podría manifestar el impacto (por ejemplo, deforestación, movimientos de tierra, manejo de lodos y desechos, entre otras).
- Receptor: es el componente del ambiente que recibe el impacto que se está describiendo.
- Criterios de Evaluación tanto para la etapa de perforación como para la etapa de construcción: son los criterios utilizados para evaluar y calificar el impacto: carácter (positivo o negativo), duración (temporal, corto plazo, mediano plazo, largo plazo, permanente), probabilidad (alta, media, baja) y extensión (puntual, local, regional).
- Impactos indirectos: describe los efectos secundarios asociados al impacto descrito que se producen sobre otros componentes del ambiente.
- Descripción: es la interpretación del impacto, además se indican las unidades espaciales donde podría ocurrir tanto el impacto directo como el indirecto.

C.1) Diagnóstico de la metodología empleada en la evaluación de impactos

La metodología empleada en el primer y tercer caso de estudio es la misma, denominada método de "Criterios Relevantes Integrados". En la aplicación de esta metodología se pudo observar lo siguiente:

Primer caso de estudio: La metodología esta aplicada y desarrollada de una forma muy técnica, teniendo como base información apropiada. Aunque:

- ✓ No se explica la asignación de los pesos porcentuales a cada criterio de valoración, pareciera que se utilizan valores estándar establecidos con anterioridad.
- ✓ Se utiliza un umbral matemático para la aplicación de medidas preventivas, mitigantes o correctivas, igual a 4.6, existiendo dos explicaciones para este valor, la primera es que fue tomado de forma arbitraria y la segunda dice textualmente "El valor de 4.6 surge al promediar un impacto de intensidad fuerte (10) con otro

completamente irreversible (10), ambos con mediana probabilidad de ocurrencia (5) y colocando los otros criterios, valor mínimo (2)", lo cual no pudo ser comprobado. Esto debería tener una explicación técnica, ya que de dicho umbral es crucial en la decisión de que sí los impactos que están siendo evaluados ameritan la aplicación de medidas o no.

- ✓ En la mayoría de los casos no se hace el análisis de los resultados del proceso de valoración de los impactos.

Tercer caso de estudio: La aplicación de la metodología está muy cargada de subjetividad y además se observa que:

- ✓ No se utilizan pesos para los criterios de valoración de los impactos, se asume que todos tiene "la misma importancia relativa".
- ✓ Una vez que se realiza la valoración de los impactos y se obtiene su VIA, se utiliza una escala de clasificación de los impactos en muy alto, alto, moderado y bajo, que no se explica porque fue tomada de esa manera.
- ✓ La valoración de cada criterio no está fundamentada en ningún tipo de información técnica o previa.

Con respecto al segundo caso de estudio, la metodología empleada para la valoración de los impactos es cualitativa, es decir no se obtiene un VIA para determinar si el impacto es significativo o no.

4.2.3.2 Carencia de Información y presencia de afirmaciones no sustentadas

Es común encontrar en las EIA consultadas como justificación del por qué no realizan la evaluación de cierto aspecto ambiental, la carencia o ausencia de información. Estas expresiones se encuentran en diferentes etapas de la EIA, como por ejemplo:

"...el análisis no consideró las afectaciones asociadas a la contaminación del suelo y a la afectación de la atmósfera local, debido a que: En relación con la afectación de la atmósfera local, no se dispone de información suficiente de la calidad del aire de la zona, como para formular un diagnóstico inicial que sirva de soporte al análisis" (Geohidra, 2001:4-8). No se justifica que no se haga un análisis de un medio porque no se tiene información, en este

caso estarían obligados a obtener la información que requieran para llevar a cabo el análisis.

"Por otra parte, en virtud de que la información existente y disponible no garantiza resultados de evaluación de más detalle, los niveles de valoración considerados en el análisis de sensibilidad del medio hidrológico están referidos a tres escalas, baja, media y alta" (Geohidra, 2001:4-11). Igual que en el caso anterior, si la información que poseen no es lo suficientemente buena o detallada, están obligados a buscarla.

"... los dos últimos impactos antes señalados no han sido evaluados por falta de información precisa del proyecto, lo que conlleva a medidas tendientes a dicha información" (Geohidra, 2001:6-11). Esta afirmación ni siquiera es clara, pareciera decir que buscarán la información pero no dicen en qué momento lo harán. Están dejando a un lado dos impactos porque no tienen la información que les permita evaluarlos.

También es muy común encontrar afirmaciones que no están sustentadas, sino que parecen juicios de valor:

"Adicionalmente muchas especies están adaptadas a estos procesos de intervención antrópica (tal, es el caso de ciertas especies de aves)" (Geohidra, 2001:6-34).

"En base a este análisis, todas las comunidades serán afectadas puntualmente, pues en ninguno de los casos las superficies de afectación superan el 1%" (Geohidra, 2001:6-30).

"Por la distancia a los centros poblados, los ruidos producidos en las instalaciones no constituirán un impacto ambiental significativo" (Arborea, 2001:5-26).

"La actividad turística en el norte del Estado se ha incentivado por el crecimiento de la población" (Arborea, 2001:5-31).

"La aplicación de modelos de simulación para determinar los niveles de dispersión en las emisiones dio como resultado valores que se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por la norma ambiental" (Consultores OTEC, 1996:6-14).

Ninguna de las cinco afirmaciones anteriores está respaldada, ni por referencias, gráficos o aplicación de ecuación. Por ejemplo, para el caso de los ruidos, pueden respaldar tal afirmación haciendo uso de una ecuación que existe para medir la magnitud del ruido que llega hasta una población. Cuando se habla del uso de modelos de simulación para

determinar modelos de dispersión, no se menciona cuál es el modelo, ni se anexan los resultados de dicha simulación.

4.2.3.3 Subjetividad en la Información utilizada

La subjetividad presente en la evaluación de los impactos es inherente al proceso, ya que esta sujeta a la experiencia y conocimiento de especialistas en diferentes áreas. La idea es tratar de validar las opiniones emitidas por los especialistas, utilizando, cuando sea posible, información que avale la interpretación que se esté haciendo o la conclusión a la que se esté llegando. En el caso de las EIA estudiadas se presentan muchas afirmaciones y explicaciones que están muy cargadas de subjetividad y se considera que en la mayoría de estos casos es posible minimizarla, ya que no forman parte de la etapa de evaluación del impacto, en la cual la presencia de subjetividad es inevitable.

Dicha subjetividad está presente en:

- Establecimiento de las diferentes escalas de valoración de efectos y evaluación de impactos. Estas escalas pudieran establecerse y ser las mismas para todas las EIA.
- Los pesos asignados a cada atributo de los parámetros compuestos se hace a "juicio del especialista" y podrían variar de acuerdo "a las premisas de valoración que establezca el especialista". Estos pesos podrían estar preestablecidos para diferentes casos de acuerdo a la unidad o variable ambiental que se esté evaluando y no quedaría sujeto al criterio de la persona que esté haciendo el estudio. Lo ideal sería reunir a varios expertos para unificar criterios con respecto a la asignación de pesos, con el fin de garantizar mayor justicia e idoneidad.
- Una vez que se identifican los efectos de las actividades, se pasa a la selección de cuál de ellos podría ser considerado como un impacto. Esta selección es un paso muy importante en las EIA y es totalmente subjetiva, y en la mayoría de los casos se consideran muy pocos impactos, ya que son los dueños del proyecto quienes deciden qué efectos considerarán como impactos y cuales no.
- En los análisis de sensibilidad de cada medio, no están establecidas las variables ambientales que se deben considerar, cada EIA trata con las variables que "consideran

relevantes en el área de estudio". Igual sucede con la escogencia de los parámetros indicadores para valorar los atributos de sensibilidad.

4.2.3.4 Inconsistencias

Las conclusiones a las que se llegan muchas veces no son correctas o tienen errores, como por ejemplo ocurre en el primer caso de estudio, "el área diagnosticada como de alta sensibilidad representa el 48% del área total del proyecto... El área de sensibilidad media representa el 2% del área total del proyecto.... Los valores de muy baja sensibilidad representan el 1.07% del área total del proyecto" (Geohidra, 2001:4-48). Estos porcentajes suman un total de 51.07% del área total del proyecto y no se dice nada del 49% restante.

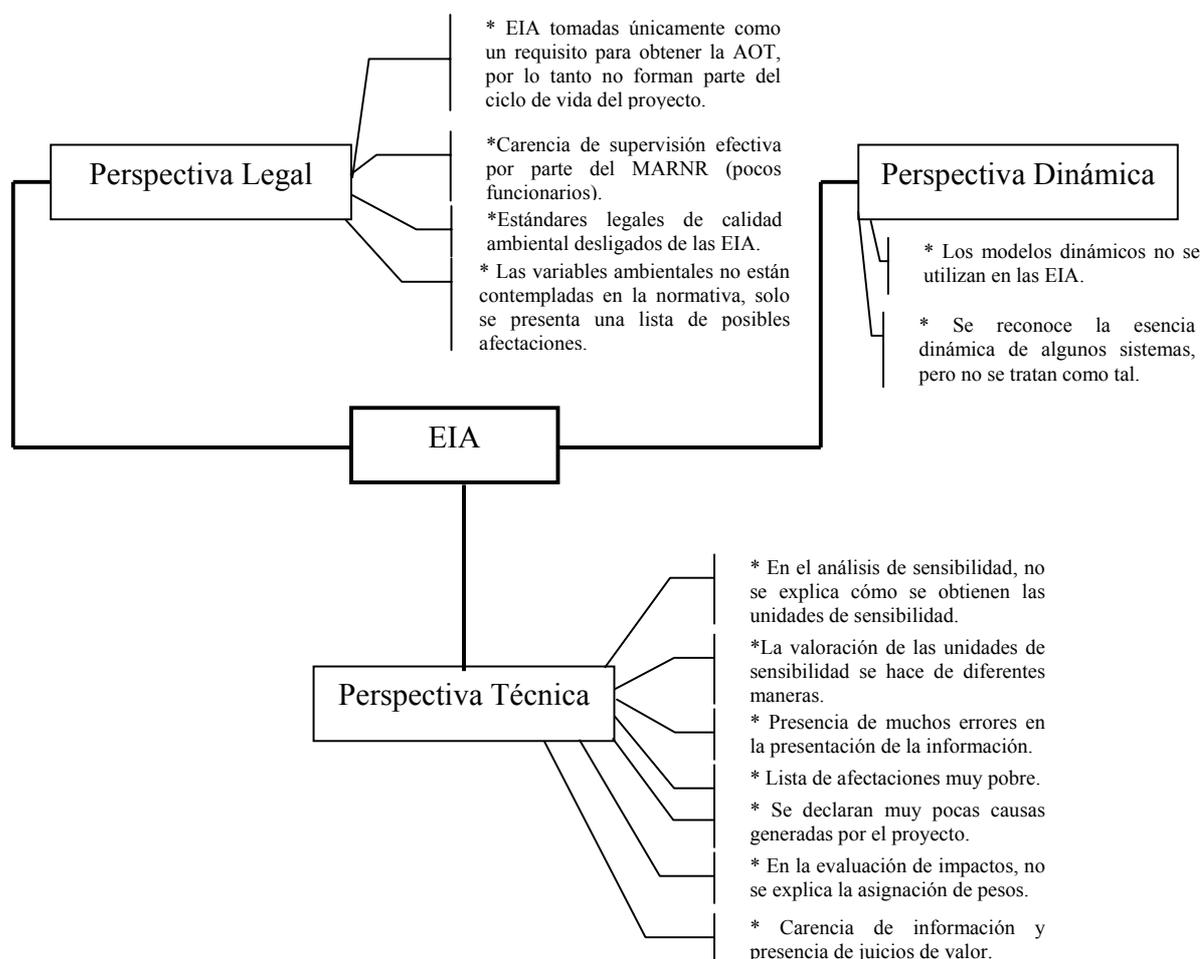
Otro problema de este tipo se presenta en el segundo caso de estudio cuando se dan los resultados de la valoración de las unidades de sensibilidad, se presentan las siguientes categorías de sensibilidad ambiental con sus respectivos porcentajes del área total del proyecto: sensibilidad muy alta 27%, alta 22%, media 14% y baja 37%. Entonces se dice: "El 37% del Área Onado posee un grado de sensibilidad ambiental Baja; es la fracción más amplia del territorio estudiado..." (Arborea, 2001:4-6). Esto no es cierto ya que si se está valorando la sensibilidad ambiental, se debe poner atención a las unidades más sensibles que en este caso suman un 49% del área total de proyecto al agrupar las categorías de sensibilidad muy alta y alta.

En este mismo estudio se encuentran las siguientes descripciones de impacto que son contradictorias: "No se tiene previsto ejecutar ninguna actividad en el área de protección de morichales." (Arborea, 2001:5-20), y más adelante se encuentra esta otra declaración: "Los espacios abiertos, las vistas panorámicas, los ecosistemas especiales como los morichales, pueden verse afectados por la perforación de pozos, la construcción de ductos e instalaciones" (Arborea, 2001:5-33).

4.2.4 Resumen del Diagnóstico

El diagnóstico realizado a las EIA elaboradas para las actividades petroleras en Venezuela, se puede resumir en el esquema de la figura 8, el cual comprende las

perspectivas bajo las cuales se llevó a cabo dicho diagnóstico y los aspectos más importantes que se destacaron en este análisis.



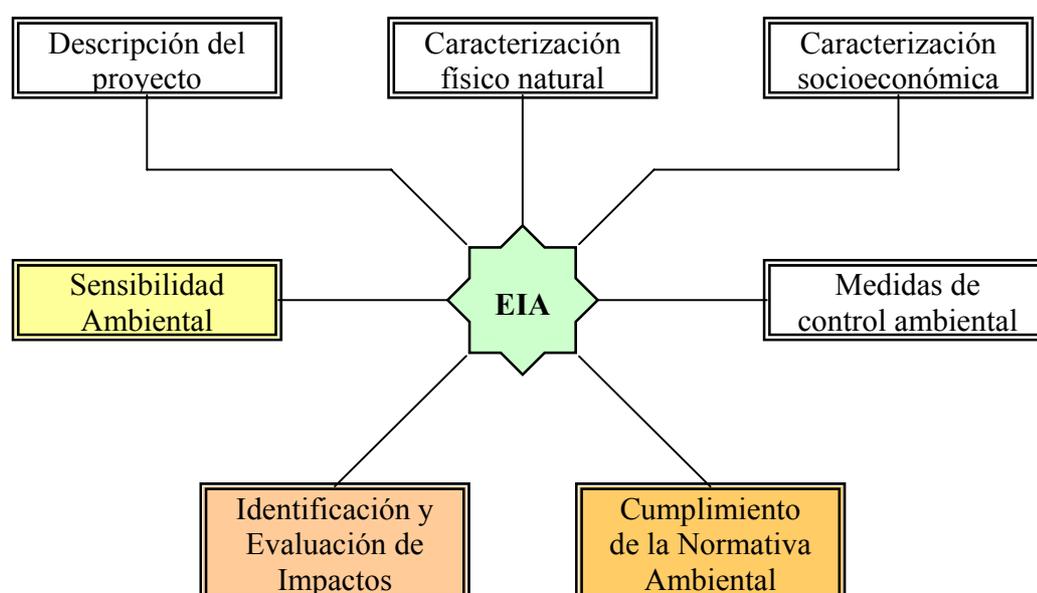
Fuente: Propia

Figura 8. Resumen del diagnóstico

4.3 Propuesta

La presente propuesta tiene como objetivo proporcionar la manera cómo sería posible mejorar las EIA que se hacen en Venezuela, para proyectos de explotación y producción petrolera. Esta mejora está basada en a) la revisión de un conjunto de EIA consignadas por los responsables de cada proyecto en el MARNR de la ciudad de Maturín, y b) el análisis de tres EIA que dio como resultado el diagnóstico presentado en el punto anterior.

En la figura 9 se muestran todos los aspectos que son tomados en cuenta en las EIA realizadas en Venezuela, esta estructura responde a lo exigido en el cuestionario ambiental estipulado en el Decreto 1257 y explicado en detalle en las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos*. Los aspectos que están siendo objeto de análisis con el fin de proponer una mejora son: la Sensibilidad Ambiental y la Identificación y Evaluación de Impactos. Con respecto a los aspectos legales, solamente se hizo el análisis en función del cumplimiento de la normativa vigente en materia ambiental, ya que no es viable proponer una reforma de alguna Ley o Decreto vigente.



Fuente: Propia

Figura 9. Aspectos que conforman una Evaluación de Impacto

4.3.1 Sensibilidad Ambiental

Este análisis de sensibilidad ambiental no forma parte de las estructuras de contenido utilizadas usualmente en las EIA. Canter (2000:188) propone un modelo formado por seis actividades que describe cómo llevar a cabo el proceso de predicción y evaluación de impactos sobre los medios atmosférico, biótico, acuático, cultural, entre otros. Ninguna de estas etapas contempla la realización de un análisis de sensibilidad, tal y como el que se

desarrolla en las EIA consultadas. Este análisis es de particular importancia, porque describe el grado de sensibilidad de un área, bosque, ecosistema, especie animal, entre otras, permitiendo prestar mayor atención a las que resulten ser más sensibles a las actividades que forman parte de un proyecto.

La figura 10 describe dónde se ubica el análisis de sensibilidad ambiental dentro del proceso de identificación y evaluación de impactos, y cuáles son los resultados obtenidos a partir de dicho análisis. Una vez que se ha elaborado la caracterización físico-natural y socioeconómica del área donde se llevará a cabo el proyecto, se procede a elaborar el análisis de sensibilidad con el fin de obtener las variables y unidades de sensibilidad ambiental, que son susceptibles a sufrir cambios o alteraciones debido a las actividades del proyecto y que deben ser tratadas con cuidado en las siguientes fases de la EIA.

