

**DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA
EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA BASADA EN LA EVALUACIÓN DE
IMPACTOS AMBIENTALES PARA OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL
CARIBE COLOMBIANO**

**DANIEL FELIPE RESTREPO LINAREZ
FABIÁN RICARDO BOHÓRQUEZ ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2019

**DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA
EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA BASADA EN LA EVALUACIÓN DE
IMPACTOS AMBIENTALES PARA OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL
CARIBE COLOMBIANO**

**DANIEL FELIPE RESTREPO LINAREZ
FABIAN RICARDO BOHÓRQUEZ ORTIZ**

**Trabajo de investigación presentado para optar por el título de Ingeniero de
Petróleos**

**Director:
OSCAR VANEGAS ANGARITA
Especialista En Finanzas**

**Co-Director
CAMILO ANDRÉS GUERRERO MARTIN
Magíster Ciencia y Tecnología de Polímeros**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2019

CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS.....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL.....	17
2.1 EXPLORACIÓN	17
2.2 PERFORACIÓN Y COMPLETAMIENTO.....	22
2.3 PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE.....	30
2.4 EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO	33
2.5 GESTIÓN AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA <i>OFFSHORE</i>	40
2.5.1 Análisis ambiental de base	41
2.5.2 Mapas de sensibilidad.....	41
2.5.3 Identificación y evaluación de impactos	42
3. REVISIÓN DE SUS MÉTODOS	46
3.1 MÉTODO DE LAS LISTAS DE CONTROL.....	48
3.2 MÉTODOS MATRICIALES	49
3.3 REDES DE INTERACCIÓN	52
3.4 MÉTODO DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN AMBIENTAL.....	53
3.5 REPÚBLICA FEDERATIVA DE BRASIL	53
3.6 AUSTRALIA	55
3.7 NORUEGA.....	57
3.8 CANADÁ.....	58
4. APLICACIÓN METODOLÓGICA.....	60

4.1 UBICACIÓN	62
4.2 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE I	66
4.3 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE II	70
4.4 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE III	73
4.5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE IV	76
4.6 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE V	79
4.7 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE VI	82
5. CONCLUSIONES	92
6. RECOMENDACIONES	93
BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXOS	100

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso sísmico en ambientes costa afuera.	18
Figura 2. Interferencias en poblaciones marinas a causa de ondas sísmicas y movimiento de embarcaciones.	20
Figura 3. Trayectorias direccionales en perforaciones <i>offshore</i>	23
Figura 4. A. Esquema de la base contra estallidos instalada. B. Base contra estallidos pertenecientes a la estatal petrolera Petrobras.	25
Figura 5. Etapas ejecutadas en el completamiento de pozos <i>offshore</i>	26
Figura 6. Etapas del transporte de recortes en plataformas <i>offshore</i>	28
Figura 7. Plataformas petroleras offshore.	30
Figura 8. Sistema de producción marina y buques de transporte de crudo.	32
Figura 9. Principales desafíos en la producción y transporte de hidrocarburos costa afuera.	33
Figura 10. Ciclo de políticas e inserción de instrumentos de evaluación ambiental.	34
Figura 11. Diferencias entre EAE y EIA	39
Figura 12. Etapas de la Evaluación Ambiental Estratégica.	40
Figura 13. Tiempo estimado para llevar a cabo la EIA	42
Figura 14. Importancia del trazado de mapa de sensibilidades y proceso para la concepción de un plan de manejo ambiental.	43
Figura 15. Métodos provenientes de la Evaluación de Impactos Ambientales para la proposición, implementación y ejecución de la Evaluación Ambiental Estratégica	47
Figura 16. Representación esquemática de la creación de mapas de sensibilidad a través del método matricial	50

Figura 17. Esquema representativo del polígono final usado para la toma de decisiones.....	51
Figura 18. Etapas para la puesta en marcha de la EAE en Australia	56
Figura 19. Metodología general para la aplicación de la EAE en Canadá	59
Figura 20. Esquema de EAE antes de la elaboración de los planes, políticas y programas; desarrollada por Mariano 2007.	60
Figura 21. Propuesta de metodología de aplicación de EAE para el otorgamiento de licencias ambientales en proyectos costa afuera en Colombia.....	61
Figura 22. Ubicación de la zona de interés.....	62
Figura 23. División de los bloques	63
Figura 24. Descripción de elementos biológicos: Facies morfológicas, biota y otras actividades de interés	65
Figura 25. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de exploración	67
Figura 26. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de perforación	68
Figura 27. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de producción.....	68
Figura 28. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de transporte	69
Figura 29. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de abandono	69
Figura 30. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de exploración	70
Figura 31. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de perforación	71
Figura 32. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de producción.....	71
Figura 33. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de transporte	72
Figura 34. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de abandono	72
Figura 35. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de exploración	73
Figura 36. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de perforación	74
Figura 37. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de producción.....	74
Figura 38. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de transporte	75
Figura 39. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de abandono	75
Figura 40. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de exploración.....	76
Figura 41. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de perforación	77
Figura 42. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de producción	77

Figura 43. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de transporte	78
Figura 44. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de abandono	78
Figura 45. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de exploración.....	79
Figura 46. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de perforación	80
Figura 47. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de producción	80
Figura 48. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de transporte	81
Figura 49. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de abandono	81
Figura 50. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de exploración.....	82
Figura 51. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de exploración.....	83
Figura 52. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de perforación	83
Figura 53. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de transporte	84
Figura 54. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de abandono	84
Figura 55. Resultado final para el otorgamiento de bloques.....	89
Figura 56. Entidades propuestas para el control, consultoría y otorgamiento de licencias en el marco de la EAE.....	90
Figura 57. Auditorías marcadas en el intervalo inicial de producción	91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales impactos potenciales de las diferentes fases de estudios sísmicos.	21
Tabla 2. Análisis de impacto ambiental para cada actividad de E&P.....	44
Tabla 3. Principales residuos de los procesos de exploración y explotación.	45
Tabla 4. Relación de requisitos, tipo de licencia ambiental, estudio ambiental requerido y actividad para la EAE en la República Federativa de Brasil.	54
Tabla 5. Generalidades de la EAE en Noruega	57
Tabla 6. Tipo de contaminantes de acuerdo a las etapas más riesgosas desde el punto de vista ambiental.	64
Tabla 7. Medidas de mitigación para actividades específicas de exploración y explotación.....	85
Tabla 8. Medidas de mitigación por etapa.	86