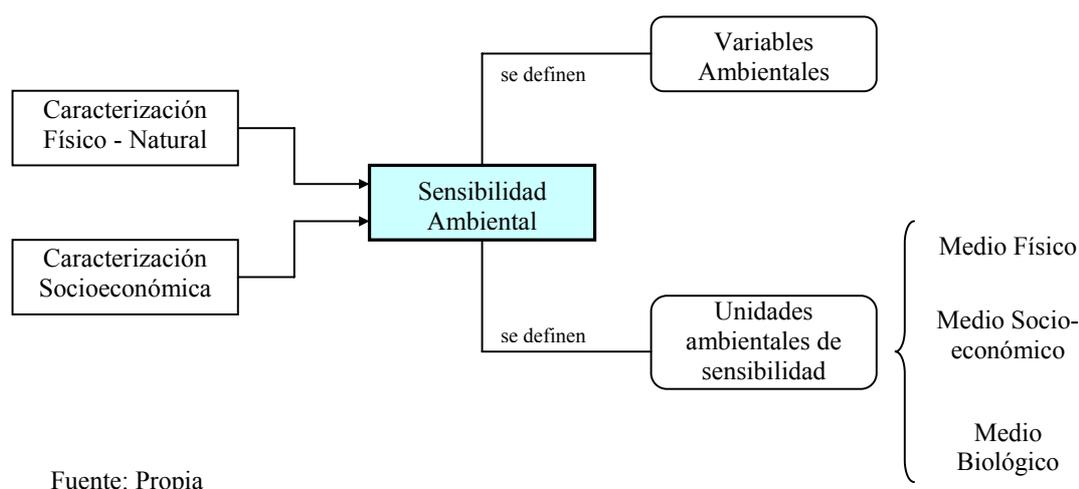
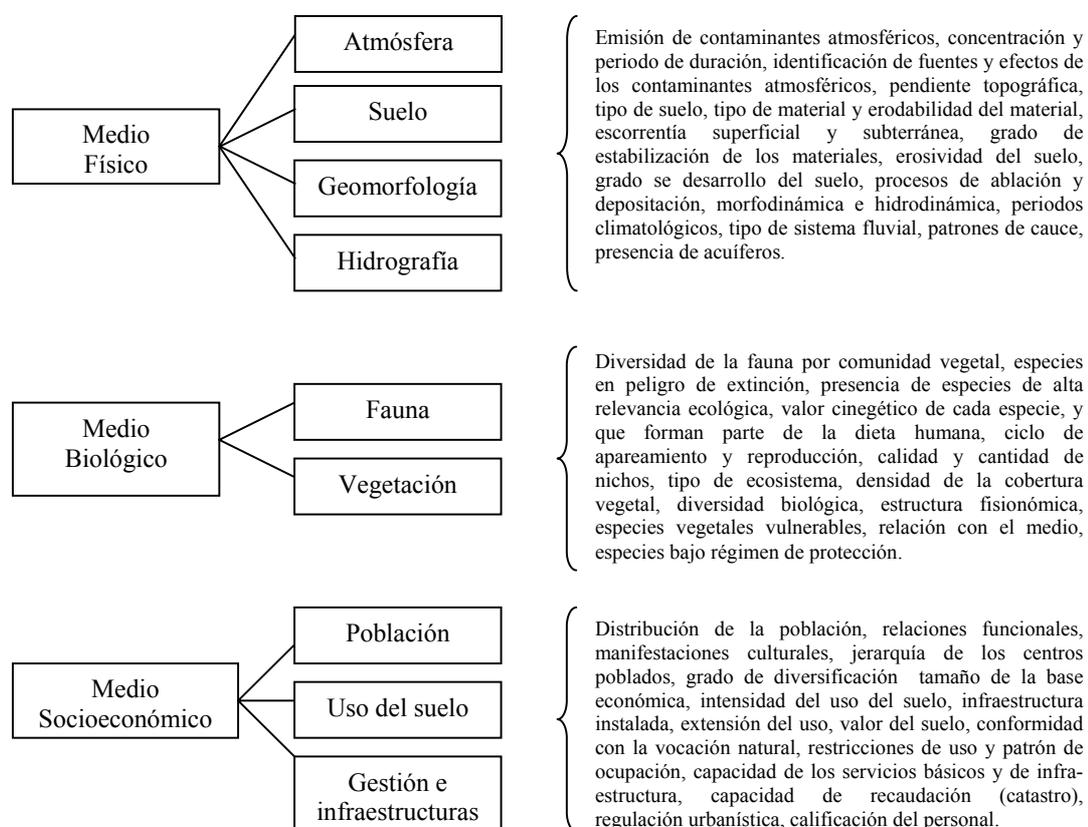


Figura 10. Proceso de Sensibilidad Ambiental

Para llevar a cabo un análisis de sensibilidad que responda a los requerimientos del cuestionario ambiental de las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos*, se propone:

1. Definir las unidades de sensibilidad ambiental discriminadas por el medio al que pertenezcan, y que se encuentren dentro del área donde se ejecutará el proyecto. Los

medios descritos en las EIA son el físico, biológico y socioeconómico, los cuales a su vez están conformados por diferentes elementos como se muestra en la figura 11. Cada uno de estos elementos se clasifica de acuerdo 1) al criterio de los especialistas que estén llevando a cabo la EIA y 2) a las características del área geográfica donde se ubicará el proyecto. Algunos de los criterios que se pueden utilizar, también se muestran en la figura 11.



Fuente: Propia
Contenido: Canter, 2000

Figura 11. Elementos que conforman cada medio y criterios para la definición de las unidades de sensibilidad

2. Utilizar índices e indicadores ambientales que describan el medio afectado, con la finalidad de obtener el grado de sensibilidad de cada una de las unidades definidas en el

punto anterior. Algunos ejemplos de estos indicadores se muestran en la figura 12, discriminados por medio.

3. Cuando sea posible se debe utilizar un método cuantitativo de valoración de las unidades de sensibilidad. Los atributos ecológicos que permiten medir el grado de sensibilidad de un recurso ambiental, al ser afectado por una actividad que forme parte del proyecto petrolero que se esté evaluando, son:

- La resistencia: mide la capacidad de un recurso natural de ser afectado y no alterar significativamente sus características, condiciones y funcionamiento.
- La reversibilidad: mide la capacidad que tiene un recurso de retornar a su estado inicial una vez que ha finalizado la afectación.
- La relevancia ambiental: mide la importancia relativa que tiene un recurso para otros elementos del sistema natural o para el hombre.

Estos atributos ecológicos miden tres capacidades que tiene todo recurso natural y que lo hace ser más o menos sensible ante una afectación producida por actividades antrópicas.

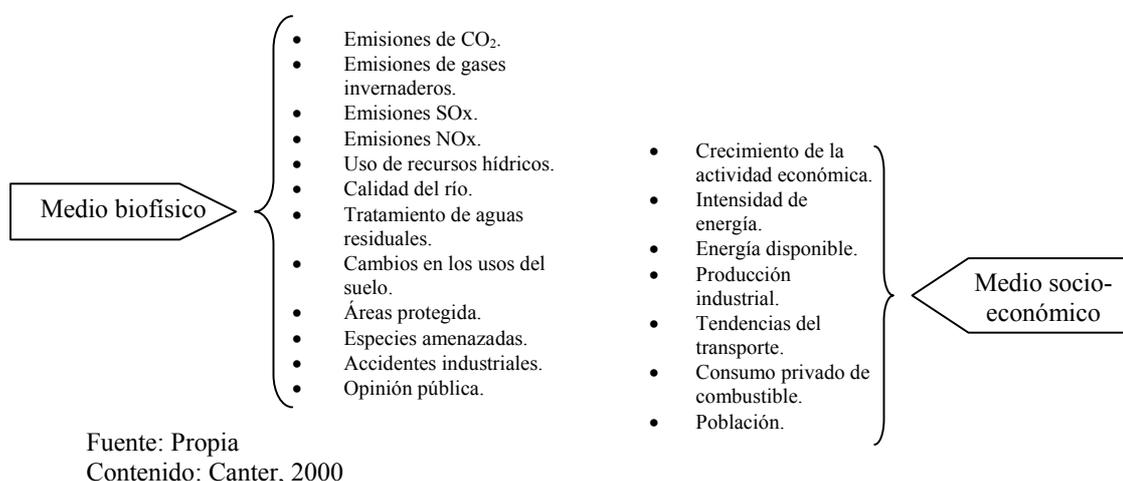


Figura 12. Algunos Indicadores ambientales

Al realizar la valoración de las unidades de sensibilidad, es importante tener cuidado con la utilización de escalas y la asignación pesos cuando se está trabajando con parámetros compuestos. Dicha asignación debe ir acompañada de una explicación sencilla, pero

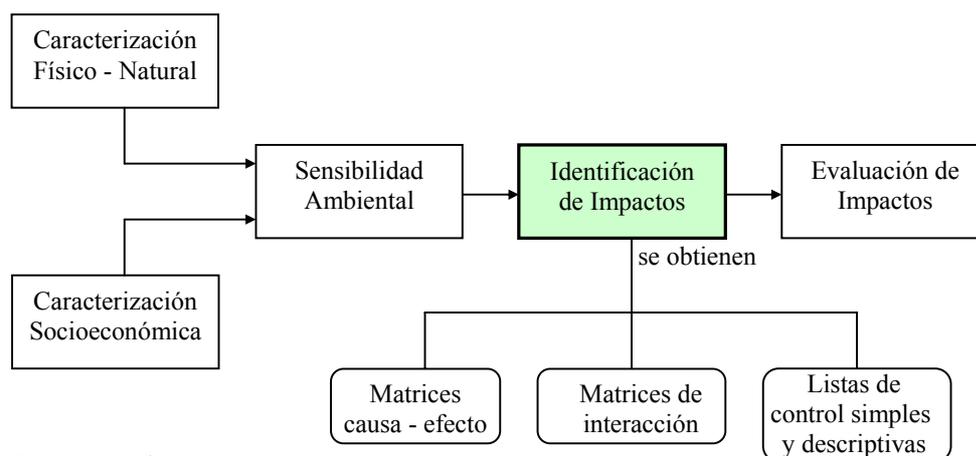
detallada, de los criterios o aspectos que se tuvieron en cuenta. Igualmente, debe hacerse una síntesis o conclusión final acerca de la sensibilidad una vez que se termina de valorar cada uno de los medios antes mencionados

4. Una vez que se ha llevado a cabo la valoración de las unidades de sensibilidad, es posible hacer una lista de las posibles afectaciones producidas por las actividades que forman parte del proyecto objeto de evaluación. Esta lista debe tomar en cuenta las unidades cuya sensibilidad esté en la categoría de Alta y Media, con el fin de obtener los efectos producidos en dichas unidades. Además se deben revisar las listas de afectaciones estándar que existen en la literatura, para cada tipo de proyecto petrolero, con el objetivo de comparar si no se han tomado en cuenta algunas afectaciones que ciertamente podrían ocurrir. Por ejemplo, Canter (2000:90) presenta una tabla de las posibles alteraciones ambientales que pueden ocurrir como resultado de las actividades de la industria petrolera, también presenta una matriz de impactos potenciales para este mismo tipo de actividades.

4.3.2 Identificación de Impactos

La identificación de impactos es una etapa clave en el proceso de elaboración de una EIA (figura 13), como se explicó en el capítulo anterior, existen diversos métodos que se utilizan para llevar a cabo este proceso de identificación, entre los que se destacan las matrices, diagramas de redes y listas de control. No existe una fórmula precisa para determinar cuál es el mejor método que se puede utilizar de acuerdo al proyecto que se esté evaluando, esta decisión queda a criterio de los encargados de elaborar la EIA. Investigaciones en este tema, presentan algunas características deseables del método que finalmente se adopte para identificar los impactos. Dicho método debe comprender los siguientes aspectos: (1) debe ser adecuado a las tareas que se deben realizar, ya que no todos los métodos tienen la misma utilidad para todas las tareas; (2) debe ser lo suficientemente independiente de los puntos de vista personales del evaluador y sus sesgos (es posible poder reproducir los resultados independientemente del grupo evaluador que los obtenga), y (3) debe ser económico en términos de costes y requerimientos de datos, tiempo de investigación, personal, equipo e instalaciones (Canter, 2000:72).

Canter (2000:188) hace un planteamiento metodológico para realizar la EIA de diferentes medios, y siempre incluye como primera etapa la identificación de los impactos del proyecto propuesto. En la figura 14 se muestran algunos de los métodos recomendados para identificar impactos de acuerdo al medio que se esté evaluando.



Fuente: Propia

Figura 13. Proceso de Identificación de Impactos

Para llevar a cabo este proceso de identificación de impactos se propone seguir la siguiente serie de pasos (ver figura 15), partiendo del hecho que se tienen definidas las unidades de sensibilidad ambiental y la caracterización de los medios físico, biótico y socioeconómico:

1. Identificar el medio a ser evaluado.
2. Hacer una revisión bibliográfica con el fin de realizar un estudio de proyectos o casos similares al que se esté evaluando, ya que esto puede ayudar a la identificación de impactos.
3. Seleccionar el método que se va a utilizar para identificar los impactos, siguiendo las recomendaciones de expertos en el área y tomando en cuenta los recursos disponibles para tal fin.
4. Aplicar el método seleccionado e identificar los impactos para cada actividad que forme parte del proyecto.

Identificación de Impactos sobre el medio...	Ambiente Atmosférico	<ul style="list-style-type: none"> * Identificar los tipos y cantidades de contaminantes atmosféricos (CA) emitidos. * Usar factores de emisión. * Elaborar una lista de control de las actividades del proyecto que puedan generar CA. 	Sonoro	<ul style="list-style-type: none"> * Identificar los niveles de ruido asociados a las actividades del proyecto. * Usar los estándares de emisión de ruido presentes en la ley. * Usar modelos para la predicción del nivel de ruido para fuentes puntuales y lineales.
	Aguas Superficiales	<ul style="list-style-type: none"> * Uso de matrices de interacción simples. * Uso de listas de control para identificar materiales que puedan contaminar las aguas superficiales. * Hacer revisiones bibliográficas de proyectos similares. 	Ambiente Cultural	<ul style="list-style-type: none"> * Usar un Sistema de Información Geográfica (SIG): sobre un mapa base se van superponiendo mapas que identifican la naturaleza y dimensión de los impactos provocados por el proyecto.
	Suelo y Aguas Subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> * Buscar y utilizar información bibliográfica de proyectos similares al que se evalúa. * Usar árboles de impacto o redes para describir los impactos. * Usar listas de control para identificar contaminantes. 	Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> * Para definir los impactos visuales asociados al proyecto, se deben realizar visitas a proyectos de aspecto similar. * Revisión bibliográfica. * Revisiones de EIA de proyectos similares y discusión con profesionales pertinentes.
	Socioeconómico	<ul style="list-style-type: none"> * Se pueden usar métodos matriciales, redes de interacción, listas de revisión simples o descriptivas. * Pueden ser útiles casos de estudio de proyectos similares. 	Biótico	<ul style="list-style-type: none"> * Hacer un estudio de casos de proyectos similares. * Se pueden usar matrices de interacción, redes o listas de control simple o descriptivas. * Se puede usar el sistema o procedimiento de valoración del hábitat.

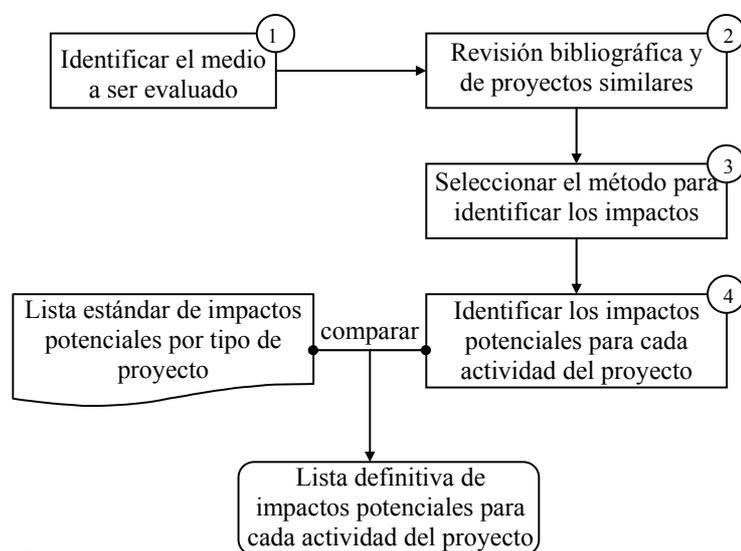
Fuente: Propia
Contenido: Canter, 2000

Figura 14. Métodos utilizados en la identificación de impactos ambientales de acuerdo al medio que se esté evaluando

5. Comparar los impactos identificados en el paso anterior con los estándares existentes en la literatura para el tipo de proyecto que se evalúa, y si es el caso incluir los impactos que no se hayan tomado en cuenta, con el objetivo de obtener la lista definitiva de potenciales impactos del proyecto.

4.3.3 Evaluación de Impactos

La evaluación de impactos básicamente trata de cuantificar, si es posible, los impactos potenciales del proyecto sobre diferentes factores ambientales. En el caso de no ser posible la cuantificación, se procede a hacer evaluaciones cualitativas haciendo uso de descripciones. Canter (2000:268) recomienda cuantificar tantos impactos como sea posible, porque al hacerlo, frecuentemente se determina que las preocupaciones relacionadas con los cambios potenciales no son tan grandes como parecían, cuando no estaban cuantificados.



Fuente: Propia

Figura 15. Procedimiento para la Identificación de Impactos

Sin embargo, muchos impactos no se pueden cuantificar porque no se poseen recursos económicos o humanos que permitan llevar a cabo esta tarea. Por esto los expertos en el área deben utilizar su mejor juicio y experiencias para hacer la evaluación cualitativa de los impactos, la cual puede, en muchas ocasiones, basarse en la utilización de proyectos similares para los cuales se dispone de información, y en estudios de casos relacionados.

En la figura 16 se muestran los métodos, tanto cualitativos como cuantitativos, ecuaciones, modelos matemáticos, listas de efectos, entre otros, que se utilizan para llevar a cabo la evaluación de los impactos en los diferentes medios que son considerados en una EIA.

Evaluación de Impactos sobre el medio...	Aguas Superficiales	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos matemáticos. • Ensayos de laboratorio. • Utilización de información parecida o análoga. • Método de los índices medioambientales (WQI: índice de calidad del agua). 	Sonoro	<ul style="list-style-type: none"> • Modelos simples predicción del nivel de ruido (emisiones de fuentes puntuales y lineales). • Modelos sencillos para fuentes específicas: ruido continuo e impulsivo, construcción, aeropuertos • Modelo matemáticos generales.
	Ambiente Atmosférico	<ul style="list-style-type: none"> • Balances de masa. • Modelos de caja. • Modelos matemáticos simples o detallados. • Análisis de riesgo-seguridad 	Ambiente Cultural	Para este medio no existen modelos para evaluar los impactos, lo que se hace es determinar el tipo de efecto que ocasionará el proyecto sobre los recursos culturales.
	Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> • Metodologías descriptivas, con el apoyo de fotografías. • Modelos a escala para representar el proyecto ubicado en el área. • Fotomontajes con variaciones estacionales donde se haya superpuesto el proyecto propuesto. • Simulaciones infográficas de las vistas del área de estudio • Métodos cuantitativos que describan la calidad visual de la zona en estudio en sus condiciones previas y con el proyecto. 	Suelo y Aguas Subterráneas	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos cualitativos: utilización de estudios similares. • Métodos cuantitativos simples: superposición de mapas (GIS), balance de masas, ecuación universal de pérdida del suelo, • Métodos cuantitativos específicos: índices empíricos (SIA), DRASTIC.
	Socioeconómico	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción cualitativa. • Descripción cuantitativa. • Técnicas específicas: modelos "caja negra" y modelos internamente descriptivos • Comparación relativa entre los efectos de las alternativas. 	Biótico	<ul style="list-style-type: none"> • Descripciones cualitativas de los impactos, usando listas de efectos potenciales sobre el medio biótico. • Métodos basados en el hábitat (HES y HEP). • Modelos de ecosistemas (ciclo de materia y balance de masas). • Modelos físicos: bioensayos, ensayos de toxicidad crónica, modelos de ecosistemas a escala. • Modelos de simulación.