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Modelo para llevar a cabo la construcción de los mapas de sensibilidad por el método matricial.....	100

RESUMEN

TÍTULO: DESARROLLO Y APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA BASADA EN LA EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA OPERACIONES COSTA AFUERA EN EL CARIBE COLOMBIANO¹

AUTORES: DANIEL FELIPE RESTREPO LINAREZ
FABIÁN RICARDO BOHÓRQUEZ ORTIZ²

PALABRAS CLAVE: Evaluación ambiental estratégica, Evaluación de impactos ambientales, proyectos costa afuera, caribe colombiano

DESCRIPCIÓN

En la actualidad, la necesidad de aumentar las reservas de hidrocarburos ha llevado a extender los horizontes de la exploración y explotación de este preciado recurso, por tal motivo es cada vez más común formular y desarrollar proyectos costa afuera. Entre los principales objetivos de este trabajo están: Identificar y describir los diferentes métodos de evaluación de impactos ambientales y proponer el uso de una metodología ya existente en la literatura para la correcta aplicación de la Evaluación Ambiental Estratégica en el país.

En concordancia con lo anterior, es necesario tomar todas las precauciones para evitar cualquier tipo de inconvenientes en esta operación debido a su alto riesgo; por otra parte, teniendo en cuenta la poca experiencia de la industria y entes nacionales en el control de esta clase de operaciones, es imperativa la obligación de proponer desde la academia diferentes soluciones y respuestas que atiendan las probables problemáticas que se generen en la ejecución de proyectos en aguas profundas y ultra-profundas. De igual manera, en la actualidad Colombia está incursionando en la oferta de bloques *offshore* así como en las operaciones propiamente dichas, por ese motivo es necesario también un estudio consciente de las pautas y metodologías acerca de la prevención y mitigación de los impactos ambientales de países que llevan décadas de experiencia y con una sólida industria petrolera marítima.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería de petróleos. Director: Oscar Vanegas Angarita, Especialista En Finanzas. Co-Director: Camilo Andrés Guerrero Martin, Magíster Ciencia y Tecnología de Polímeros

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT AND APPLICATION OF A METHODOLOGY FOR THE STRATEGIC ENVIRONMENTAL EVALUATION (SEA) BASED ON THE EVALUATION OF ENVIRONMENTAL IMPACTS FOR OFF-SHORE OPERATIONS IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN³

AUTHORS: DANIEL FELIPE RESTREPO LINAREZ
FABIAN RICARDO BOHORQUEZ ORTIZ ⁴

KEY WORDS: Strategic environmental assessment (SEA), Evaluation of environmental impacts (EEI), offshore projects, Caribbean Colombian Sea

DESCRIPTION

Currently, the industry needs to increase hydrocarbon reserves has led to the expansion of the exploration and exploitation of this resource, which is why it is increasingly common to formulate and develop offshore projects. Among the main objectives of this work are: Identify and describe the different methods of environmental impact assessment and propose the use of an existing methodology in the literature for the correct application of the Strategic Environmental Assessment in the country.

In accordance with the above mentioned, it is necessary to meet all precautions to avoid any type of inconvenience in this operation due to its high risk; on the other hand, to take into account the little experience of the industry and national entities in the control of this kind of operations. The obligation to propose from the academy different solutions and answers that address the likely problems generated in the execution of projects in deep and ultra-deep waters becomes imperative; In the same way, Colombia is currently venturing into the supply of offshore blocks, as well as their operations themselves; for this reason, it is also necessary to study the guidelines and methodologies about the prevention and mitigation of environmental impacts of countries that have decades of experience.

³ Undergraduate project

⁴ Physic-chemist Engineering Faculty. Petroleum Engineering School, Advisors: Eng. Oscar Vanegas Angarita. And Eng. Camilo Andrés Guerrero Martin M.Sc.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la necesidad de aumentar las reservas de hidrocarburos ha llevado a extender los horizontes de la exploración y explotación de este preciado recurso, por tal motivo es cada vez más común formular y desarrollar proyectos costa afuera.

En concordancia con lo anterior, es necesario tomar todas las precauciones para evitar cualquier tipo de inconvenientes en esta operación debido a su alto riesgo, por otra parte teniendo en cuenta la poca experiencia de la industria y entes nacionales en el control de esta clase de operaciones, se hace imperiosa la obligación de proponer desde la academia diferentes soluciones y respuestas que atiendan las probables problemáticas que se generen en la ejecución de proyectos en aguas profundas y ultra-profundas; De igual manera en la actualidad Colombia está incursionando en la oferta de bloques offshore, así como en las operaciones propiamente dichas, por ese motivo es necesario también un estudio consciente de las pautas y metodologías de países que llevan décadas de experiencia y con una sólida industria petrolera marítima.

El presente proyecto entregará como resultado un documento que contendrá en primera instancia, revisión bibliográfica pertinente a la evaluación ambiental estratégica en la industria de los hidrocarburos, a su vez una descripción minuciosa sobre los métodos de evaluación de impactos ambientales, y propondrá la implementación de una metodología para los retos de la industria *offshore* colombiana.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar y describir los diferentes métodos de evaluación de impactos ambientales.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los residuos con mayor riesgo ambiental provenientes de plataformas offshore.
- Establecer mecanismos de acción para las diferentes contingencias ambientales en las operaciones rutinarias de la industria de los hidrocarburos en aguas profundas y ultra-profundas.
- Proponer el uso de una metodología ya existente en la literatura para la correcta aplicación de la Evaluación Ambiental Estratégica en el país
- Ofrecer una guía anexa para la implementación de la metodología de evaluación de impactos ambientales objeto de esta investigación, que sirva como modelo estándar para futuros proyectos de investigación en la Academia y/o Industria

2. FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL

Las operaciones costa afuera desarrolladas en la industria de los hidrocarburos representan diversos desafíos ambientales y técnicos. A su vez, las etapas de la cadena del negocio difieren estructuralmente con las desarrolladas *onshore*. En este capítulo se describirán las intervenciones correspondientes al *Upstream* y se mencionarán los principales agentes contaminantes que ponen en riesgo el ecosistema marino, de igual manera se enumerarán algunas estrategias contingentes que mitiguen y respondan ante cualquier eventualidad.