Fuente: Propia
Contenido: Canter, 2000

Figura 16. Métodos utilizados en la evaluación de impactos ambientales de acuerdo al medio que se esté evaluando

En las EIA para proyectos petroleros revisadas para esta investigación, se observó el uso de algunos de los métodos, tanto cualitativos como cuantitativos, listados en la figura 16 para llevar a cabo la evaluación de los impactos potenciales de dichos proyectos. Como se describió en el diagnóstico, en la mayoría de las EIA revisadas en el MARNR de la ciudad de Maturín, el método que más se utiliza es Criterios Relevantes Integrados.

4.3.3.1 Uso de modelos de simulación en la evaluación de los impactos potenciales de un proyecto petrolero de explotación y producción.

Para la evaluación de los impactos se propone utilizar modelos dinámicos que describan el comportamiento de un medio, variable o factor ambiental a lo largo del tiempo, ante la presencia de un impacto potencial. Esta propuesta la presentan diferentes autores, entre ellos Canter (2000:456), afirma que al considerar los impactos del medio biótico es importante reconocer al medio ecológico-biótico como un sistema dinámico, por lo tanto se pueden utilizar modelos de simulación por ordenador, ya que estos incorporan la dinámica de poblaciones y conceptos de la cadena alimenticia.

Existen muchos tipos de modelos dinámicos que han sido utilizados en la predicción y evaluación de impactos sobre los diferentes medios, los cuales van desde sencillas ecuaciones hasta modelos matemáticos bastante complejos que requieren la aplicación de sofisticadas técnicas para obtener la solución analítica. Otra técnica aplicada en el proceso de tratar de entender lo que está sucediendo en el sistema ambiental objeto de estudio, es la simulación, la cual proporciona resultados muy buenos que permiten entender las relaciones existentes entre las variables del modelo que se está simulando.

Canter (2000) presenta una extensa lista de modelos matemáticos discriminados por medio, que se utilizan en la etapa de predicción de impactos, además proporciona las referencias a dichos modelos. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), es uno de los principales organismos que ha desarrollado una amplia gama de modelos que se pueden utilizar en la EIA, siendo posible tener acceso gratuito a algunos de estos modelos. Lo que vale la pena destacar en este punto, es que estos modelos "prefabricados" pueden ser demasiado complejos, requiriendo conocimientos y datos muy específicos para su aplicación. Por esto su utilización y aplicación está restringida para aquellas personas especialistas en el área, ya que es necesario entender muy bien el modelo para que sea posible calibrarlo y adaptarlo a la realidad venezolana.

A diferencia de los modelos citados anteriormente, los modelos de Dinámica de Sistemas pueden ser desarrollados para situaciones específicas que se puedan presentar en la elaboración de una EIA, usando información y datos que tenga a mano el investigador. En ausencia de dichos datos, se pueden plantear relaciones útiles que describan el

comportamiento dinámico del sistema que se está modelando, basándose en el conocimiento experto y en valores encontrados en la literatura.

En las EIA lo que se desea analizar es el comportamiento, a lo largo del tiempo, del sistema ambiental que se está modelando, ante la presencia de un efecto ocasionado por una actividad que forme parte del proyecto que se quiere llevar a cabo, con la finalidad de tener una idea del grado de afectación e intervención del sistema ambiental presente en el área a ser ocupada por dicho proyecto.

A continuación se presenta una serie de ejemplos de modelos dinámicos que se pueden usar para evaluar la ocurrencia de un impacto a lo largo del tiempo, sobre diferentes medios.

Primer Ejemplo: Dinámica Poblacional.

Este ejemplo trata la dinámica de una especie animal, y fue seleccionado debido a que las EIA que se llevan a cabo en Venezuela para las actividades de explotación y producción de petróleo, deben contener una descripción de los efectos potenciales del proyecto sobre los aspectos físico-naturales, entre los que se encuentra la "alteración de poblaciones de animales", según lo establecen las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos* (1996b). Además, como se mencionó en el capítulo anterior, las actividades de explotación y producción de petróleo son una fuente de sustancias tóxicas, que pueden afectar a las poblaciones animales cuyos hábitats se encuentren ubicados dentro o cerca del área que ocupa un proyecto de este tipo.

Este modelo también incluye la posible ocurrencia de un impacto imprevisto, que puede ser muy útil para evaluar las medidas de mitigación que se tengan previstas.

Modelo. Este ejemplo muestra el efecto que tiene la ocurrencia de un impacto sobre la población de una especie animal. Se basa en la descripción de Goodman (1974:145) acerca del crecimiento y regulación de una población ecológica, en la que se sugiere que las poblaciones poseen mecanismos de autoregulación, con el fin de evitar la destrucción de su propio ambiente y por ende su propia destrucción. En la figura 17 se muestra el diagrama causal propuesto por Goodman (1974:145), del crecimiento de una población.

El desarrollo de este modelo en VENSIM, se basó en el modelo de Lei Lei y Nathaniel Choge (2001) sobre una población de pingüinos. Es un modelo muy sencillo que muestra la dinámica de la población de una especie animal ante los efectos de un impacto, tanto imprevisto como contemplado en la declaración de los impactos.

Para el caso de las actividades petroleras, un impacto imprevisto podría ser la ocurrencia de un derrame de petróleo, un escape de gas, la explosión de una planta, entre otras. Estos casos son contemplados en el modelo como la ocurrencia de una catástrofe, que ocasiona muertes en la población animal afectada y por ende una disminución en su tamaño, que en casos muy graves puede exterminarla por completo.

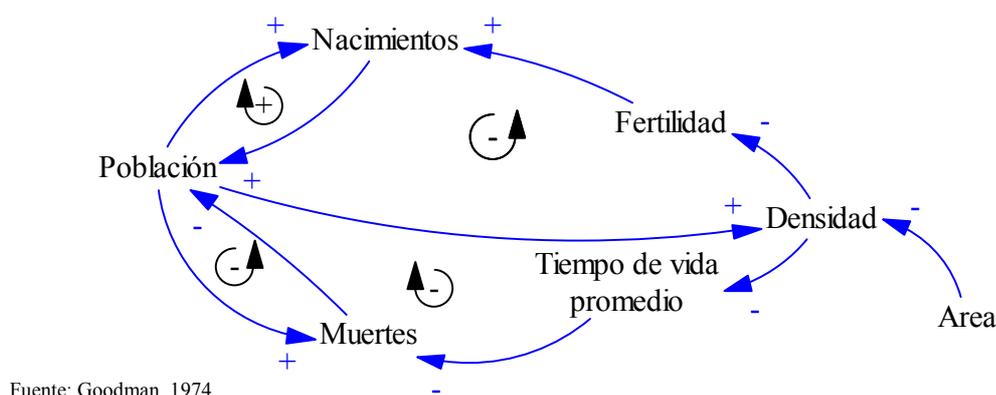


Figura 17. Diagrama causal del crecimiento de una población

Con respecto a los impactos identificados ocasionados por una actividad que forma parte del proyecto que se está evaluando, es muy común afectar el área que sirve de hábitat para la especie animal cuando se está en la fase de construcción, ya que es en esta etapa que se procede a intervenir el espacio físico natural que ocupa la especie animal, haciendo una reducción parcial o total de dicha área. Por esto, el modelo contempla la variable área, que sirve para reflejar estos casos y simular el comportamiento de la población ante una reducción del espacio físico que ocupa.

En la figura 18 se muestra el modelo elaborado en VENSIM, la descripción de las variables y ecuaciones empleadas se presenta en el anexo 1. La simulación se realiza para un horizonte de 25 años y el objetivo es observar el comportamiento de la población

animal, cuando se ve afectada por un impacto imprevisto (catástrofe) o una disminución del espacio físico que ocupa por naturaleza.

Los valores de todas las variables del modelo se pueden ajustar a la especie animal que se esté estudiando, tales como tasa de natalidad y mortalidad, densidad, el área que ocupa el hábitat de la especie y tamaño de la población inicial.

El comportamiento de la población, mientras no ocurra ni una catástrofe ni una afectación al área que ocupa, se mantiene constante a lo largo de los 25 años, es decir, no existen variaciones significativas en el tamaño de la población ya que permanece muy cercana a su valor inicial.

Simulaciones.

1. Ocurrencia de un impacto.

Este evento se modela haciendo uso de una tasa que indica la cantidad de individuos que salen de la población (muertes) por año, como resultado de la ocurrencia de un impacto imprevisto. Para el caso de esta simulación se supone que la población inicial de la especie esta conformada por 800 individuos, y la ocurrencia del impacto ocasiona la muerte de la mitad de la población. Este impacto ocurre en el quinto año de la simulación y tiene la duración de un año. Como ya se mencionó, todos estos valores pueden ser adaptados al caso que se esté estudiando.

En la figura 19 se muestra el resultado de este experimento. Como se puede observar en esta figura, la población de esta especie animal luego de ocurrido el impacto imprevisto tarda aproximadamente 20 años en recuperarse y volver a las condiciones que tenía antes de la ocurrencia de dicho impacto. Este modelo puede ser muy útil para estudiar los impactos cuando se están evaluando su duración y la reversibilidad del factor ambiental que recibe el impacto.

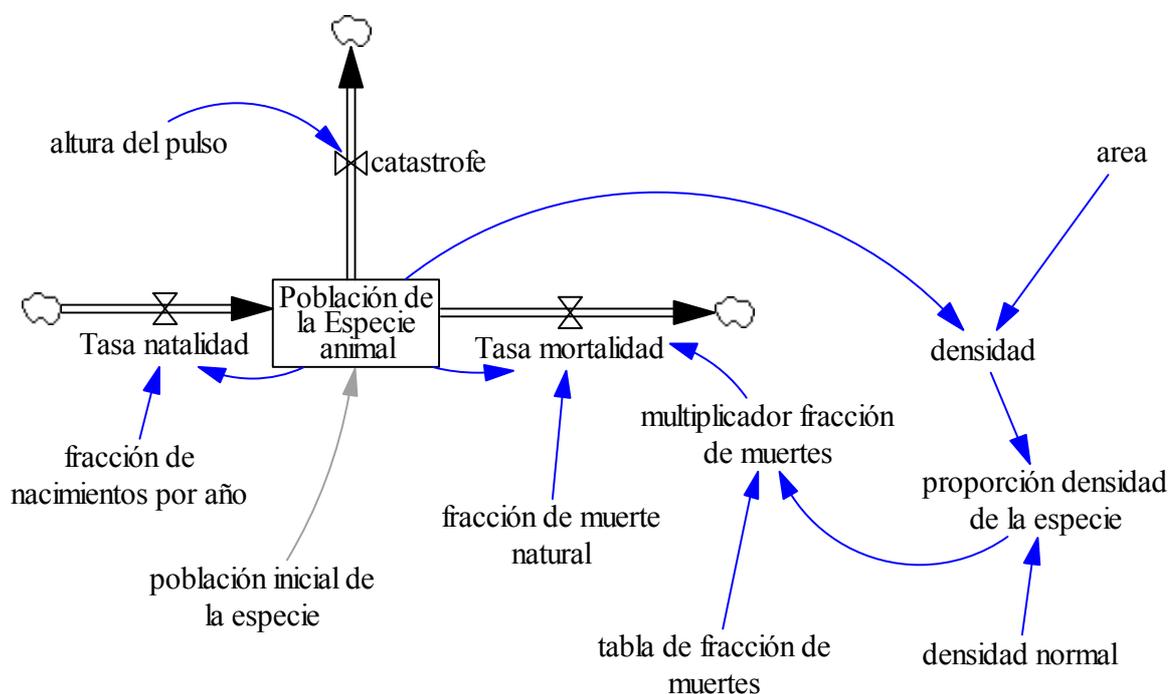


Figura 18. Modelo en VENSIM para el impacto en una población animal

2. Reducción del área que ocupa la población animal.

Es típico de la gran mayoría de los proyectos petroleros, tener que realizar la construcción de la infraestructura que soportará las tareas a llevarse a cabo en la etapa de operación, estas construcciones pueden ser de una planta (de diferentes tipos), un oleoducto, gasoducto, pozo de exploración o pozo de perforación por mencionar algunas. La construcción de estas estructuras implica la ocupación de un territorio que podría ser el hábitat de alguna especie animal, que se vería obligada a reducir su hábitat o emigrar hacia otros lugares.

El gráfico de la Figura 20 muestra el resultado de una simulación donde se reduce el área ocupada por la especie animal de 4 a 3.24 hectáreas, se puede observar como una reducción del hábitat de esta especie ocasiona una reducción de 800 a 640 individuos, la máxima caída ocurre en los primeros cinco años luego de ocurrido el impacto. Además se observa que la población no se logra recuperar, es decir no vuelve a tener la misma cantidad de individuos que poseía la población inicialmente, debido a que al reducirse el

área, la densidad de la población aumenta y no es posible mantener el mismo número de individuos.

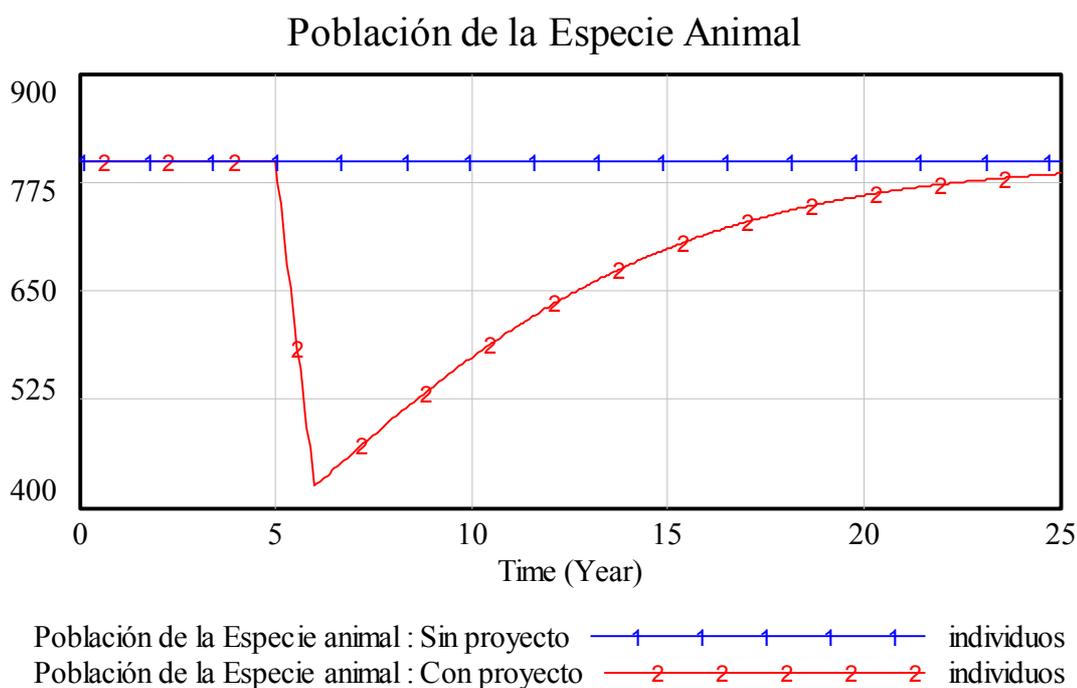


Figura 19. Simulación de la ocurrencia de un impacto sobre la población total de la especie

Adaptaciones de este modelo a casos particulares contemplados en una EIA de un proyecto petrolero, pueden utilizarse en la etapa de obtención de la sensibilidad ambiental de las unidades o variables ambientales presentes en el área de estudio, específicamente cuando se está evaluando el atributo ecológico denominado resistencia. De esta manera se puede obtener el grado de afectación a una especie animal, de una manera más objetiva y cuantitativa. Este modelo también se puede utilizar en la evaluación del criterio de valoración extensión, que mide la influencia espacial o superficie afectada por la acción.

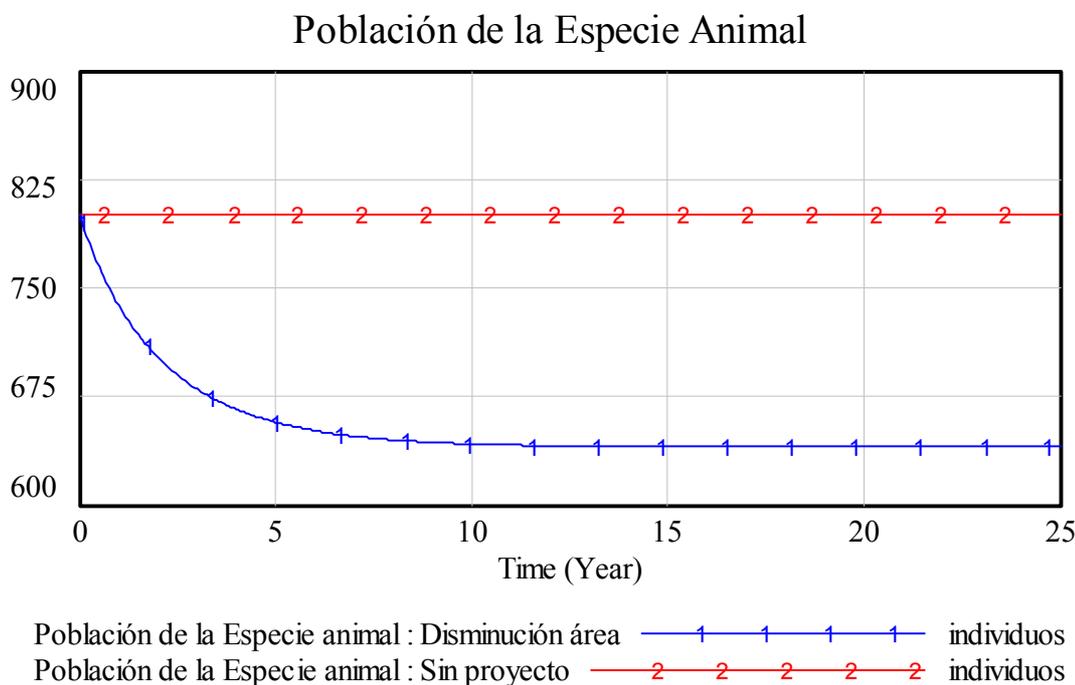


Figura 20. Simulación de la ocurrencia de un impacto que disminuye el área ocupada por la población de la especie animal

Segundo Ejemplo: Contaminación del Agua.

Este modelo ha sido seleccionado por su utilidad en la evaluación de los impactos de las actividades de un proyecto petrolero sobre las aguas superficiales, específicamente en un lago o laguna. Como ya se mencionó las actividades petroleras de explotación y producción están caracterizadas por la descarga de aguas contaminadas, que pueden ocasionar impactos negativos en las aguas superficiales y subterráneas. Además, en las EIA analizadas en esta investigación se pudo observar la importancia de evaluar los posibles impactos de las actividades que forman parte de los proyectos petroleros, sobre el sistema hidrológico presente en el área de interés.

Por otra parte, las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos* (1996b), establece una lista de efectos potenciales del proyecto sobre los aspectos físico-naturales, entre los que se encuentran: contaminación de aguas superficiales, contaminación de aguas subterráneas, modificación de los cursos de agua y alteración de lagunas.

Modelo. El objetivo de este modelo es estudiar el proceso de eutroficación, mediante el cual los lagos, a través de un incremento en la concentración de nutrientes, se hacen cada vez más carentes de oxígeno, aumenta la población de algas y acumulan capas más gruesas de detritus de algas, convirtiéndose paulatinamente en pantanos hasta que se secan y se convierten en tierra (Wetzel, 1983). La eutroficación puede ser: a) natural, cuando los nutrientes son arrastrados naturalmente o por precipitaciones al lago, y toma lugar en una escala de tiempo geológica de miles de años; y b) cultural, cuando el arrastre de los nutrientes se acelera como consecuencia de actividades humanas, y puede ocurrir en unas pocas décadas (Anderson, 1973:119).

Una modificación del modelo de eutroficación de un lago de Anderson (1973:120), se puede utilizar para estudiar la presencia de este fenómeno en lagos o lagunas que se encuentren dentro o cerca del área donde se llevará a cabo el proyecto petrolero. Ya que este es un fenómeno que ha sido identificado por diferentes autores como un posible impacto de las actividades petroleras. Por ejemplo, en la matriz de impactos potenciales de la industria petrolera presentada por Canter (2000:92), se identifican varias alteraciones ambientales que podrían causar la eutroficación de un lago, como el drenaje de la cuenca del lago y la emisión de efluentes sanitarios hacia el lago.

La figura 21 muestra el diagrama causal para el proceso de eutroficación, donde se identifican las variables que se utilizan en este modelo una vez que se han hecho las simplificaciones necesarias: nutrientes, población biótica, deterioro del detritus y oxígeno. Además, se muestran los lazos de retroalimentación presentes en el diagrama causal.

El flujo de nutrientes a través de la biomasa, detritus y el depósito de nutrientes es un lazo cerrado, por lo tanto el crecimiento biótico está limitado a la disponibilidad de nutrientes. También intervienen procesos metabólicos como la respiración y excreción, que permiten que los nutrientes retornen de la biomasa al depósito de nutrientes.

En la figura 22 se muestra el modelo elaborado en VENSIM, la descripción de las variables y ecuaciones empleadas se presenta en el anexo 1. Se realizó una replica del experimento de Anderson que muestra el comportamiento de las variables oxígeno promedio en el lago, nutrientes, biomasa y detritus, bajos un proceso de eutroficación natural para un horizonte de 200 años.

agua no pueden recuperarse de una sobrecarga de nutrientes, "una vez que los nutrientes han sido depositados en el lago, solo pueden ser reciclados de la biomasa al detritus y de allí al depósito de nutrientes inorgánicos. Los nutrientes no pueden desaparecer" (Anderson, 1973:122).

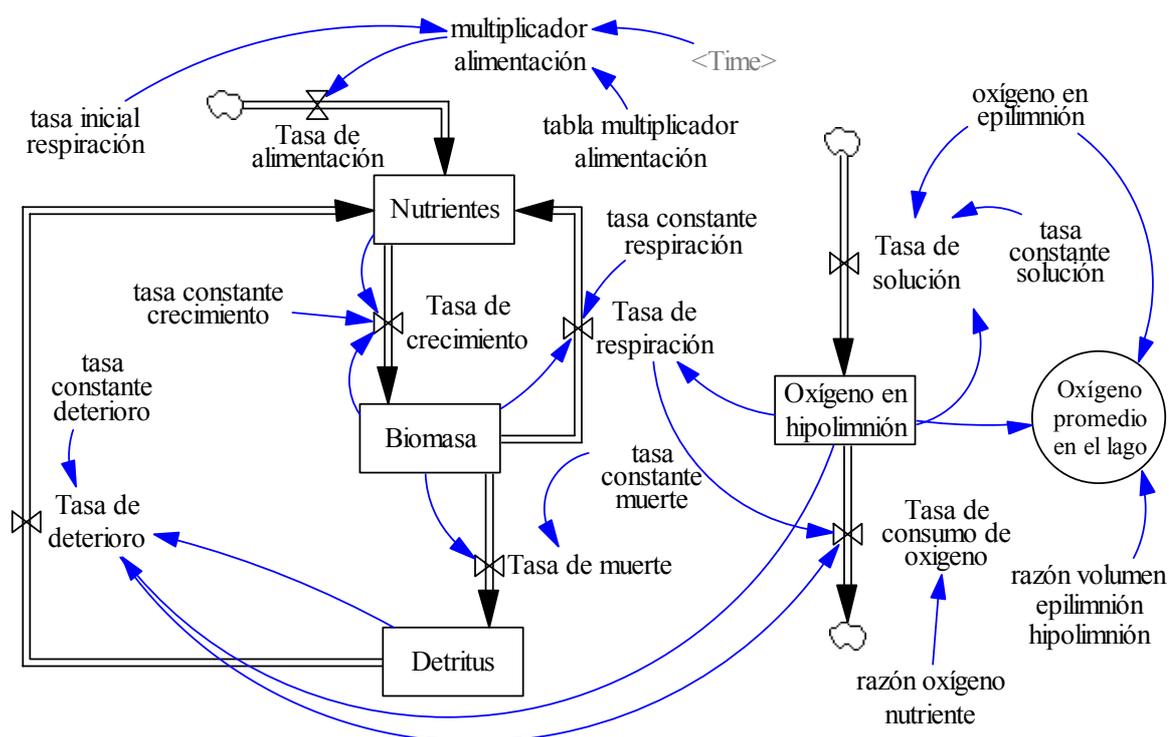


Figura 22. Modelo en VENSIM para la eutrofización de un lago

La legislación venezolana en materia de aguas y suelo, esta conformada por la *Ley Forestal de Suelos y Aguas*, el *Reglamento parcial de la Ley Forestal de suelos y aguas sobre la repoblación forestal* y la Resolución por la cual se dictan las *Normas sobre la Regulación y el Control del aprovechamiento de los Recursos Hídricos y de las Cuencas Hidrográficas*. En el artículo 53 de estas Normas, se establece que la Zona Protectora en contorno a lagos y lagunas naturales, comprende un espacio mínimo de 50 metros de ancho, medido desde sus márgenes, cuando tenga su mayor volumen de agua en proyección horizontal (República de Venezuela, 1997b).

Como se puede observar, estas Normas solo establecen la Zona Protectora para los lagos y lagunas, pero las escorrentías pueden fluir a través de esos 50 metros y ocasionar que se inicie o acelere la eutroficación, que es un proceso irreversible por naturaleza. Por lo tanto, es necesario aplicar medidas que permitan controlarlo. Anderson (1973:133) utiliza su modelo de eutroficación de un lago, para estudiar tres políticas que permitan frenar dicho proceso. La primera de ellas es la aplicación de alguicidas con el fin de disminuir la biomasa del lago, la segunda es la aireación con el objetivo de aumentar la concentración de oxígeno, y la tercera es el dragado con la finalidad de disminuir el detritus presente en el fondo del lago.

Por otra parte, Canter (2000:292) presenta un resumen de aplicación de técnicas para mejorar la calidad del agua en proyectos del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos, en el que se mencionan las siguientes técnicas para tratar la eutroficación: a) Tubo Olszenki, b) Desestratificación, c) Aireación del hipolimnión, d) Sulfato de cobre, e) Variación en el depósito de materiales, f) Modificación estructural, g) Creación de humedades y h) Mejor práctica de gestión.

En la figura 23 se presentan los resultados de simular la eutroficación cultural versus la eutroficación natural, suponiendo que la tasa de alimentación de nutrientes es una función pulso que descarga 0.04 mg/litro iniciándose en el año 20 y con una duración de 10 años que corresponde a la duración posible de un proyecto petrolero que tiene efectos sobre este cuerpo de agua por ese periodo de tiempo. Estos resultados muestran que un crecimiento de la biomasa y detritus esta acompañado de una disminución de la concentración de nutrientes y del oxígeno presente en el lago. Lo que constituye el comportamiento típico de un lago que se está siendo afectado por un proceso de eutroficación cultural.

La utilización de este modelo en la EIA de proyectos de la industria petrolera, que posiblemente afecten a un lago o laguna, es de gran utilidad ya que les permitirá medir la duración, extensión y sobre todo la reversibilidad del impacto, los cuales son tres de los criterios de valoración utilizados en las EIA para obtener el Valor de Impacto Ambiental (VIA).

Tercer Ejemplo: Dinámica Demográfica.

Las variables socioeconómicas son de especial interés cuando se está llevando a cabo una EIA para proyectos petroleros, debido a su utilidad en la medición de la intensidad de los impactos potenciales sobre los seres humanos que puedan verse afectados. Por esto, las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos* (1996b), establecen la necesidad de establecer los efectos potenciales sobre una serie de aspectos socioeconómicos entre los que se encuentran: aumento en la demanda de servicios (vivienda, salud, educación y transporte), modificación del comercio, aparición o desaparición de nuevos centros poblados, cambios en los patrones de consumo, alteración de la vida cotidiana y aparición/aumento de índices delictivos.

La importancia de llevar a cabo el análisis de estos aspectos socioeconómicos, se puede observar en las EIA revisadas y analizadas en esta investigación. Además, se reconoce la naturaleza dinámica de tales aspectos, tal y como se afirma EIA elaborada por Geohidra (2001:4-49) "el enfoque del análisis de sensibilidad del medio socioeconómico se basó en la premisa de que este medio es en esencia dinámico, por cuanto expresa las relaciones entre la población y el medio físico para la producción de bienes y servicios. Dichas relaciones tienen concreción espacial en el sistema de centros poblados."

Canter (2000:605) hace un análisis donde explica los impactos del medio socioeconómico que pueden ocurrir debido a la ejecución de proyectos en un área dada. Estos impactos pueden ocasionar el desplazamiento de personas, la reducción del empleo a nivel local, recesión de la economía, descenso de la población, entre otros. Con el fin de orientar la ejecución de las EIA sobre este medio, presenta una tabla con ejemplos de factores socioeconómicos y las posibles alteraciones provocadas por la ejecución de un proyecto.

Modelo. Este modelo explica el comportamiento dinámico de crecimiento y estancamiento de una población, en relación con la disponibilidad de trabajo existente dentro o cerca de un área urbana. Esta es una característica típica de las zonas petroleras en Venezuela, ya que existe la creencia de que en dichas zonas hay una mayor disponibilidad de trabajos mejor

renumerados que en otras zonas, por ende se puede usar este modelo para estudiar ciertas variables del medio socioeconómico cuando se está llevando a cabo una EIA.

Existe una gran variedad de modelos que estudian la dinámica urbana, y que pueden usarse para estudiar las variables socioeconómicas seleccionadas como relevantes en la EIA. El modelo seleccionado en este ejemplo está basado en el modelo de crecimiento y estancamiento urbano desarrollado por Diamond Aaron y Nathaniel Choge (2001). Las modificaciones son básicamente en el valor de los parámetros de la población, ya que la gran mayoría de los proyectos petroleros en Venezuela, están ubicados en zonas rurales y no urbanas, lo que implica que el tamaño de la población y espacio de tierra que ocupa son más pequeños, pero poseen una mayor disponibilidad de tierras para crecer que una población urbana. El ciclo de vida de un sistema urbano está caracterizado por un periodo de crecimiento económico seguido de un periodo de transición hacia el equilibrio. Durante el periodo de crecimiento, el centro poblado parece ser económicamente saludable: la actividad comercial se expande y el desempleo disminuye. La población y el número de estructuras de negocio (proyectos petroleros par el caso de las EIA) crecen rápidamente. Durante el periodo de transición, estas condiciones llegan a ser menos convenientes impidiendo que ocurra un crecimiento adicional, ya que disminuye la tasa de instalación de nuevos proyectos al igual que la tasa de inmigración. En el equilibrio, cuando la población y la instalación de nuevos proyectos frenan su crecimiento, el centro poblado presenta problemas tales como un elevado desempleo (Whelan, 1994).

En la figura 24 se muestra el modelo elaborado en VENSIM, las ecuaciones y valores iniciales de cada variable se encuentran en el anexo 1. Las variables en *itálica* representan las constantes que pueden variar de acuerdo al caso de estudio que se tenga, por ejemplo la fracción de nacimiento, inmigración, población inicial, área de tierra, proyectos existentes en el área de estudio, tabla de trabajo disponible, entre otras. Las variables en **negrita** representan los procesos dinámicos de interacción entre las variables del modelo. En este caso, las variables que se utilizarán para describir la dinámica de este sistema son: Población en el área del Proyecto, Disponibilidad de trabajo y Proyectos.

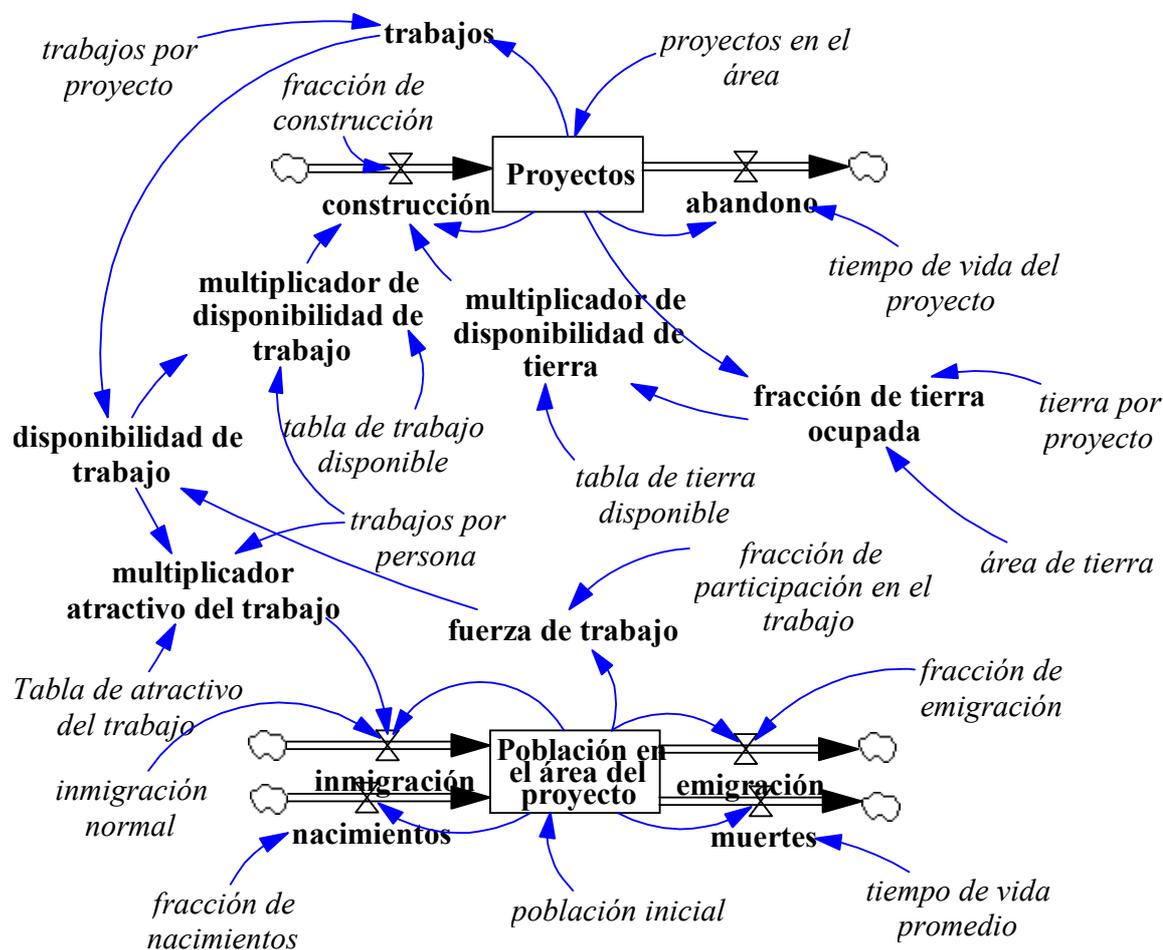


Figura 24. Modelo en VENSIM del crecimiento de un centro poblado ubicado en una zona petrolera

Simulaciones

1. Dinámica del crecimiento de la población.

La disponibilidad de trabajo junto con la promesa de obtener elevados ingresos, son la motivación principal para que se genere un proceso de inmigración hacia las zonas petroleras, y por ende hacia los centros poblados cercanos a dichas zonas. Las personas tienden a moverse hacia las áreas donde las oportunidades de empleo sean favorables.

10000 personas, lo que hace que la disponibilidad de trabajos aumente de 1 personas/trabajo a casi 1.3 personas/trabajo, lo que ocasiona un aumento en la tasa de desempleo, ya que hay más personas que trabajos disponibles. Estos comportamientos de las variables Población en el área del proyecto y Disponibilidad de trabajo se muestran en la figura 26. La variable Proyectos no se ve muy afectada por este cambio en la tasa de inmigración, su valor final cambia de aproximadamente 54 a 56 proyectos.

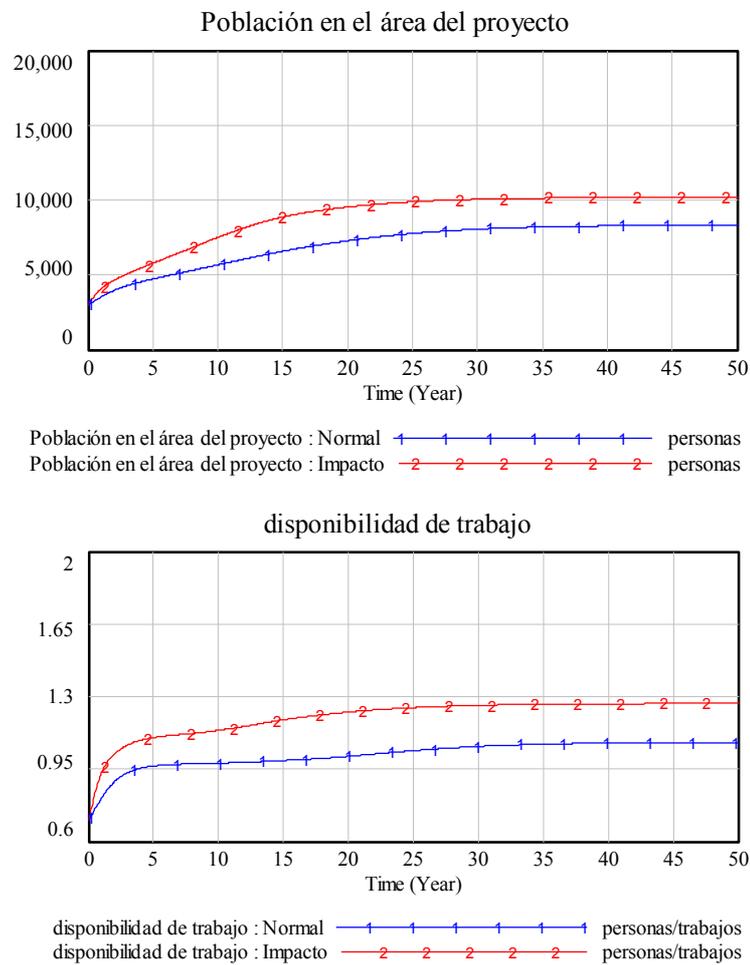


Figura 26. Simulación de la dinámica de las variables población y disponibilidad de trabajo cuando ocurre un aumento en la tasa de inmigración hacia la zona petrolera

trabajar con modelos que muestren la dinámica de dichos impactos a lo largo del tiempo de ocurrencia, tomando en cuenta el criterio de valoración que mide la intensidad.