2.1 EXPLORACIÓN

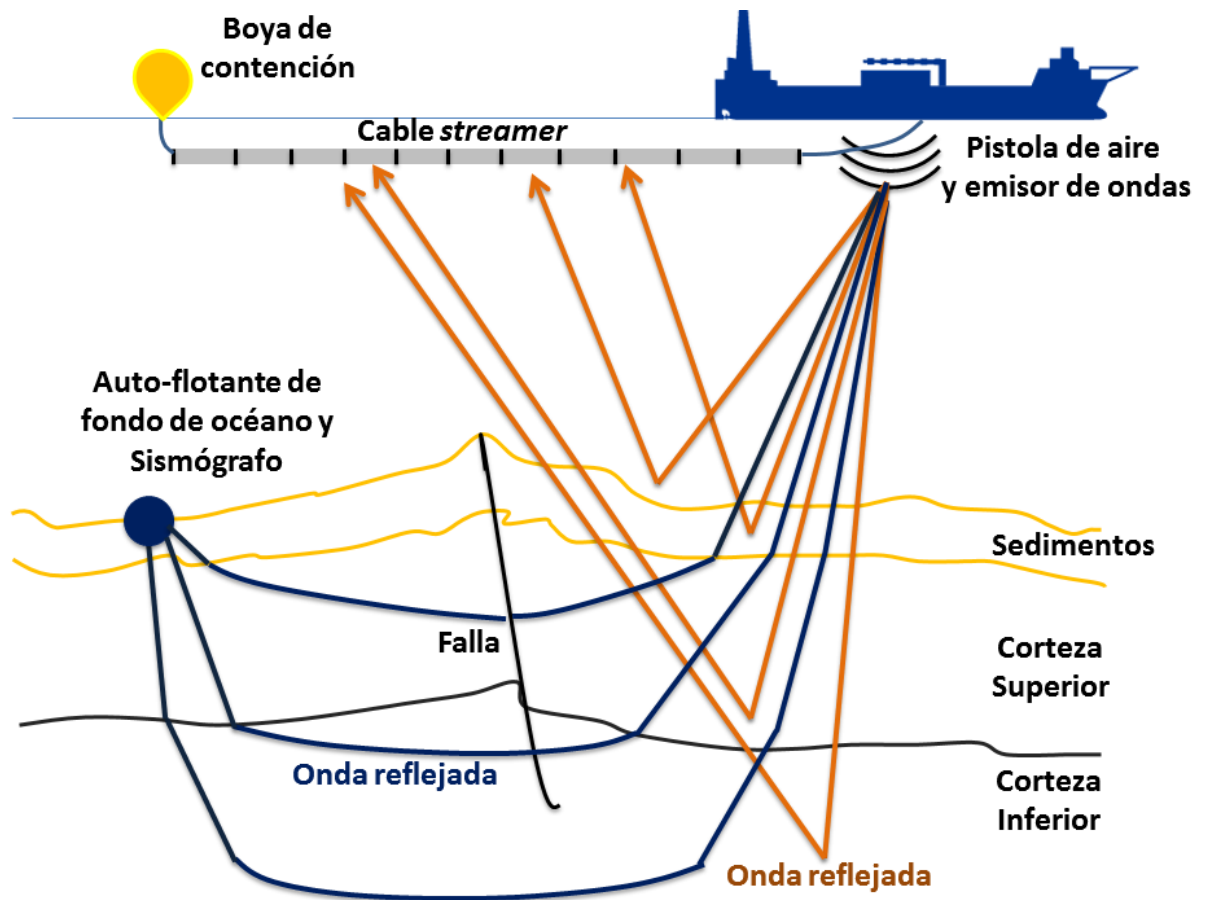
La prospección marina de los recursos, requieren de un estudio a profundidad del cuerpo de agua en donde se llevará a cabo la operación, por este motivo son necesarios estudios oceanográficos que describan las corrientes marinas y estime la respuesta del océano ante una eventualidad meteorológica.

Para conocer si en la formación cubierta por el lecho marino hay reservas comerciales se acuden a los estudios convencionales de gravimetría, magnetometría y sismografía, de igual forma análisis batimétricos permiten mapear térmicamente la columna de agua.

La Figura 1 muestra el procedimiento sísmico en ambiente *offshore*, en primera instancia un buque con sistema vibra 6 anclado a una boya de contención con cableado *streamer* emite ondas a través de una pistola de aire, estas viajan a través del ambiente y son receptadas a través de un sismógrafo instalado en el fondo del

océano. Las ondas emitidas son sensibles a los ambientes sedimentarios y a los accidentes geológicos.

Figura 1. Proceso sísmico en ambientes costa afuera.