Estos modelos que muestran la dinámica de las diferentes variables socioeconómicas, se pueden utilizar en las EIA cuando se está elaborando el análisis de sensibilidad del medio socioeconómico, con el fin de determinar el grado de sensibilidad de este tipo de variables. Además se puede emplear cuando se está evaluando el impacto, es decir en la obtención del VIA si se está utilizando el método de los criterios relevantes. También se pueden utilizar estos modelos, como base o apoyo a los métodos cualitativos de evaluación del impacto ambiental.

Cuarto Ejemplo: Dinámica Hídrica en el Suelo.

El suelo es uno de los principales sistemas ambientales que forman parte del medio físico-natural, por lo tanto es muy importante realizar un análisis minucioso y exhaustivo de los posibles impactos que pueda ocasionar cualquier actividad del proyecto. Prácticamente todas las actividades que se realizan en un proyecto de explotación y producción de petróleo tienen influencia sobre el suelo, por esto, tal y como se describió en el capítulo anterior, el suelo se ve seriamente afectado por la presencia de aguas contaminadas producidas por las actividades de explotación, producción y refinamiento del petróleo. Por ende, se seleccionó este modelo con el fin de entender cómo es la dinámica del sistema de aguas en el suelo, ya que la presencia de aguas contaminadas afectará a dicho sistema y puede ocasionar impactos sobre otros factores del medio físico-natural como la vegetación, aguas subterráneas, especies animales, entre otros.

Por otra parte, las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos* (1996b), contemplan la evaluación de los efectos potenciales de cualquier proyecto de este tipo sobre el suelo, especificando la ocurrencia de procesos erosivos, contaminación de los suelos, alteración de la vegetación, alteración de la topografía, contaminación de aguas superficiales y subterráneas, entre otros. Por esto, es posible observar la importancia que tiene el análisis de los impactos sobre el suelo en las EIA consultadas para llevar a cabo esta investigación. Por ejemplo, en Geohidra (2001:4-17) se utiliza la Ecuación Universal

de Pérdida de Suelo (USLE), para evaluar el parámetro resistencia del suelo, ya que esta ecuación permite predecir las pérdidas del suelo ocasionadas por la erosión hídrica laminar y en surquillos, tomando en cuenta los factores físicos de precipitación, suelo y topografía.

Modelo. El objetivo del modelo es describir la dinámica del sistema de aguas en el suelo, haciendo uso de la Dinámica de Sistemas como metodología de modelado y simulación. Este modelo ha sido desarrollado por Bice (2002) con la idea de mostrar los flujos y depósitos que existen en el sistema de aguas en el suelo, la figura 28 muestra la estructura completa de dicho sistema.

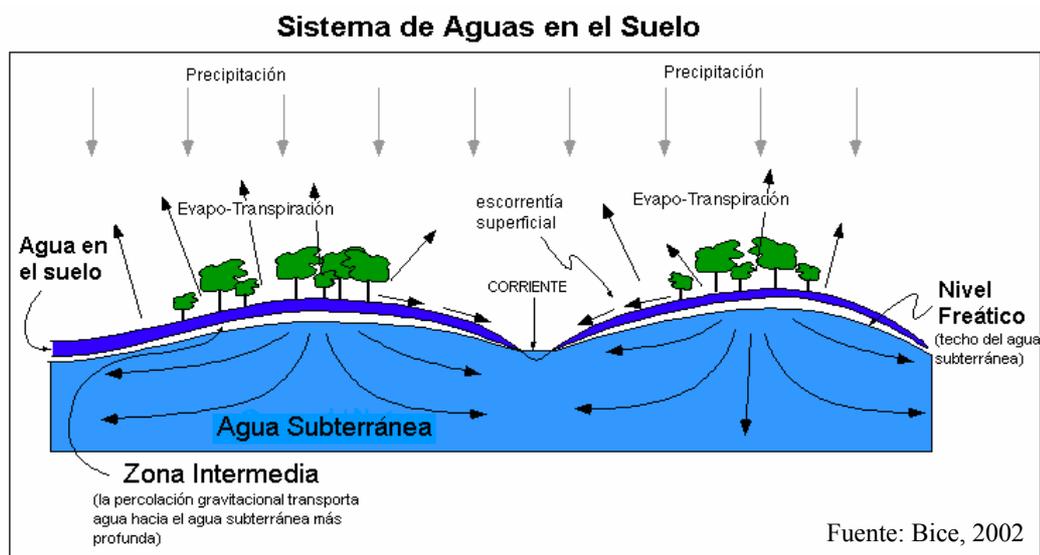


Figura 28. Diagrama esquemático del Sistema de Aguas en el Suelo

El agua entra a este sistema a través de la precipitación, la cual cae sobre el suelo y se acumula en una capa muy delgada en la superficie (visible únicamente durante una tormenta). A partir de esta delgada capa superficial, el agua se infiltra dentro del suelo, donde se acumula en los espacios vacíos (poros). Alguna parte del agua en el suelo pasa a través de la zona intermedia hacia aguas subterráneas más profundas (este proceso se conoce como percolación), de donde fluye hacia lugares donde la meseta de agua sea más alta. En la situación de la figura 28, alguna parte del agua subterránea fluye hacia la

corriente de agua cercana. La mayoría del agua en el suelo es devuelta a la superficie por las plantas y la evaporación normal, estos dos procesos son unificados en la evapotranspiración (Bice, 2002).

Este sistema describe la dinámica del comportamiento de las aguas en el suelo, por ende, es de gran utilidad en la evaluación de los impactos potenciales de una actividad, ya que estas pueden alterar cualquiera de los procesos antes mencionados. Por ejemplo, si se modifica la pendiente de un terreno al realizar los movimientos de tierra en la fase de construcción del proyecto, se afectará directamente a la escorrentía que a su vez afectará los procesos de erosión del terreno. Además, los movimientos de tierra normalmente vienen acompañados por deforestación, la cual afecta el proceso de evapotranspiración y puede convertir un suelo de no saturado a saturado, afectando las actividades agrícolas y de ganadería que se llevan a cabo normalmente.

En la figura 29 se muestra el modelo en VENSIM del sistema de aguas en el suelo, las ecuaciones y detalles de este modelo se encuentran en el anexo 1.

Las variables en *itálica* representan las constantes que pueden variar de acuerdo al caso de estudio que se tenga, por ejemplo la tabla de precipitación mensual, la tabla de temperatura mensual de la zona de interés, las constantes de infiltración y percolación, entre otras. Las variables en **negrita** representan los procesos dinámicos de interacción entre las variables del modelo. En este caso, las variables nivel que se utilizarán para describir la dinámica de este sistema son: agua en la superficie del suelo y agua en el suelo.

Simulaciones

1. Cambio en los patrones de escorrentía.

Uno de los efectos en el suelo que es muy común encontrar en la etapa de identificación de impactos es la erosión. En un proceso erosivo la escorrentía puede ser un factor crucial, ya que si el terreno está descubierto y la pendiente es lo suficientemente pronunciada, este flujo superficial de agua puede acentuar el proceso erosivo de dicho terreno.

Este experimento consiste en variar el valor de la tasa constante *k escorrentía*, con el fin de reflejar posibles cambios en la topografía del terreno ocasionados por los

movimientos de tierra necesarios para construir las instalaciones físicas que amerita el proyecto. Si el valor de k *escorrentía* es cercano a 1 significa que el terreno tiene una pendiente muy marcada, mientras que si esta tasa constante se acerca a 0 es un terreno bastante plano.

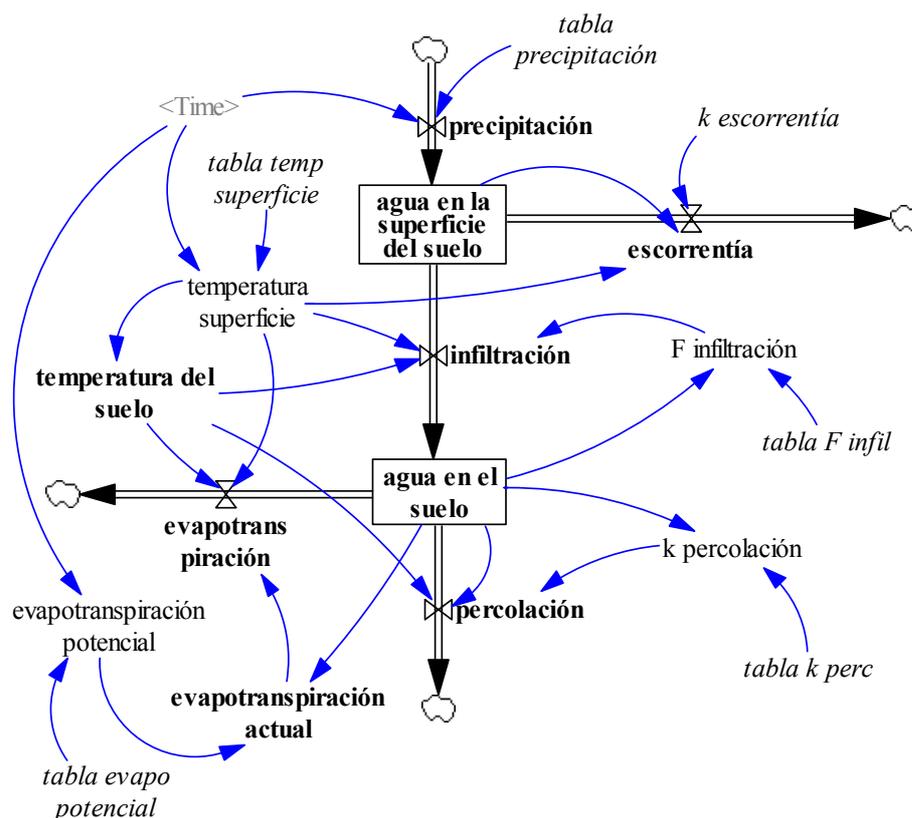


Figura 29. Modelo en VENSIM del sistema de aguas en el suelo

En la figura 30 se muestran los resultados de esta simulación, usando un valor de pendiente del terreno inicial de 0.25 (Normal), pero luego de hacer modificaciones en la topografía de dicho terreno su pendiente cambia a 0.4 (Impacto). En esta figura se puede observar como el flujo de escorrentía se incrementa al ocurrir la alteración del terreno, lo que puede ocasionar un efecto negativo en los procesos de erosión del suelo.

Esta variación en los patrones de escorrentía del suelo, también ocasiona cambios en el nivel de agua en la superficie del suelo, ya que si el flujo de escorrentía es mayor, la

2. Nivel de agua en el suelo.

El nivel de agua en el suelo es un parámetro que varía de un tipo de suelo a otro, por ende los valores de percolación y evapo-transpiración serán diferentes para cada tipo de suelo. Una variación en el nivel de agua en el suelo puede hacer que las actividades agrícolas que se llevan a cabo normalmente cambien radicalmente, siendo necesario tener esto en cuenta para afectar lo menos posible al medio socioeconómico. En la figura 32 se muestran los cambios en el nivel de agua en el suelo de acuerdo a la variación de los parámetros de escorrentía e infiltración. La infiltración puede reducirse cuando se cubre parte de la superficie del suelo estudiada, con piedras o granzón para nivelar o construir un camino.

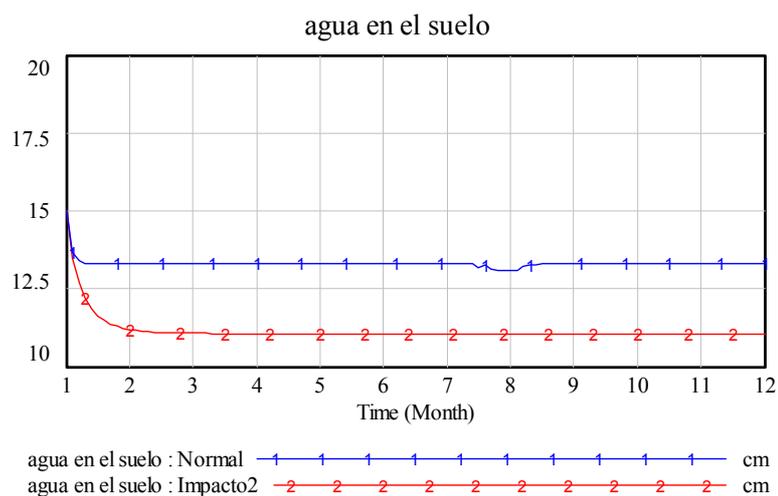


Figura 32. Simulación del nivel de agua en el suelo para diferentes valores de escorrentía e infiltración. Normal: $k_{escorrentía}=0.25$ y F infiltración normal, Impacto2: $k_{escorrentía}=0.4$ y F infiltración reducido a la mitad.

Quinto Ejemplo: Dinámica Hídrica en una Cuenca.

Este último ejemplo ha sido seleccionado debido a la importancia que tienen las cuencas hidrográficas en la dinámica de los sistemas naturales y en la vida de los seres humanos. Esta importancia se manifiesta al observar los esfuerzos realizados por los encargados de elaborar las EIA para proyectos petroleros, revisadas durante la elaboración de esta investigación, para describir o evaluar el impacto de sus proyectos sobre este medio.

Por otra parte, como ya se ha mencionado en los ejemplos anteriores las *Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos* (1996b), contempla la necesidad de tomar en cuenta los posibles efectos de una actividad del proyecto que pueda causar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, y la modificación de los cursos de agua.

Modelo. Este modelo ha sido construido por Bice (2002) con la finalidad de entender la dinámica del flujo de agua en una cuenca (área drenada por una corriente de agua o río), especialmente para estudiar la posible ocurrencia de una inundación. En la figura 33 se muestra la forma y apariencia típica de una cuenca.

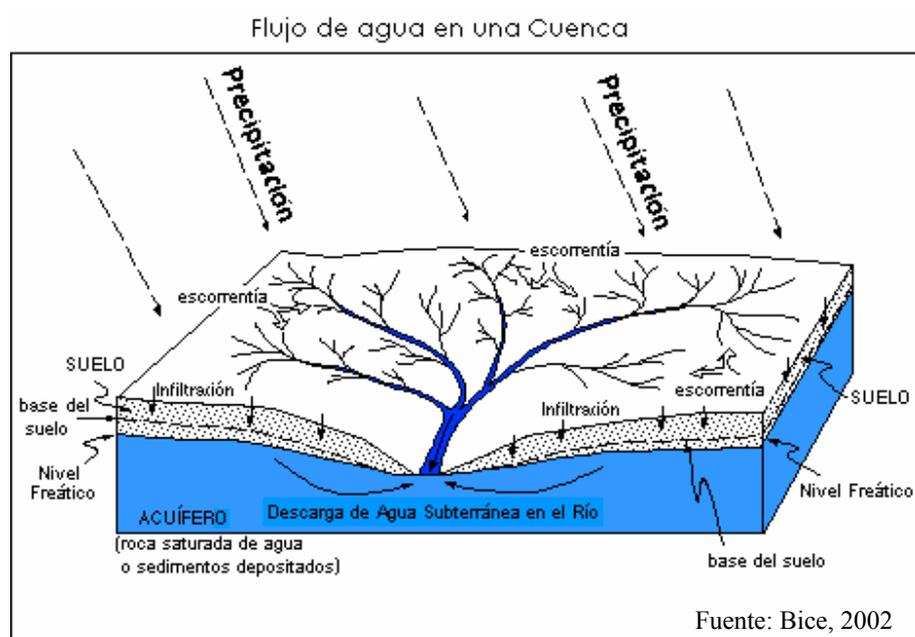


Figura 33. Diagrama esquemático del Flujo de Agua en una Cuenca

Una cuenca posee ciertas características físicas, que varían de acuerdo a las especificaciones particulares de la cuenca que se quiera estudiar. Las características físicas de una cuenca que se toman en cuenta en este modelo son: área de la cuenca (km^2), espesor del suelo (m), espesor del acuífero (m), porosidad del suelo (%), porosidad del acuífero

(%), flujo base (m^3/hora), longitud del canal de corriente perpetua (km) y área promedio de la sección transversal del canal (m^2).

Si se observa el diagrama de la figura 33 desde un punto de vista sistémico, la cantidad de agua en un río depende de las entradas y salidas. Las entradas son los flujos de agua que desembocan en el río, como las aguas que escurren por la superficie del suelo y las aguas subterráneas que se descargan directamente en dicha corriente. El agua sale del río cuando fluye por el canal, esta tasa de flujo es controlada por el gradiente de la corriente, la rugosidad del lecho y la forma del canal. La forma del canal es importante, ya que ésta determina qué porción del agua que fluye, está en contacto con el lecho y puede ser frenada por la fricción asociada a la superficie rugosa de dicho lecho (Bice, 2002).

Las entradas -escorrentía y los flujos de agua subterránea y del suelo- son controladas por una variedad de características físicas de la cuenca, los suelos, el acuífero subyacente y el clima (Bice, 2002).

En la figura 34 se muestra el modelo en VENSIM de la dinámica del flujo de agua en una cuenca. El modelo está conformado por cuatro variables nivel: agua en la superficie del suelo, agua en el río, agua en el suelo y agua subterránea, y seis procesos de flujo: precipitación, infiltración, percolación, descarga, escorrentía y caudal del río. Las ecuaciones y explicaciones de cada una de las variables del modelo se presentan en el anexo 1.

Las variables en *itálica* representan las constantes que pueden variar de acuerdo al caso de estudio que se tenga, por ejemplo el espesor y porosidad del suelo y del acuífero, las constantes de infiltración y percolación, la lluvia promedio, los valores iniciales de las variables nivel, entre otras. Las variables en **negrita** representan los procesos dinámicos de interacción entre las variables del modelo.