Fuente: Modificado de *Marine seismic surveys*

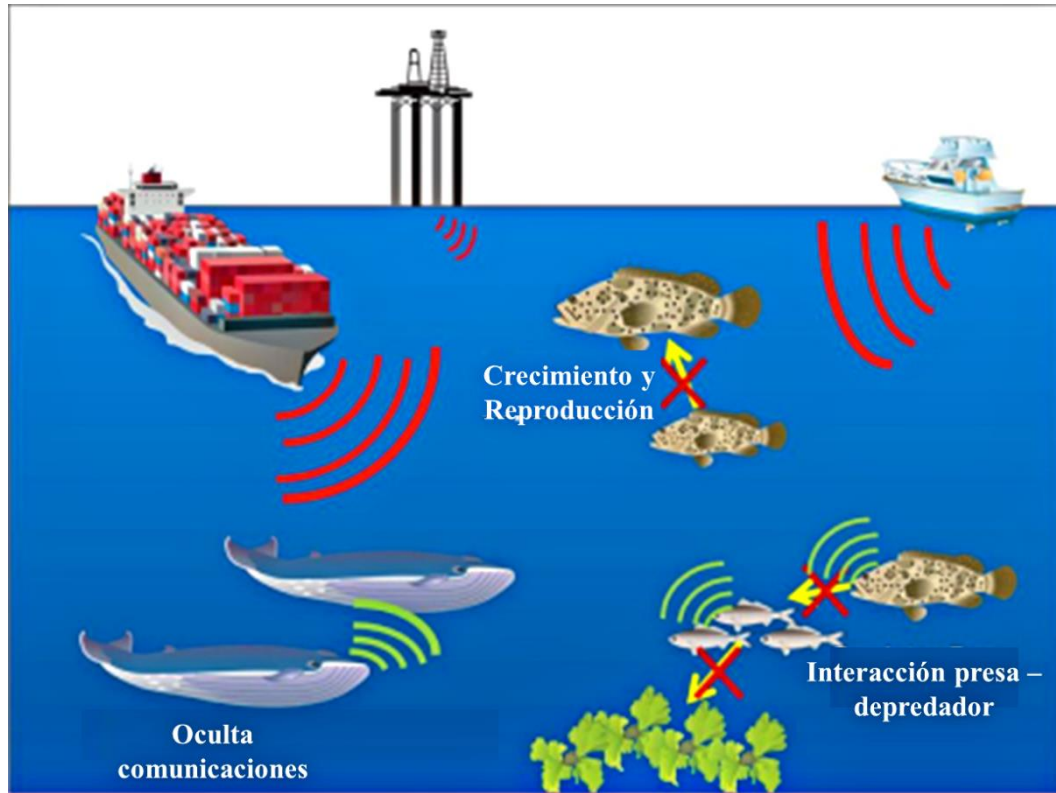
En cuanto a los estudios ambientales para la prospección sísmica, son adquiridos datos de meteorología, movimientos de marea, corrientes marinas y densidad del agua, que serán utilizados para planificar la toma de decisiones para probables impactos ambientales. Es importante conocer el área delimitada para el trabajo

antes de la exploración sísmica debido a que de esta manera pueden ser redactados planes de contingencia que permitan predecir las posibles trayectorias del hidrocarburo, en caso de que este sea derramado.⁵

Por otra parte es preponderante el levantamiento de información biológica sobre los diferentes grupos de especies marinas que se encuentran en el área definida para la realización de los trabajos sísmicos; como puede evidenciarse en la figura 2 las alteraciones en la corriente marina provenientes de embarcaciones y las vibraciones emitidas por las pistolas de aire generan problemas de crecimiento y reproducción de cardúmenes, oculta las comunicaciones entre elementos de la misma especie como en el caso de las orcas e interfiere con la interacción entre la presa y el depredador.

⁵ McCAULEY, R. D.; FEWTRELL, J.; DUNCAN, A. J.; JENNER, C.; JENNER, M. N.; PENROSE, J. D.; ... & McCABE, K. Marine seismic surveys—a study of environmental implications. *The APPEA Journal*, 40(1), 692-708 McHarg, I. L. (1968). *Values, process, and form*. 2000

Figura 2. Interferencias en poblaciones marinas a causa de ondas sísmicas y movimiento de embarcaciones.



Fuente: NOWACEK, D. P.; CLARK, C. W.; MANN, D.; MILLER, P. J.; ROSENBAUM, H. C.; GOLDEN, J. S.; ... & SOUTHALL, B. L. Marine seismic surveys and ocean noise: time for coordinated and prudent planning. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(7), 2015. p. 378-386.

Otros impactos son identificados en los estudios sísmicos y se encuentran plasmados a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales impactos potenciales de las diferentes fases de estudios sísmicos.

Fase de la actividad	Principales impactos	Características de los impactos
Movilización	Interferencia con organismos marinos (Cetáceos, principalmente) debido a las posibilidades de colisión de las embarcaciones con las embarcaciones y la generación de ruidos y vibraciones.	NEGATIVO De pequeña magnitud y de corta duración
	Aumento del tráfico de embarcaciones circulando entre las bases de apoyo y el área de estudio sísmico.	
	Aumento del riesgo de accidentes asociados al tráfico de las embarcaciones.	
	Variación de la recaudación tributaria.	POSITIVO De pequeña magnitud y de corta duración
	Variación de los salarios debido a la generación de empleos y a la contratación de servicios a terceros.	
Operación	Variación de la calidad de las aguas debido a la posibilidad del aumento de la concentración de materia orgánica asociada a las aguas residuales sanitarias y restos alimenticios; también pueden surgir partículas sólidas en función de la generación de ondas sísmicas y fugas de combustible y crudo durante el abastecimiento de las embarcaciones.	NEGATIVO De pequeña magnitud y de corta duración
	Interferencia con el tráfico marítimo y el aumento del riesgo de accidentes de tráfico, debido a un aumento en la circulación de embarcaciones.	
	Interferencia con organismos marinos como consecuencia de posibles colisiones con embarcaciones y por la generación de vibraciones de luz, ondas sonoras y sísmicas, las cuales pueden causar daños físicos e inclusive la muerte de algún espécimen.	
	Interferencia con arrecifes de coral debido a la colocación de cables en el fondo y a la generación de ondas sísmicas, aumento de la	

Fase de la actividad	Principales impactos	Características de los impactos
	concentración de partículas sólidas en el cuerpo de agua, provocando desgaste de las superficies corallinas y aumento de la turbidez.	
Desmovilización	Interferencia con organismos marinos (Cetáceos, principalmente) debido a las posibilidades de colisión de las embarcaciones con las embarcaciones y la generación de ruidos y vibraciones.	NEGATIVO De pequeña magnitud y de corta duración
	Interferencia con el tráfico marítimo como consecuencia del aumento de embarcaciones que circulan entre las bases de apoyo y el área de estudio sísmico.	
	Aumento del riesgo de accidentes de tráfico debido a la intensificación del tránsito de embarcaciones circulando entre las bases de apoyo y el área de estudio.	