Simulaciones

1. Cambio en la vegetación presente en la cuenca.

Para reflejar los cambios que ocurren en este sistema hidrológico cuando se altera la cantidad de vegetación presente en la cuenca, es necesario variar el parámetro *k escorrentía*. Valores pequeños de este parámetro representan una cubierta de vegetación

densa, mientras que valores mayores reflejan una superficie con poca densidad de vegetación (Bice, 2002).

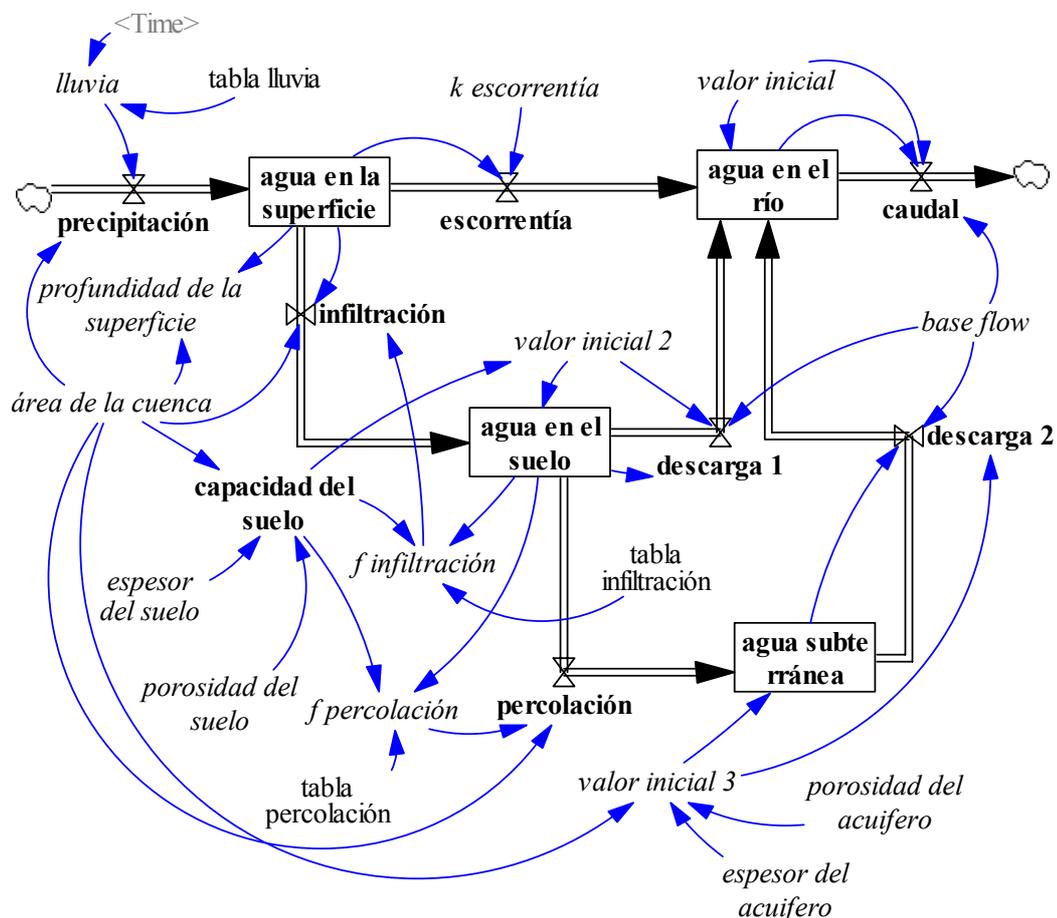


Figura 34. Modelo en VENSIM del flujo de agua en una cuenca

En la figura 35 se muestra el resultado de simular una reducción en la densidad de la capa vegetal que cubre la cuenca de un río. Dicha reducción puede ser el resultado de ejecutar una deforestación con la finalidad de llevar a cabo la construcción de las instalaciones físicas que forman parte de un proyecto de explotación y producción de petróleo.

Como se puede observar en la figura 35, el caudal del río aumenta considerablemente durante la ocurrencia de una lluvia, cuando la cuenca ha sido deforestada. En esta simulación el valor para el parámetro k escorrentía es de 0.4 (Normal), para simular la

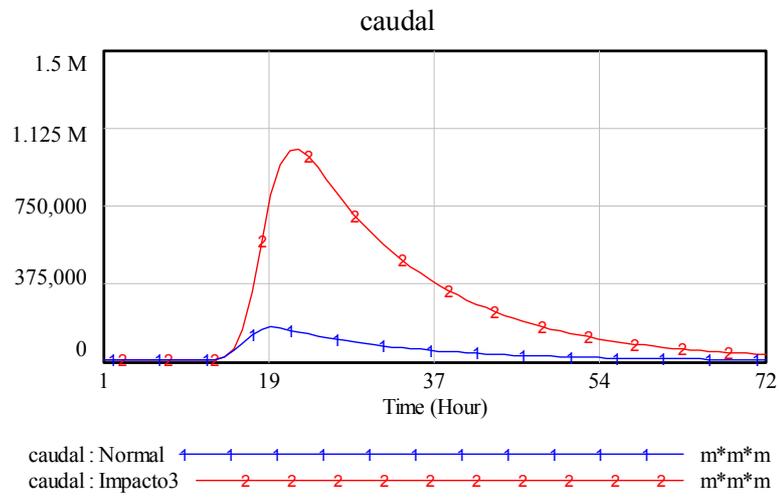


Figura 37. Simulación del caudal de un río cuando ocurre un cambio en el espesor del suelo de la cuenca.

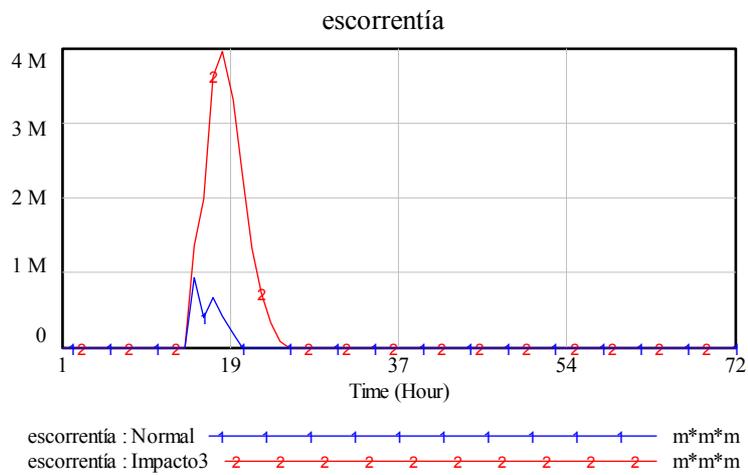


Figura 38. Simulación de la escorrentía cuando ocurre un cambio en el espesor del suelo de la cuenca de un río.

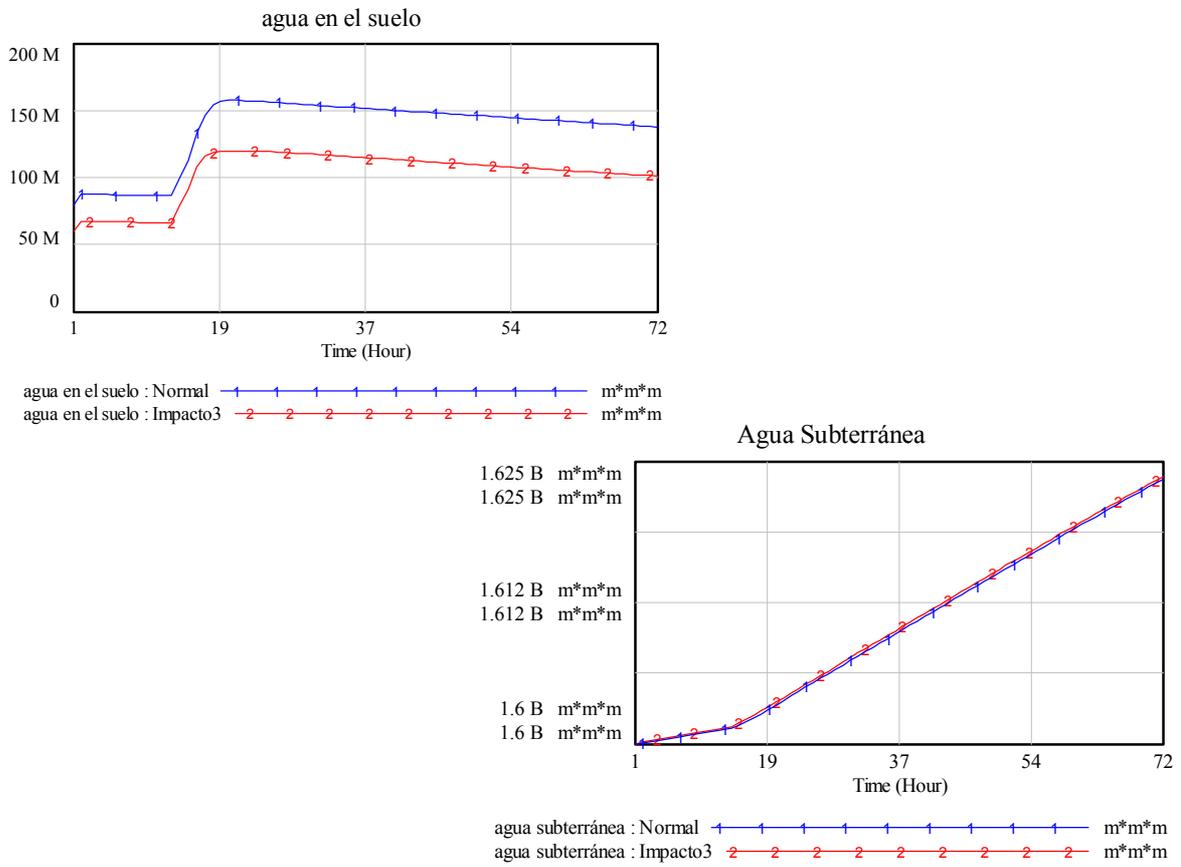


Figura 39. Simulación del agua en el suelo y las aguas subterráneas cuando ocurre una modificación en el espesor del suelo de la cuenca del río

Capítulo 5. Conclusiones

5.1 Conclusiones

En esta investigación se estudió, mediante el análisis de varios ejemplos, el procedimiento utilizado en la preparación de una EIA para proyectos de explotación y producción de petróleo. Los resultados de este estudio se presentan exponiendo los fundamentos técnicos en los que se basa, tales como marco legal y metodologías empleadas para la identificación y evaluación de impactos.

El estudio y análisis de las EIA se inició elaborando un diagnóstico del estado actual de las EIA desde diferentes perspectivas. Desde la perspectiva legal, esta investigación logró establecer que las EIA para proyectos petroleros cumplen con gran parte de la normativa legal en materia ambiental vigente, el problema radica en la forma como dichas evaluaciones son tratadas por los encargados de los proyectos, considerándolas como un requisito más que se debe cumplir para obtener la AOT y no como un documento de trabajo que debe regir la ejecución de cada una de las actividades que posiblemente causen un impacto al medio ambiente.

Otro aspecto importante que necesita ser corregido, es la forma como se utilizan los estándares de calidad ambiental bajo los cuales se declara la ocurrencia de un impacto. Dichos estándares deben ser utilizados de forma explícita cuando se está evaluando un posible impacto, ya sea sobre el medio físico, biológico o socioeconómico.

Desde la perspectiva dinámica se estableció el uso actual que se le da a los modelos dinámicos durante la elaboración de una EIA. Se pudo observar que estos modelos no son utilizados, aunque si se reconoce el carácter dinámico de los medios y de los impactos sobre dichos medios, solo se toma en cuenta un factor de valoración denominado Duración, el cual se usa para expresar el espacio de tiempo durante el cual una actividad del proyecto afectará a un medio, asumiendo que el impacto es el mismo y constante durante dicho lapso de tiempo.

La última perspectiva bajo la cuál se hizo el diagnóstico de las EIA, fue la perspectiva técnica. En este punto, se hizo un análisis detallado de las metodologías empleadas para llevar a cabo el análisis de sensibilidad, la identificación de impactos y la evaluación de dichos impactos. Dicho análisis permitió establecer que, en general, estas metodologías siguen los métodos estándares descritos en la literatura, aunque es necesario corregir ciertos

detalles técnicos cuando se están aplicando estos métodos, como por ejemplo, la carencia de información, presencia de afirmaciones no sustentadas, errores en las escalas de valoración de los impactos, inconsistencias, ausencia de análisis de los resultados obtenidos, entre otras.

Partiendo del diagnóstico se elaboró la propuesta que consta de una serie de pasos a seguir para llevar a cabo las tres etapas antes mencionadas que forman parte de una EIA. La primera de estas etapas es el análisis de sensibilidad ambiental. Aunque no forma parte del contenido común en las EIA, este análisis es de suma importancia ya que describe el grado de sensibilidad de los factores ambientales presentes en el área donde se llevará a cabo el proyecto petrolero. Se determinó que en esta etapa es clave identificar correctamente los elementos que conforman cada medio, con el fin de determinar su grado de sensibilidad de una forma más específica y sin obviar algún elemento importante. Además, se recomienda el uso de índices e indicadores ambientales en esta etapa.

La segunda etapa es la identificación de impactos, la serie de pasos propuestos para llevar a cabo dicha identificación, deben dar como resultado una lista de impactos potenciales para cada actividad del proyecto, la cual se obtiene una vez que se seleccionen los métodos más adecuados a ser aplicados (matrices, listas del control o diagramas de redes) de acuerdo al medio que se esté evaluando.

La última etapa de las EIA analizada en esta investigación es la evaluación de impactos. En esta etapa se busca cuantificar, siempre que sea posible, los impactos potenciales identificados en la etapa anterior. De no ser posible llevar a cabo la evaluación cuantitativa, se pueden realizar descripciones y evaluaciones cualitativas de los impactos que permitan tener mayor información que indique cómo el proyecto que se está evaluando tiene efectos adversos o no sobre un medio determinado. Por esto, se sugiere la utilización de diferentes métodos, tanto cuantitativos como cualitativos, para llevar a cabo una de las etapas más críticas en la elaboración de una EIA.

En esta etapa de evaluación se mostró cómo el uso de una metodología empleada para construir y simular modelos dinámicos, es de gran utilidad al mostrar el comportamiento dinámico de un impacto a lo largo del tiempo, dejando a un lado la suposición actual de que los impactos ocurren de forma constante a lo largo del tiempo. La metodología empleada

en esta investigación fue la Dinámica de Sistemas, la cual permitió realizar las simulaciones necesarias para ejemplificar la forma como este tipo de modelos se pueden utilizar en la elaboración de EIA para proyectos petroleros. Se presentaron cinco ejemplos pertenecientes a diferentes medios, y se hicieron las simulaciones que muestran cómo una actividad típica de un proyecto petrolero puede causar un efecto sobre algunas de las variables que se estuvieran considerando.

Referencias

1. Anderson Jay M. 1973. *The Eutrophication of Lakes. Toward Global Equilibrium: Collected Papers*. Editado por Dennis L. Meadows y Donella H. Meadows. Wright-Allen Press, Inc. Cambridge. Massachusetts.
2. Aracil Javier. 1995. *Dinámica de Sistemas*. Publicaciones de Ingeniería de Sistemas. Isdefe. Madrid. (Este libro está disponible en <http://www.isdefe.es/webisdefe.nsf/Menu/DA9DC10656CC380FC1256BB5003D306B?OpenDocument>; Internet, consultado el 16 de octubre de 2002)
3. Arborea Consultores Ambientales C.A. y Compañía General de Combustibles CGC. 2001. *Evaluación de Impacto Ambiental del Proyecto de Producción Petrolera área Onado*.
4. Balestrini Cesar. 1966. *La Industria Petrolera en Venezuela*. Centro de Evaluaciones. Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Editorial Artegrafia. Caracas.
5. Bice David. 2002. *Exploring the Dynamics of Earth Systems: a guide to constructing and experimenting with computer models of Earth systems using STELLA*. Departamento de Geología, Carleton College Northfield, MN; disponible en http://www.acad.carleton.edu/curricular/GEOL/DaveSTELLA/Water/soil%20water/soil_water.htm; Internet, consultado el 01 de diciembre de 2002.
6. BPMAW, Benson, Pérez Matos, Antakly & Watts. 2000. *Aspectos Ambientales Legales y Regulatorios en Venezuela*; disponible en <http://www.bpmaw.com/regulacionambiental.asp>; Internet, consultado el 05 de Abril de 2002.
7. Buroz Eduardo. 1998. *La gestión ambiental: Marco de referencia para las evaluaciones de impacto ambiental*. Fundación Polar. Caracas.
8. Canter Larry. 2000. *Manual de evaluación de impacto ambiental: Técnicas para la elaboración de los estudios de impacto*. McGraw-Hill. España.
9. Conesa Vicente. 1993. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. España.

10. Consultores OTEC S.A. y BOC GASES. 1996. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Planta de Hidrógeno a localizarse en la Refinería de Amuay, Punto Fijo, Estado Falcón.
11. Diamond Aaron y Nathaniel Choge. 2001. Road Maps 7. Modeling Exercises: Section 2. disponible en <http://sysdyn.mit.edu/road-maps/rm-toc.html>; Internet, consultado el 25 de Octubre de 2002.
12. Domingo Carlos. 2000. Notas de estudio en Sistemas, Modelos y Simulación. Disponible en www-rohan.sdsu.edu/~DOMINGO/; Internet, consultado el 3 de octubre de 2000.
13. Duek Jacobo. 1980. Métodos para la Evaluación de Impactos Ambientales incluyendo Programas Computacionales. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
14. Duek Jacobo. 1995. Una Nueva Metodología para Modelar la Evaluación de Impactos Ambientales. Trabajo de ascenso. CIDIAT. Mérida, Venezuela.
15. EPA. 1992. Background for NEPA Reviewers: Crude Oil and Natural Gas Exploration, Development, and Production. Office of Solid Waste. U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC.
16. EPA. 1995. Profile of Petroleum Refining Industry. Office of Enforcement and Compliance Assurance. U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC.
17. EPA. 2000. Profile of the Oil and Gas Extraction Industry. Office of Enforcement and Compliance Assurance. U.S. Environmental Protection Agency. Washington DC.
18. Felicísimo Angel Manuel. 2001. Conceptos básicos, modelos y simulación. Disponible en www.satunsat.com/Satunsat/Documentos/D2002134006.pdf; Internet, consultado el 29 de noviembre de 2002.
19. Forrester Jay W. 1968. Principles of Systems: Text and Workbook Chapters 1 through 10. MIT Press. Massachusetts.
20. Geohidra Consultores C.A. 2001. Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Desarrollo Gasífero Quiriquire / DAP 1042-EIA-CP-0.
21. González Agustín y Caraballo, Eladio. 1976. La Industria de Refinación en Venezuela. Colección La Alquitrana N° 3. Caracas.

22. Goodman Michael R. 1974. Study Notes in Systems Dynamics. Wright-Allen Press, Inc. Cambridge. Massachusetts.
23. Hernández Roberto, Fernández Carlos y Baptista Pilar. 1998. Metodología de la Investigación. Segunda Edición. Mc Graw-Hill. México.
24. Jain Raj. 1971. The art of Computer Systems Performance Analysis: Techniques for Experimental Design, Measurement, Simulation and Modeling. Wilcy, USA.
25. Jørgensen Sven E. y Bendoricchio Giuseppe. 2001. Fundamentals of Ecological Modelling. Tercera Edición. Editorial Elsevier. Amsterdam.
26. Law Averil y Kelton David. 2000. Simulation Modeling and Analysis. 3rd Edition. Mc Graw-Hill, USA.
27. Lei Lei y Nathaniel Choge. 2001. Road Maps 6. Modeling Exercises: Section 1. Prepared for the Massachusetts Institute of Technology System Dynamics in Education Project under the supervision of Prof. Jay W. Forrester; disponible en <http://sysdyn.mit.edu/road-maps/rm-toc.html>; Internet, consultado el 2 de Octubre de 2002.
28. Martínez Aníbal. 1963. Nuestro Petróleo Defensa de un Recurso Agotable. Talleres Minerva. Ginebra.
29. Montiel Leonardo. 1999. Guía para estudiantes sobre petróleo y gas. Editorial Arte. Caracas.
30. Munn R. E. 1975. Environmental Impact Assessment. Principles and Procedures. SCOPE-UNEP-UNESCO. Toronto.
31. Munn R. E. 1979. Environmental Impact Assessment. Second Edition. John Wiley and Sons. New York.
32. PetroLatin. 2000. Autorizaciones Ambientales; disponible en <http://www.petrolatin.com/ci/ambiente/3126783/default.asp>; Internet, consultado el 14 de Mayo de 2002.
33. República Bolivariana de Venezuela, 2000. Constitución de la República Bolivariana de Venezuela. Gaceta Oficial N° 5453, Extraordinaria. 24 de Marzo. Caracas.
34. República de Venezuela. 1976. Ley Orgánica del Ambiente. Gaceta Oficial N° 31.004. 16 de Junio. Caracas.

35. República de Venezuela. 1983. Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio. Gaceta Oficial N° 3238, Extraordinaria. 11 de Agosto. Caracas.
36. República de Venezuela. 1992a. Ley Penal del Ambiente. Gaceta Oficial N° 4358. 3 de Enero. Caracas.
37. República de Venezuela. 1992b. Decreto mediante el cual se dictan las Normas sobre el Control de la Contaminación generada por Ruido. Gaceta Oficial N° 2519. Caracas.
38. República de Venezuela. 1995a. Decreto N° 883: Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Gaceta oficial N° 5021, Extraordinaria. 18 de Diciembre. Caracas.
39. República de Venezuela. 1995b. Decreto N° 638: Normas sobre la calidad del aire y control de la contaminación atmosférica. Gaceta oficial N° 4899, Extraordinaria. 19 de Mayo. Caracas.
40. República de Venezuela. 1996a. Decreto N° 1257: Normas sobre evaluación ambiental de actividades susceptibles de degradar el ambiente. Gaceta oficial N° 35.964. 25 de Abril. Caracas.
41. República de Venezuela. 1996b. Normas sobre Recaudos para la Evaluación Ambiental de Programas y Proyectos Mineros y de Exploración y Producción de Hidrocarburos. Gaceta oficial N° 5079, Extraordinaria. 19 de Julio. Caracas.
42. República de Venezuela. 1997a. Decreto N° 2289: Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos. Gaceta oficial N° 5212, Extraordinaria. 18 de Diciembre. Caracas.
43. República de Venezuela. 1997b. Resolución 1400 mediante la cual se dictan las Normas sobre la Regulación y el Control del aprovechamiento de los Recursos Hídricos y de las Cuencas Hidrográficas. Gaceta oficial N° 36013 (O). 10 de Julio. Caracas.
44. República de Venezuela. 1998. Decreto N° 2635: Reforma parcial del Decreto N° 2289 contentivo de las Normas para el control de la recuperación de materiales peligrosos y el manejo de los desechos peligrosos. Gaceta oficial N° 5212, Extraordinaria. 12 de Febrero. Caracas.

45. Roberts Nancy, Anderson F. David, Deal Ralph M., Garet Michael S. y Shaffer William A. 1983. Introduction to Computer Simulation: The System Dynamics Approach. Addison -Wesley. USA.
46. Ruf Heinrich. 1965. Breve Tecnología del Petróleo. Editorial Tecnos. Madrid.
47. Salter Edward y Ford John. Holistic Environmental Assessment and Offshore Oil Field Exploration and Production. 2001. Marine Pollution Bulletin. Vol. 42 (1) 2001, 45-58. Gran Bretaña.
48. Sebastiani Mirady, Martín Elena, Adrianza Daniella, Méndez Carlos, Villaró Mariana y Saud Yaneira. 2001. Linking impact assessment to an environmental management system. Case study: a downstream upgrading petroleum plant in Venezuela. Environmental Impact Assessment Review, Vol. 21 (2) 2001,137-168. EEUU.
49. Sebastiani Mirady, Villamizar Alicia, Alvarez Haymara y Fonseca Hortensia. 1996. Evolución de la fase inicial del procedimiento en Venezuela para la permisión de actividades susceptibles a degradar el ambiente, con miras a un desarrollo sustentable: 1992-1996. Revista geográfica venezolana. Volumen 37-1996(2) 197-220. Caracas.
50. Swartzman Gordon L. y Kaluzny Stephen P. 1987. Ecological Simulation Primer. McMillan. New York.
51. Turner E. 1999. EIA and the Project Cycle. In UNEP TIE - United Nations Environmental Program Division of Technology, Industry and Economics. EIA for Industry. París, Francia.
52. Turner J. C. 1970. Matemática Moderna Aplicada. Probabilidad, Estadística e Investigación Operativa. Alianza Editorial. Madrid.
53. Ventana Systems, Inc. (2002). Manual de Vensim, disponible en <http://www.vensim.com/>; Internet, consultado el 15 de agosto de 2002.
54. Whelan Joseph G. 1994. Road Maps 7. Modeling Exercises: Section 2. Prepared for the Massachusetts Institute of Technology System Dynamics in Education Project under the supervision of Prof. Jay W. Forrester; disponible en <http://sysdyn.mit.edu/road-maps/rm-toc.html>; Internet, consultado el 2 de Octubre de 2002.
55. Zeigler, B. P. 1976. Theory of Modeling & Simulation. Wiley Interscience. USA.

Anexos

Anexo 1: Documento generado automáticamente por el software de simulación dinámica VENSIM, donde se presentan las ecuaciones y condiciones iniciales de los modelos estudiados en el capítulo 4.

A) MODELO DE LA ESPECIE ANIMAL

- (01) altura del pulso=400
Units: individuos/año
Este es el número de individuos muertos después que ocurre una catástrofe en el año 5.
- (02) área=10
Units: acres
Area total de tierra ocupada por la población de la especie animal.
- (03) catástrofe = altura del pulso * PULSE(5, 1)
Units: individuo/año
Este flujo se usa para explorar los efectos de una caída repentina de la población por la ocurrencia de un impacto no previsto.
- (04) densidad = Población de la Especie animal/área
Units: individuo/acres
Esta es la densidad de la población. Esta afecta la fracción de muertes de la población.
- (05) densidad normal=80
Units: individuo/acres
Esta variable se introduce con el fin de hacer el modelo adimensional. Se asume que la población inicial dividida entre el área representa la densidad normal de individuos.
- (06) FINAL TIME = 25
Units: Year
The final time for the simulation.
- (07) fracción de muerte natural=0.2
Units: individuo/año
Este multiplicador produce la dimensión correcta para la tasa de muertes.
- (08) fracción de nacimientos por año=0.2
Units: 1/año
Representa la fracción de la población que se reproduce cada año.
- (09) INITIAL TIME = 0
Units: Year
The initial time for the simulation.
- (10) multiplicador fracción de muertes = tabla de fracción de muertes(proporción densidad de la especie)
Units: Dmnl

Esta es la ecuación que proporciona la fracción de muertes como función de la proporción de densidad de la especie.

- (11) Población de la Especie animal= INTEG (+Tasa natalidad - catástrofe-Tasa mortalidad, población inicial de la especie)
Units: individuos
Este nivel representa el número de individuos de la población. Se incrementa por la natalidad y decrece por la mortalidad.
- (12) población inicial de la especie=800
Units: individuos
El sistema comienza con una población inicial de 800 individuos.
- (13) proporción densidad de la especie = densidad/densidad normal
Units: Dmnl
Esta proporción se usa como una entrada adimensional a la tabla lookup.
- (14) SAVEPER = TIME STEP
Units: Year [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (15) tabla de fracción de muertes([(0,0)-(1.25,2)],(0,0.4),(0.125,0.4),(0.375,0.45),(0.5,0.5),(1,1), (1.25,1.5))
Units: Dmnl
La fracción de muertes es independiente de la densidad de la población. Cuando la proporción de la densidad de individuos es 1, la densidad es igual a la densidad normal y la fracción de muertes es 0.2.
- (16) Tasa mortalidad= Población de la Especie animal * fracción de muerte natural * multiplicador fracción de muertes
Units: individuo/año
Esta es la tasa de muertes de la población. Se determina multiplicando la población por la fracción de muertes, tantas veces como lo indique el multiplicador de la tasa de muertes, el cual sirve para producir la dimensión correcta para el flujo.
- (17) Tasa natalidad = Población de la Especie animal * fracción de nacimientos por año
Units: individuo/año
Esta es la tasa de natalidad de la población. Se determina multiplicando la población por una fracción de nacimientos.
- (18) TIME STEP = 0.0625
Units: Year [0,?]
The time step for the simulation.

B) MODELO DE EUTROFICACION DEL LAGO

- (01) Biomasa = INTEG (Tasa de crecimiento - Tasa de muerte - Tasa de respiración,0.2)
Units: mg/litro
- (02) Detritus = INTEG (- Tasa de deterioro + Tasa de muerte,2)
Units: mg/litro
- (03) FINAL TIME = 200
Units: year
The final time for the simulation.
- (04) INITIAL TIME = 0
Units: year
The initial time for the simulation.
- (05) multiplicador alimentación = tasa inicial respiración*(tabla multiplicador alimentación(Time))
Units: mg/litro
- (06) Nutrientes = INTEG (Tasa de alimentación - Tasa de crecimiento + Tasa de deterioro + Tasa de respiración, 40)
Units: mg/litro
- (07) oxígeno en epilimnión=10
Units: mg/litro
- (08) Oxígeno en hipolimnión = INTEG (Tasa de solución - Tasa de consumo de oxígeno, oxígeno en epilimnión-1)
Units: mg/litro
- (09) Oxígeno promedio en el lago = razón volumen epilimnión hipolimnión * oxígeno en epilimnión + (1-razón volumen epilimnión hipolimnión)*Oxígeno en hipolimnión
Units: mg/litro
- (10) razón oxígeno nutriente=2.67
Units: Dmnl
- (11) razón volumen epilimnión hipolimnión=0.1
Units: Dmnl
- (12) SAVEPER = 1
Units: year
The frequency with which output is stored.
- (13) tabla multiplicador alimentación([(0,0)-(200,40)],(0,1),(20,1.44),(40,2.06),(60,2.96),(80,4.25), (100,6.15),(120,8.82),(140,12.7),(160,18.29),(180,26.34),(200,37.93))
Units: Dmnl
- (14) tasa constante crecimiento=0.2
Units: litro/mg

- (15) tasa constante deterioro=0.0445
Units: litro/mg
- (16) tasa constante muerte=4
Units: Dmnl
- (17) tasa constante respiración=0.445
Units: litro/mg
- (18) tasa constante solución=4.27
Units: Dmnl
- (19) Tasa de alimentación = multiplicador alimentación
Units: mg/litro
- (20) Tasa de consumo de oxígeno = (Tasa de respiración + Tasa de deterioro)*razón oxígeno nutriente
Units: mg/litro
- (21) Tasa de crecimiento = tasa constante crecimiento * Nutrientes * Biomasa
Units: mg/litro
- (22) Tasa de deterioro = tasa constante deterioro * Detritus * Oxígeno en hipolimnión
Units: mg/litro
- (23) Tasa de muerte = tasa constante muerte * Biomasa
Units: mg/litro
- (24) Tasa de respiración = tasa constante respiración * Biomasa * Oxígeno en hipolimnión
Units: mg/litro
- (25) Tasa de solución = MIN(20, tasa constante solución*(oxígeno en epilimnión - Oxígeno en hipolimnión))
Units: mg/litro
- (26) tasa inicial respiración = 0.001
Units: mg/litro
- (27) TIME STEP = 0.0625
Units: year [0,?]
The time step for the simulation.

C) MODELO DE CRECIMIENTO DE UN CENTRO POBLADO UBICADO EN UNA
ZONA PETROLERA.

- (01) abandono = Proyectos/tiempo de vida del proyecto
Units: proyectos/año
Tasa de abandono de los proyectos.
- (02) área de tierra = 300
Units: Ha
Total de tierra disponible para la explotación petrolera.
- (03) construcción = fracción de construcción * multiplicador de disponibilidad de tierra * multiplicador de disponibilidad de trabajo * Proyectos
Units: proyectos/año
Tasa de construcción de proyectos. Esta afectada por el número de proyectos ya existentes, la fracción de construcción normal y la disponibilidad de tierra y trabajo.
- (04) disponibilidad de trabajo = fuerza de trabajo/trabajos
Units: personas/trabajos
La división entre la fuerza de trabajo y el número de trabajos disponibles.
- (05) emigración = Población en el área del proyecto * fracción de emigración
Units: personas/año
Número de personas que salen del área cada año.
- (06) FINAL TIME = 50
Units: Year
The final time for the simulation.
- (07) fracción de construcción = 0.02
Units: 1/año
Tasa normal de construcción de proyectos.
- (08) fracción de emigración = 0.08
Units: 1/año
Fracción de la población que emigra por año.
- (09) fracción de nacimientos = 0.015
Units: 1/año
Fracción de la población que se reproduce cada año.
- (10) fracción de participación en el trabajo = 0.35
Units: Dmnl
Fracción total de la población que está dispuesta y capacitada para trabajar.
- (11) fracción de tierra ocupada = Proyectos * tierra por proyecto/área de tierra

- Units: Dmnl
Fracción de tierra petrolera que ya ha sido explotada.
- (12) fuerza de trabajo = fracción de participación en el trabajo * Población en el área del proyecto
Units: personas
Cantidad de personas candidatas para trabajar. Es una fracción constante de la población.
- (13) INITIAL TIME = 0
Units: Year
The initial time for the simulation.
- (14) inmigración = inmigración normal * multiplicador atractivo del trabajo * Población en el área del proyecto
Units: personas/año
Número de personas que se movilizan al área petrolera cada año. Esta afectada por la población actual, la fracción normal de inmigración y la disponibilidad de trabajo.
- (15) inmigración normal = 0.08
Units: 1/año
Cantidad de personas capacitadas para trabajar. Es una fracción constante de la población.
- (16) muertes = Población en el área del proyecto/tiempo de vida promedio
Units: personas/año
Número de personas que mueren cada año.
- (17) multiplicador de disponibilidad de tierra = tabla de tierra disponible(fracción de tierra ocupada)
Units: Dmnl
- (18) multiplicador atractivo del trabajo = Tabla de atractivo del trabajo(disponibilidad de trabajo/trabajos por persona)
Units: Dmnl
Este multiplicador muestra el efecto de la disponibilidad de trabajo sobre la inmigración. Cuando existen muchos trabajos disponibles, las personas se inclinan a inmigrar hacia el área petrolera. Cuando no hay suficiente trabajo, las personas no se movilizan hacia dicha zona.
- (19) multiplicador de disponibilidad de trabajo = tabla de trabajo disponible(disponibilidad de trabajo/trabajos por persona)
Units: Dmnl
Este multiplicador muestra el efecto de la disponibilidad de trabajo sobre la construcción. Cuando la disponibilidad de trabajo es mayor a 1, es más probable que se construyan nuevos proyectos.
- (20) nacimientos = fracción de nacimientos * Población en el área del proyecto
Units: personas/año
Número de personas que nacen por año en el área.

- (21) Población en el área del proyecto = INTEG (+inmigración+nacimientos-emigración-muertes, población inicial)
Units: personas
Cantidad de personas que viven en el área petrolera.
- (22) población inicial = 3000
Units: personas
Población inicial.
- (23) Proyectos= INTEG (+construcción - abandono, proyectos en el área)
Units: proyectos
Cantidad de proyectos en el área.
- (24) proyectos en el área = 30
Units: proyectos
Cantidad inicial de proyectos en el área.
- (25) SAVEPER = TIME STEP
Units: Year [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (26) Tabla de atractivo del trabajo([(0,0)-(10,10)],(0,4),(0.2,3.95),(0.4,3.82),(0.6,3.56), (0.8,2.86),(1,1.24), (1.2,0.64), (1.4,0.32),(1.6,0.18),(1.8,0.105),(2,0.075))
Units: Dmnl
- (27) tabla de tierra disponible([(0,0)-(10,10)],(0,1),(0.1,2.3),(0.2,2.98),(0.3,3.34),(0.4,3.48),(0.5,3.5), (0.6,3.44),(0.7,3.12),(0.8,2.3),(0.9,1),(1,0))
Units: Dmnl
Este multiplicador muestra el efecto de la disponibilidad de tierras sobre la construcción de proyectos.
- (28) tabla de trabajo disponible([(0,0)-(5,5)],(0,0.05),(0.2,0.105),(0.4,0.225),(0.6,0.36),(0.8,0.54),(1,0.84), (1.2,1.24),(1.4,2.36),(1.6,3.34),(1.8,3.86),(2,4))
Units: Dmnl
- (29) tiempo de vida del proyecto = 50
Units: año
Tiempo de duración promedio de un proyecto.
- (30) tiempo de vida promedio = 66.7
Units: año
El tiempo de vida promedio es aproximadamente 66.7 años.
- (31) tierra por proyecto = 5
Units: Ha/proyectos
Area de tierra ocupada por un proyecto.

- (32) $\text{TIME STEP} = 0.0625$
Units: Year [0,?]
The time step for the simulation.
- (33) $\text{trabajos} = \text{Proyectos} * \text{trabajos por proyecto}$
Units: trabajos
Número de trabajos proporcionados por los proyectos existentes. Es el producto de la cantidad de proyectos por el número de trabajos por proyecto.
- (34) $\text{trabajos por persona} = 1$
Units: personas/trabajos
- (35) $\text{trabajos por proyecto} = 50$
Units: trabajos/proyectos
Número de trabajos que ofrece cada proyecto.