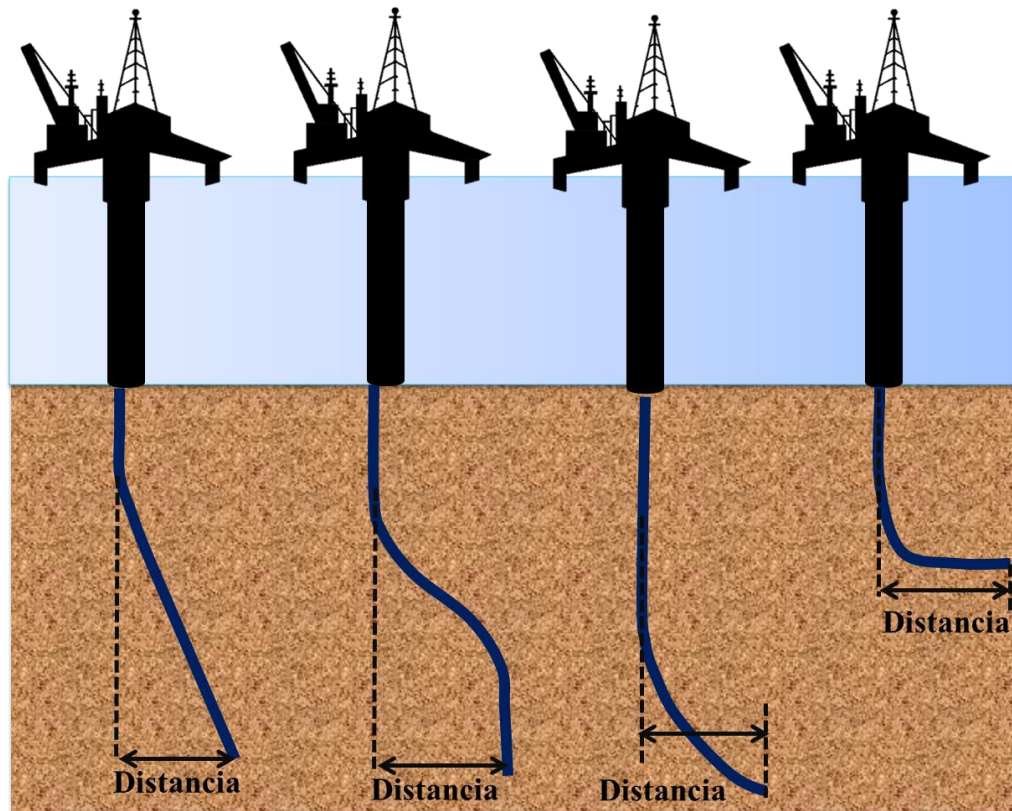
Fuente: MARIANO, Jacqueline Barboza. Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas offshore. Tesis de doctorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

2.2 PERFORACIÓN Y COMPLETAMIENTO

Teniendo en cuenta la información suministrada por la prospección sísmica, se procede al establecimiento de las zonas que presentan las mejores condiciones para efectuar las perforaciones, de igual manera se determinan las trayectorias que deben ser seguidas; las características de ambientes sedimentarios deltaicos representan un desafío para los trabajos de perforación, debido a que en su gran mayoría las perforaciones serán de carácter direccional, en la Figura 3 se establecen las trayectorias direccionales dispuestas en yacimientos *offshore*, cabe

destacar que las herramientas de MWD (*Measurement while drilling*) y LWD (*Logging while drilling*) son vitales para alcanzar las formaciones objetivo.

Figura 3. Trayectorias direccionales en perforaciones *offshore*.



Fuente: COOK, R. L.; NICHOLSON, J. W.; SHEPPARD, M. C., & WESTLAKE, W. First real time measurements of downhole vibrations, forces, and pressures used to monitor directional drilling operations. In SPE/IADC drilling conference. Society of Petroleum Engineers. January 1989

En las operaciones costa afuera el principal objetivo es alcanzar la zona productora generando el menor daño a la formación posible, construyendo mediante la ingeniería de pozo un conducto cilíndrico que una las arenas hidrocarburíferas con la cabeza de pozo submarina, que posteriormente será ligada a la plataforma de producción.

En una operación típica de perforación de un pozo en aguas profundas se varía 5 veces el diámetro de la tubería de revestimiento (*casing*), teniendo de esta manera un rango de diámetros que va de 36 a 8,5 pulgadas.⁶

Inicialmente se asienta el revestimiento conductor seguido del asentamiento y cementación del revestimiento de superficie, la principal función de este conjunto de asentamientos es conferir la rigidez estructural del sistema de la cabeza de pozo para soportar todos los esfuerzos transferidos durante la construcción del pozo por el conjunto de *risers* y *Blow Out Preventer*.⁷

Cuando el lecho marino lo permite, se utilizan bases contra estallidos que suman un refuerzo adicional al ya ejercido por las preventoras, la Figura 4 esquematiza la posición de dicha base. Una vez es instalado todo el equipo de seguridad y asentado el revestimiento conductor, se procede a perforar con un lodo preparado con agua de mar y una broca de 26 pulgadas hasta la profundidad prevista para el asentamiento de la zapata de revestimiento de superficie, posteriormente este revestimiento de 20 pulgadas es bajado y cimentado hasta la cabeza del pozo. En pozos en los cuales las condiciones estructurales de la formación lo permiten, es colocado un revestimiento de 13 3/8 pulgadas. Este tipo de proyecto es conocido como pozos *Slender*.

⁶ HURLEY, G., & ELLIS, J. Environmental effects of exploratory drilling offshore Canada: environmental effects monitoring data and literature review. 2004

⁷ WITTHAYAPANYANON, A.; LELEUX, J.; VUILLEMET, J.; MORVAN, R.; POMIAN, A.; DENAX, A., & BLAND, R. High performance water-based drilling fluids-an environmentally friendly fluid system achieving superior shale stabilization while meeting discharge requirement offshore Cameroon. In SPE/IADC Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers. 2013, March

Figura 4. A. Esquema de la base contra estallidos instalada. B. Base contra estallidos pertenecientes a la estatal petrolera Petrobras.



Modificado: PETROBRAS SAS y PUC-RJ

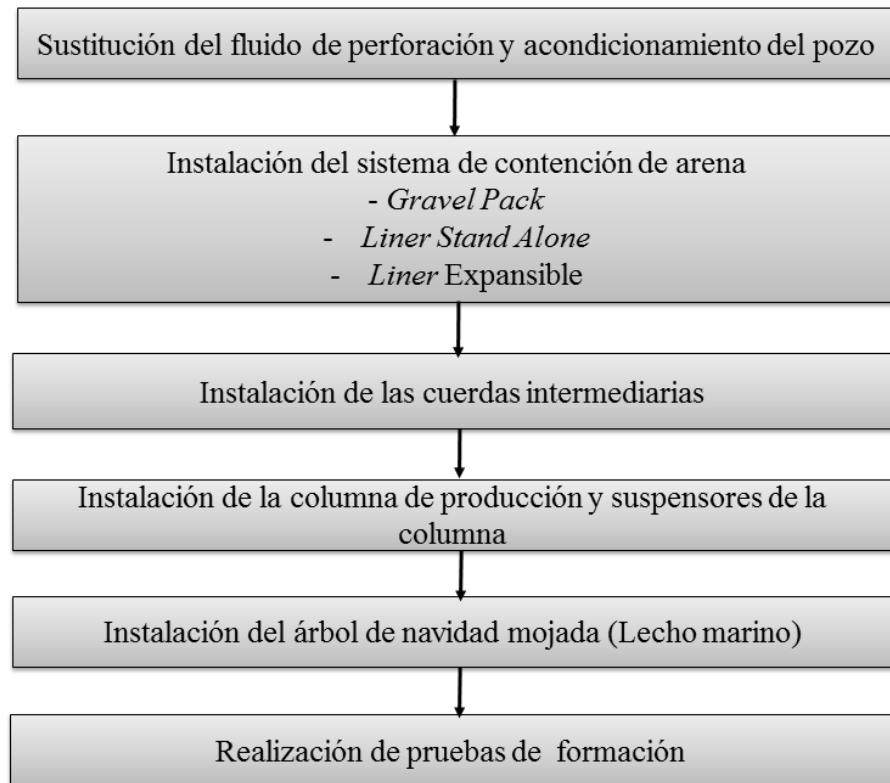
En la fase final de la etapa de perforación, se perfora con una broca generalmente de 16 pulgadas hasta llegar a la formación productora, es importante resaltar que en este punto la presión hidrostática suministrada por el fluido de perforación es considerablemente mayor que las presiones de poro de las formaciones atravesadas durante la perforación, conduciendo de esta manera a una perforación *Overbalance*. Una vez terminada esta etapa se procede a la instalación de un revestimiento de producción de 9 5/8 pulgadas el cual es revestido para garantizar el aislamiento térmico entre la zonas permeables y porosas.^{8,9}

⁸ DUARTE, R. G. Avaliação da interação folhelho-fluido de perfuração para estudos de estabilidade de poços (Doctoral dissertation, Dissertação de mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil). 2004

⁹ FERREIRA, M. V. D.; LEAL, R. A. F.; MARTINS, A. L.; LOUREIRO, B. V.; HOLZBERG, B.; COSTA, S. S., & PASTOR, J. A. Distribuição de Diâmetro de Cascalhos e seu Impacto na Limpeza e Pressões Anulares Durante a Perfuração de Poços de Grande Inclinação. In 31 Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. 2004. p. 210

Finalizada la fase de perforación es necesario el completamiento, en donde se equipa al pozo para iniciar su producción y son instalados accesorios que permiten la operación segura del pozo. La secuencia de las etapas ejecutadas normalmente en el completamiento de pozos submarinos se especifica en la Figura 5.

Figura 5. Etapas ejecutadas en el completamiento de pozos *offshore*.



Ahora bien, los sedimentos y recortes generados producto de la perforación y completamiento de pozos representan un impacto ambiental leve, debido a que las corrientes marinas pueden depositarlos de nuevo en el lecho marino, dichos sedimentos no constituyen ningún peligro al ecosistema ya que no presentan contaminante alguno.

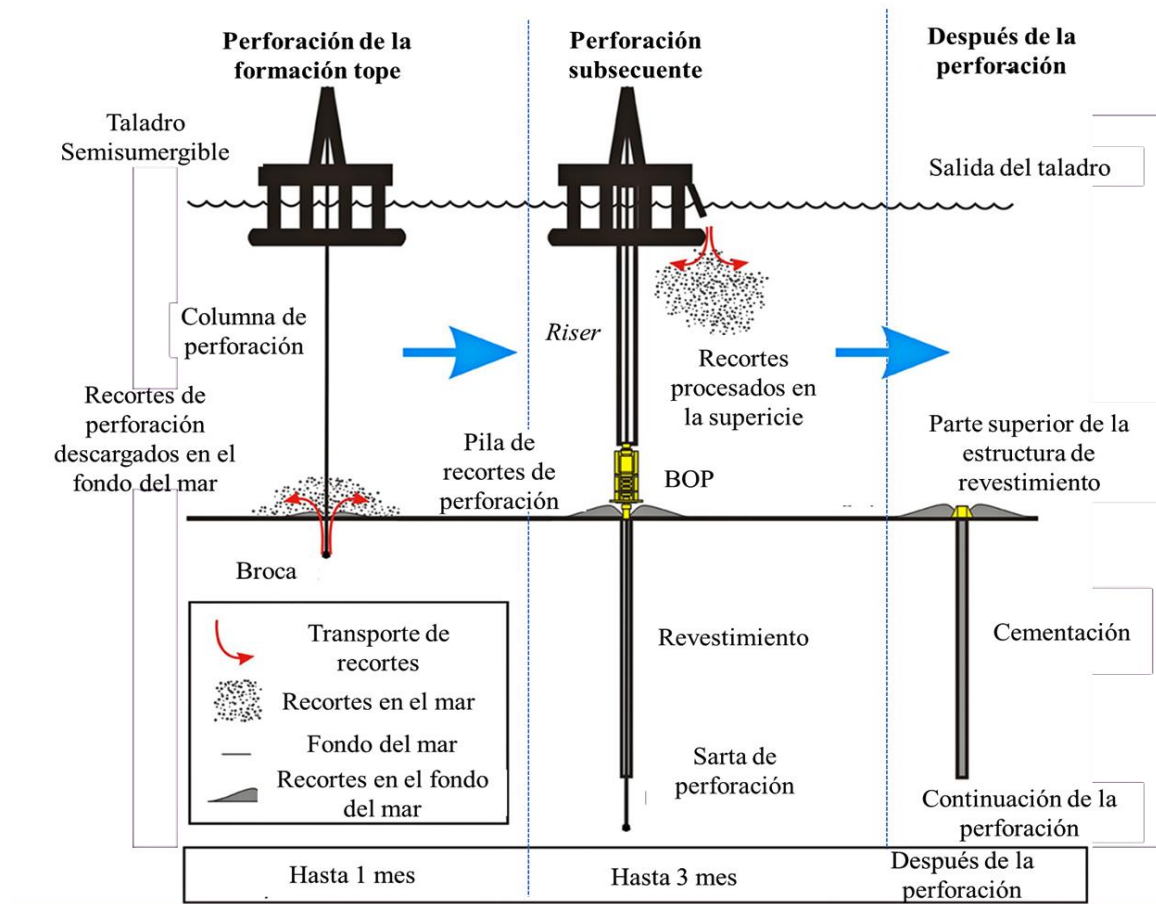
Como puede observarse en la Figura 6 los recortes sin contaminantes procesados en la superficie y los generados en la operación se descargan al fondo del mar sin generar mayores sobresaltos. En lo que respecta a los fluidos de perforación estos se reaprovechan para los procesos de separación y aditivación en superficie evitando de esta manera generar un pasivo ambiental de difícil recuperación.¹⁰