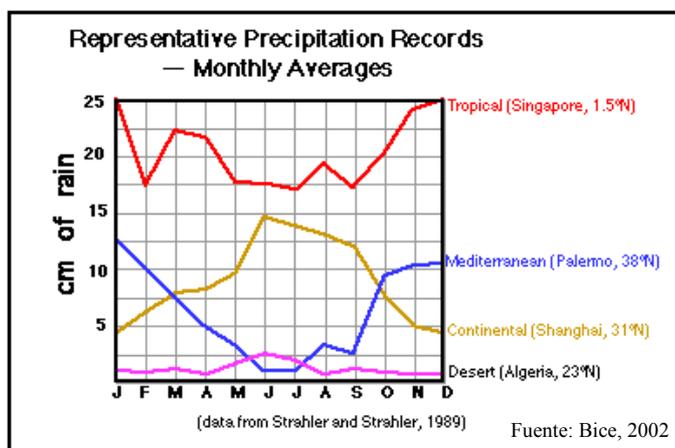
D) MODELO DEL SISTEMA DE AGUAS EN EL SUELO.

Consideraciones generales del modelo (Bice, 2002):

Las unidades básicas en los reservorios están establecidas como centímetros de agua. Puede parecer extraño que un reservorio de agua no contenga un volumen. Pero, esta aproximación será más simple y los valores numéricos serán los mismos si se conoce el volumen de agua fluyendo hacia adentro y hacia fuera de un campo con área superficial igual a 1 m^2 o 1 km^2 . Parte de la razón para hacer esta aproximación se debe a que los datos recolectados que están relacionados con este sistema, generalmente se presentan en unidades de centímetros por unidad de tiempo en vez de volumen por unidad de tiempo. La unidad básica para este modelo será un mes, lo cual es razonable para investigar cambios entre estaciones. Así, los flujos tendrán las unidades de cm/mes.

Flujos en el sistema de aguas en el suelo (Bice, 2002):

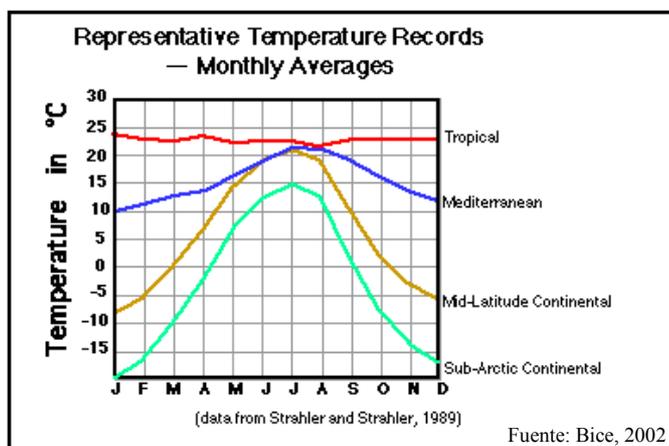
Precipitación: es una función gráfica en el tiempo, variando de 1 a 12 meses en el eje de las X, y el promedio mensual de precipitación en centímetros en el eje de las Y. Esto significa que se tienen doce puntos de datos en el gráfico. Se debe tomar en cuenta que este gráfico no describe precipitaciones inesperadas, las cuales frecuentemente se presentan en la forma de tormentas impredecibles. En este modelo, se asume que las precipitaciones son constantes y continuas, variando su intensidad a lo largo del año. La forma del gráfico depende del clima local, algunos ejemplos representativos se muestran en la siguiente figura:



Escorrentía: cuando el agua cae sobre la superficie más rápido de lo que el suelo la puede absorber, esta comienza a formar una capa delgada y fluye sobre la superficie. La magnitud de este flujo de escorrentía depende de la cantidad de agua en la capa superficial, la pendiente y rugosidad de la superficie. La rugosidad es una función de la vegetación que cubre el área.

La escorrentía se definirá como una tasa constante multiplicada por la cantidad de agua en la superficie. Esta tasa constante se puede variar con el fin de representar diferentes tipos de superficies, por ejemplo si se le da el valor de 0.9 por mes, es equivalente a decir que el 90% de agua podría fluir sobre la superficie cada mes si parte de este agua no se filtrara en el suelo.

Este modelo toma en cuenta la posibilidad de que el suelo este cubierto por nieve, ya que cuando esto sucede la escorrentía es cero. Por esto, para establecer el valor de la escorrentía es necesario conocer la temperatura del suelo. En la siguiente figura se muestran algunos registros representativos de temperaturas mensuales:

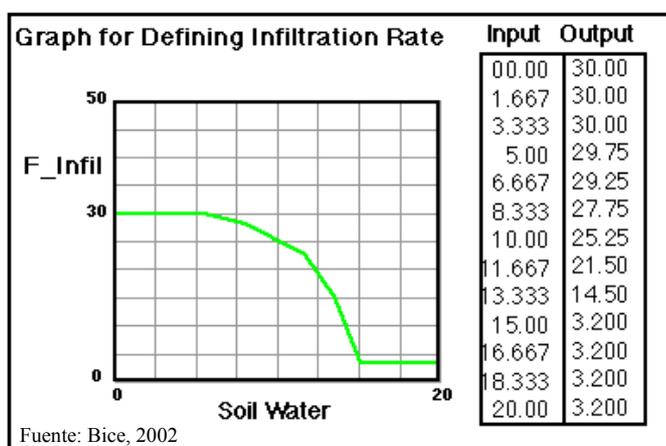


Infiltración: la tasa a la cual el agua se infiltra en el suelo depende, al igual que la escorrentía, de la temperatura existente en la superficie y en el suelo, ya que cuando el suelo está congelado no ocurre infiltración. Por lo tanto se deben cumplir las condiciones de que tanto la temperatura en la superficie como en el suelo sean superiores a 0°C para que ocurra infiltración.

La infiltración de agua en el suelo es proceso muy bien estudiado, así que en este modelo se podrían utilizar mediciones actuales de tasas de infiltración durante una tormenta, pero estos valores están en el orden de 10-20 mm/hora, lo cual se convierte a 720 a 1440 cm/mes que son valores muy altos que no se utilizan en la literatura existente sobre agua en el suelo, por lo tanto, para este modelo se usarán diferentes aproximaciones que permiten crear un modelo de estado estable para las condiciones iniciales.

La tasa de infiltración obviamente varía de acuerdo a los diferentes tipos de suelos, siendo mayor en suelos arenosos y menor en suelos arcillosos. Además, la infiltración no es igual bajo todas las condiciones de un suelo dado, en su lugar está parece generalmente seguir un patrón en el cual la tasa de infiltración es inversamente proporcional a la cantidad de agua almacenada en el suelo.

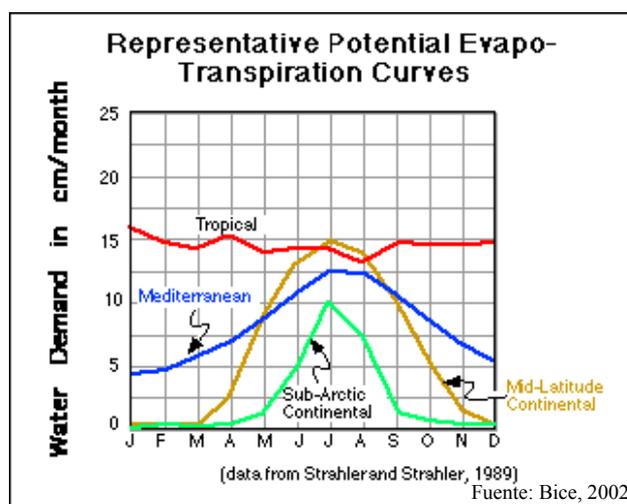
En este modelo, se especifica la relación entre la tasa de infiltración y la cantidad de agua acumulada en el reservorio de agua en el suelo, a través de gráfico de la siguiente figura:



Evapo-transpiración: comprende todas las pérdidas de agua del suelo por la combinación de la evaporación y transpiración, aunque en la mayoría de los casos, la transpiración es la más importante entre estos dos procesos. Las plantas actúan como bombas de agua, tomando el agua por sus raíces, distribuyéndola por toda la planta y por último la libera en forma de vapor a través de los poros o estomas de las hojas. Por esto la demanda de agua es dependiente de la estación y el tipo de vegetación de la región, pero la

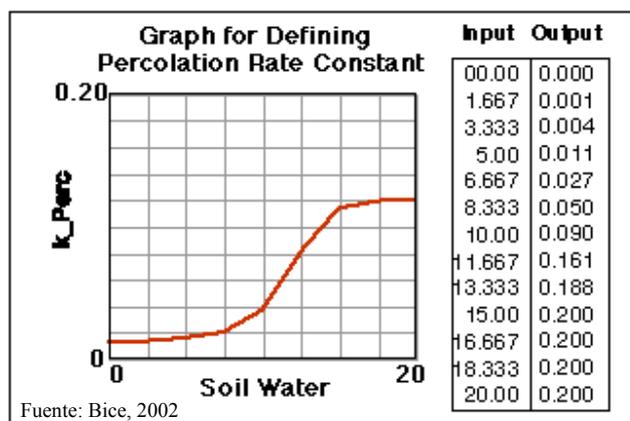
cantidad de agua actual empleada en este proceso representa un tipo de compromiso entre lo que las plantas quieren y lo que ellas pueden tomar.

En este modelo la tasa de agua perdida a través de la evapo-transpiración se determinará comparando lo que las plantas quieren y lo que está disponible. Lo que las plantas quieren se llama evapo-transpiración potencial, la siguiente figura muestra algunas curvas representativas para una variedad de diferentes tipos de clima:



Percolación profunda: el agua almacenada en los poros del suelo desciende bajo la fuerza de la gravedad, a través de un proceso llamado percolación que transfiere el agua del suelo hacia las aguas subterráneas. La tasa de percolación es altamente dependiente del tipo de suelo (los suelos arenosos drenan más rápido que los arcillosos), y también de la cantidad de agua presente en el reservorio.

En este modelo la estrategia es definir la tasa de percolación cuando el suelo está saturado, usando la suposición de estado estable. Partiendo de esto, la tasa de flujo en estado estable es de 3.0 cm/mes. Si se decide definir la percolación inicialmente igual a una tasa constante multiplicada por la cantidad de agua en el reservorio, entonces la tasa constante en estado estable deber tener el valor de 0.2. Así, se construye un convertidor gráfico para definir la tasa constante $k_{\text{percolación}}$, como sigue:



Ecuaciones:

- (01) agua en el suelo= INTEG (+infiltración-evapotranspiración-percolación,15)
Units: cm
- (02) agua en la superficie del suelo= INTEG (+precipitación-escorrentía-infiltración,2)
Units: cm
- (03) escorrentía=IF THEN ELSE(temperatura superficie>0, agua en la superficie del suelo*k escorrentía , 0)
Units: cm/Month
- (04) evapotranspiración=IF THEN ELSE(temperatura del suelo>0:AND:temperatura superficie>0, evapotranspiración actual ,0)
Units: cm/Month
- (05) evapotranspiración actual=IF THEN ELSE(agua en el suelo>evapotranspiración potencial, evapotranspiración potencial , agua en el suelo*0.9)
Units: cm/Month
- (06) evapotranspiración potencial=tabla evapo potencial(Time)
Units: cm/Month
- (07) F infiltración=tabla F infil(agua en el suelo)
Units: cm/Month
- (08) FINAL TIME = 12
Units: Month
The final time for the simulation.
- (09) infiltración=IF THEN ELSE(temperatura superficie>0 :AND: temperatura del suelo>0, F infiltración , 0)
Units: cm/Month

- (10) INITIAL TIME = 1
Units: Month
The initial time for the simulation.
- (11) k escorrentía=0.25
Units: 1/Month
- (12) k percolación=tabla k perc(agua en el suelo)
Units: cm/Month
- (13) percolación=IF THEN ELSE(temperatura del suelo>0, agua en el suelo*k percolación , 0)
Units: cm/Month
- (14) precipitación=tabla precipitación(Time)
Units: cm/Month
- (15) SAVEPER = TIME STEP
Units: Month [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (16) tabla evapo potencial([(0,0)-(20,20)],(1,16),(2,15),(3,14.6),(4,15),(5,13.8),(6,13.5),(7,13.5),(8,13),
(9,14.9),(10,14.9),(11,14.9),(12,15))
Units: Dmnl
- (16) tabla F infil([(0,0)-(20,40)],(0,30),(1.67,30),(3.33,30),(5,29.8),(6.67,29.2),(8.33,27.8),(10,25.2),
(11.7,21.5),(13.3,14.5),(15,3.2),(16.7,3.2),(18.3,3.2),(20,3.2))
Units: 1/Month
- (18) tabla k perc([(0,0)-(20,0.2)],(0,0),(1.67,0.001),(3.33,0.004),(5,0.011),(6.67,0.027),(8.33,0.05),
(10,0.09),(11.7,0.161),(13.3,0.188),(15,0.2),(16.7,0.2),(18.3,0.2),(20,0.2))
Units: 1/Month
- (19) tabla precipitación([(0,0)-(20,40)],(1,25),(2,17.5),(3,22.5),(4,22),(5,17.5),(6,17.5),(7,17.2),(8,19),
(9,17.5),(10,20),(11,24),(12,25))
Units: cm
- (20) tabla temp superficie([(0,-8)-(20,25)],(1,24),(2,23.5),(3,23),(4,24),(5,22),(6,22),(7,22),(8,21),(9,22),
(10,22),(11,22),(12,22))
Units: Dmnl
- (21) temperatura del suelo=0.9*DELAY3(temperatura superficie, 0.5)
Units: Dmnl
- (22) temperatura superficie=tabla temp superficie(Time)
Units: Dmnl
- (23) TIME STEP = 0.1
Units: Month [0,?]
The time step for the simulation.

E) MODELO FLUJO DE AGUAS EN UNA CUENCA

Ecuaciones:

(01) agua en el río = INTEG (descarga 1+descarga 2+escorrentía-caudal,valor inicial)

Units: m*m*m

Agua contenida en la red de canales de agua que experimentan cambios anuales en su flujo hacia la cuenca. Se asume que el río tiene una longitud de 20 km. y el área promedio de la sección transversal es de 5 mts. cuadrados, por lo tanto se tienen 100000 mts. cúbicos de agua como valor inicial para esta variable nivel.

(02) agua en el suelo = INTEG (+infiltración-descarga 1-percolación,valor inicial 2)

Units: m*m*m

Se asume que el suelo tiene un espesor promedio de 2 mts. y una porosidad del 10% (espacio que puede ser ocupado por el agua), esto proporciona un volumen de 1.6E8 mts. cúbicos de capacidad.

Para comenzar el suelo estará saturado hasta la mitad de su capacidad, lo que proporciona un volumen inicial de 8E7 mts. cúbicos.

(03) agua en la superficie = INTEG (+precipitación-escorrentía-infiltración,0)

Units: m*m*m

Este nivel representa el agua que forma una pequeña capa delgada en la superficie del suelo, presente cuando la tasa de precipitación excede la tasa de infiltración del suelo.

Inicialmente este nivel tiene un nivel igual a cero.

(04) agua subterránea = INTEG (+percolación-descarga 2,valor inicial 3)

Units: m*m*m

Representa el agua subterránea almacenada en el acuífero subyacente a la cuenca. En este modelo se está interesado en la parte del acuífero que suministra agua a la corriente, es probable que tenga un espesor apenas equivalente a la cantidad de relieve topográfico en la cuenca. Inicialmente se usará un espesor del acuífero de 20 mts, el cual, combinado con una porosidad (% de poros por volumen) del 10% y una cuenca con un área de 800 km cuadrados, proporciona un volumen inicial de 16E8 mts, cúbicos (una gran cantidad de agua).

(05) área de la cuenca = 8e+008

Units: m*m

(06) base flow = 7200

Units: (m*m*m)/Hour

Flujo base de la corriente.

(07) capacidad del suelo = área de la cuenca*espesor del suelo*porosidad del suelo

Units: m*m*m

(08) caudal = agua en el río*(base flow/valor inicial)

- Units: m*m*m
- (09) descarga 1 = base flow*0.05*(agua en el suelo/valor inicial 2)
Units: m*m*m
El agua en el suelo contribuye con el 5% del flujo base.
- (10) descarga 2 = base flow*0.95*(agua subterránea/valor inicial 3)
Units: m*m*m
El agua subterránea contribuye con el 95% del flujo base.
- (11) escorrentía = IF THEN ELSE(agua en la superficie>=0, agua en la superficie*k escorrentía , 0)
Units: m*m*m
- (12) espesor del acuífero = 20
Units: m
- (13) espesor del suelo = 2
Units: m
- (14) f infiltración = tabla infiltración(agua en el suelo/capacidad del suelo)
Units: Dmnl
- (15) f percolación = tabla percolación(agua en el suelo/capacidad del suelo)
Units: Dmnl
- (16) FINAL TIME = 72
Units: Hour
The final time for the simulation.
- (17) infiltración = IF THEN ELSE(agua en la superficie>=0, área de la cuenca*(f infiltración*0.01) , 0)
Units: m*m*m
- (18) INITIAL TIME = 1
Units: Hour
The initial time for the simulation.
- (19) k escorrentía = 0.4
Units: Dmnl
Esta es una función compleja de la rugosidad de la superficie, pendiente y red de drenaje.
- (20) lluvia = tabla lluvia(Time)
Units: cm/Hour
- (21) percolación = área de la cuenca*(f percolación*0.01)
Units: m*m*m/Hour
- (22) porosidad del acuífero = 0.1
Units: Dmnl
10% de porosidad.

- (23) porosidad del suelo = 0.1
Units: Dmnl
Poros por volumen, 10%.
- (24) precipitación = área de la cuenca*(lluvia*0.01)
Units: m*m*m/Hour
- (25) profundidad de la superficie = agua en la superficie/área de la cuenca
Units: m
Profundidad del agua en metros.
- (26) SAVEPER = 1
Units: Hour [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (27) tabla infiltración([(0,0)-(1,5)],(0,5),(0.0833,4.9),(0.167,4.8),(0.25,4.6),(0.333,4.35),(0.417,4.1),
(0.5,3.8),(0.583,3.45),(0.667,3.05),(0.75,2.65),(0.833,2.05),(0.917,1.25),(1,0))
Units: Dmnl
- (28) tabla lluvia([(0,0)-(20,10)],(10,0),(11,0.1),(12,0.45),(13,1),(14,2.15),(15,2.6),(16,2.3),(17,1.2),
(18,0.55),(19,0.2),(20,0))
Units: Dmnl
- (29) tabla percolación([(0,0)-(1,0.1)],(0,0),(0.1,0),(0.2,0.0015),(0.3,0.003),(0.4,0.0065),(0.5,0.01),
(0.6,0.02),(0.7,0.0315),(0.8,0.043),(0.9,0.049),(1,0.05))
Units: Dmnl
- (30) TIME STEP = 0.25
Units: Hour [0,?]
The time step for the simulation.
- (31) valor inicial = 100000
Units: m*m*m
- (32) valor inicial 2 = 0.5*capacidad del suelo
Units: m*m*m
- (33) valor inicial 3 = porosidad del acuífero*espesor del acuífero*área de la cuenca
Units: m*m*m