Las principales opciones para destino final de los recortes de perforación comprenden:

- **Descarga Offshore:** Donde los recortes son descartados en el mar después de ser sometidos a tratamiento por equipos de control de sólidos.
- **Re-inyección Offshore:** Los recortes son molidos para hacerlos más finos y así ser re-inyectados en formaciones subterráneas permeables.
- **Eliminación Offshore:** Donde los recortes son recogidos y transportados para tratamiento y su destino final son bancos de arena.

¹⁰ LOPES, F. C. O Conflito entre a exploração offshore de petróleo e a atividade pesqueira artesanal. Monografia de Bacharelado. Instituto de Economia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004

Figura 6. Etapas del transporte de recortes en plataformas *offshore*.



Fuente: NOBRE, M., & de CARVALHO AMAZONAS, M. Desenvolvimento sustentável: a institucionalização de um conceito. Edições IBAMA. 2002

En la toma de decisiones conducentes a la eliminación de los recortes es importante también considerar el impacto ambiental de las alternativas, sus costos, emisiones atmosféricas, uso de recursos limpios, transporte y los riesgos de manipulación. Asimismo, Schaffel¹¹ en su tesis doctoral sugiere que los descartes provenientes de las operaciones de completamiento y perforación en las áreas analizadas deben contemplar las siguientes consideraciones:

¹¹ SCHAFFEL, S. B. A questão ambiental na etapa de perfuração de poços marítimos de óleo e gás no Brasil. Rio de Janeiro. 2002

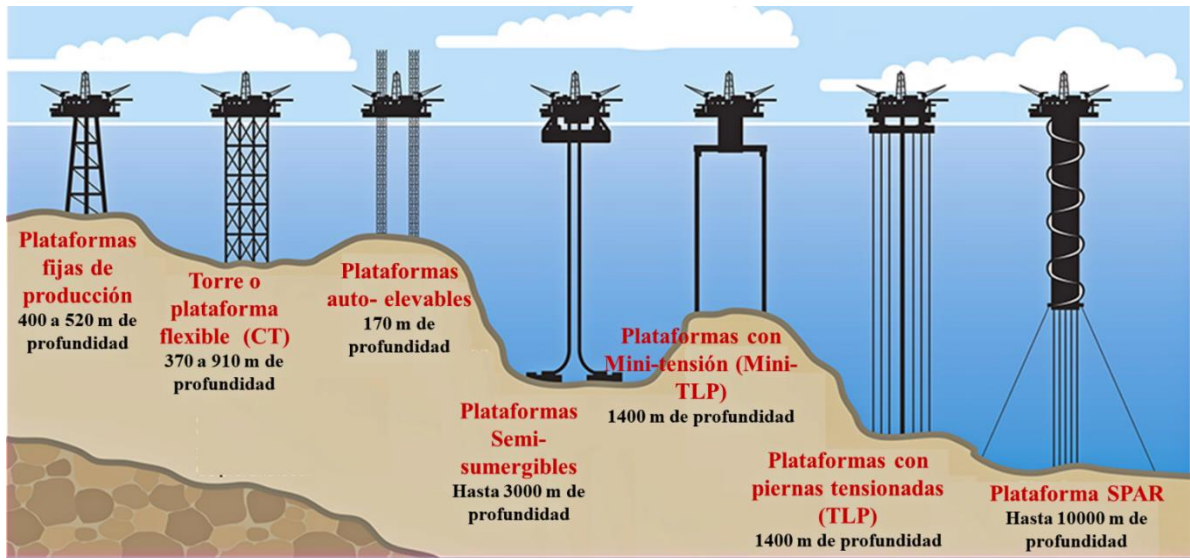
- Sensibilidad ambiental del área
- Distancia de la costa
- Lámina de agua
- Base de los fluidos de perforación y completamiento (Agua o aceite)
- Eficiencia del control de sólidos de la plataforma

Por añadidura, definió parámetros categóricos para el control del descarte marítimo de los fluidos y recortes entre los cuales se destacan la estandarización de los procedimientos para las pruebas de toxicidad, biodegradación y bioacumulación, además de exigir al proveedor del sistema de control sólidos los topes de eficiencia mínima para tratamiento de recortes y eficiencia máxima del descarte mediante el método de dispersión.

Por lo que se refiere a las plataformas utilizadas para la perforación, producción y almacenamiento la Figura 7 muestra siete ejemplares: las plataformas fijas son generalmente construidas con pilares de hormigón y acero y son ancladas al fondo del mar, pueden ser de mástil o modulares y son armadas con su propia grúa; las torres o plataformas flexibles tienen un eje, una torre flexible y una estructura fundida en la que se apoya una cubierta para operaciones de perforación y producción; entretanto las plataformas auto-elevables se elevan para dejar un colchón de aire entre el agua y el casco; las plataformas semi-sumergibles poseen columnas que les permite flotar y permanecen en su emplazamiento mediante anclas, su papel durante la perforación es fundamental. Cabe mencionar también que las Mini-TLP son plataformas flotantes de bajo costo y son empleadas como plataforma satélite para posibles descubrimientos profundos; su principal diferencia con las TLP es que estas últimas están sujetas por tensores verticales conectados y cimentados al lecho marino por pilotes asegurados a este; por último las plataformas SPAR son las que alcanzan mayor profundidad y están ancladas al

fondo del mar con líneas de amarre convencionales, la estructura tiene un cilindro de gran tamaño que permite su flotabilidad.^{12, 13, 14}

Figura 7. Plataformas petroleras offshore.



Modificado: Pinterest Perforación

2.3 PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE

Para la producción de crudo en el mar son requeridos sistemas de producción *offshore*, los cuales son compuestos básicamente por una unidad flotante o plataforma, *risers* y un sistema de anclaje, unidades fluctuantes, árboles de Navidad

¹² PAIM, M. A. O petróleo no mar: o regime das plataformas marítimas petrolíferas no direito internacional. 2011

¹³ MAQUEIRA MARÍN, J. M.; MOYANO FUENTES, J.; BRUQUE CÁMARA, S., & NUÑEZ-CACHO UTRILLA, P. Design and implementation of an ERP platform as practice environment for learning in Operations Management. In Working Papers on Operations Management. Vol. 8. Universitat Politècnica de València. 2017, June. p. 27-31

¹⁴ MUSCHENHEIM, D. K.; MILLIGAN, T. G.; & GORDON Jr, D. C. New technology and suggested methodologies for monitoring particulate wastes discharged from offshore oil and gas drilling platforms and their effects on the benthic boundary layer environment. Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences/Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques. 1995.

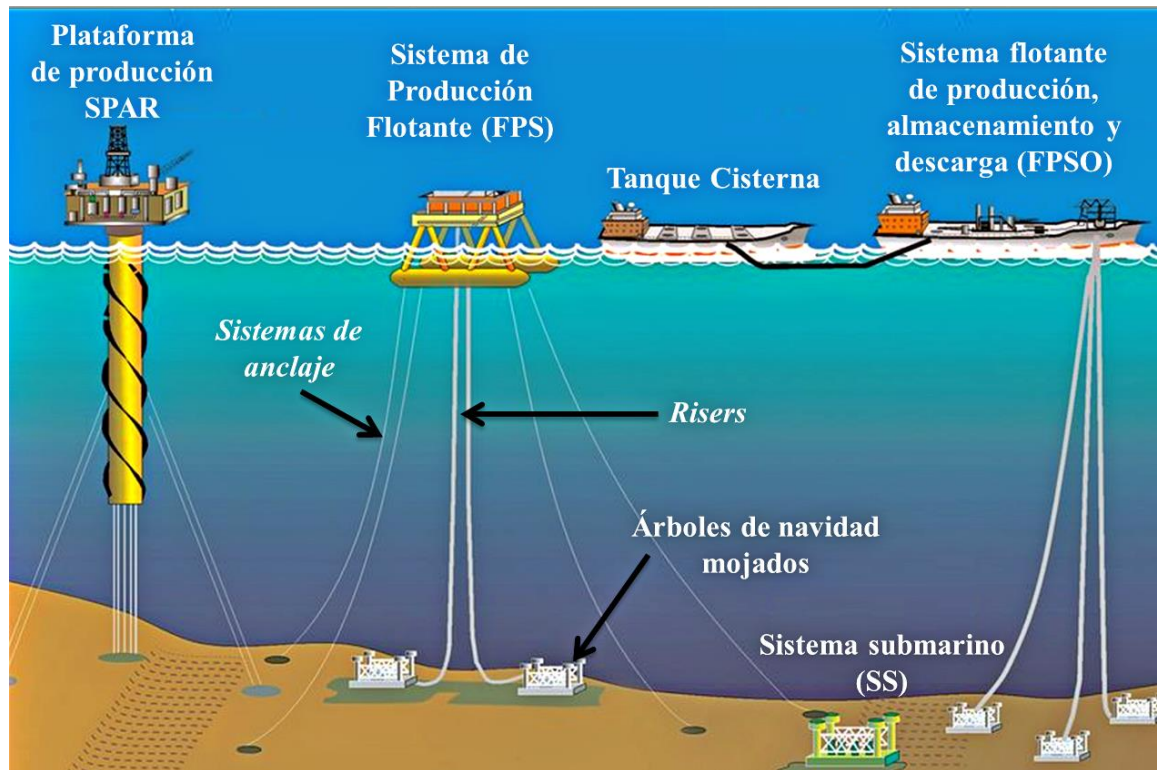
mojados y buques tanque de transporte. (Ver Figura 8) En el sistema de producción, la unidad flotante es instalada en un lugar estratégico para facilitar su transporte e iniciar la producción y procesamiento del crudo; el principal componente capaz de transportar el petróleo desde el pozo hasta la unidad fluctuante es un ducto ascendente denominado *riser*. Debido a las condiciones extremas a las cuales se expone la explotación *offshore* como corrientes, vientos y ondas, la unidad fluctuante necesita de un sistema de anclaje para de esta manera reducir los posibles desplazamientos con respecto a su posición original. ^{15, 16}

En la Figura 8 puede evidenciarse la posición del sistema flotante de producción con sus respectivos componentes, así como dos buques usados en el transporte del hidrocarburo hacia la costa como lo son el tanque cisterna y el sistema flotante de producción, almacenamiento y descarga (FPSO).

¹⁵ VILLELA, M. J. R. Análise do comportamento da temperatura em sistemas de produção de petróleo: comparação entre completação seca e molhada. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2004

¹⁶ Corrêa, F. N. Aplicação de Metodologias Híbridas em Estudos Paramétricos sobre o Comportamento de Sistemas Offshore. RJ. Dissertação de Mestrado-Engenharia Civil, COPPE/UFRJ. 2003

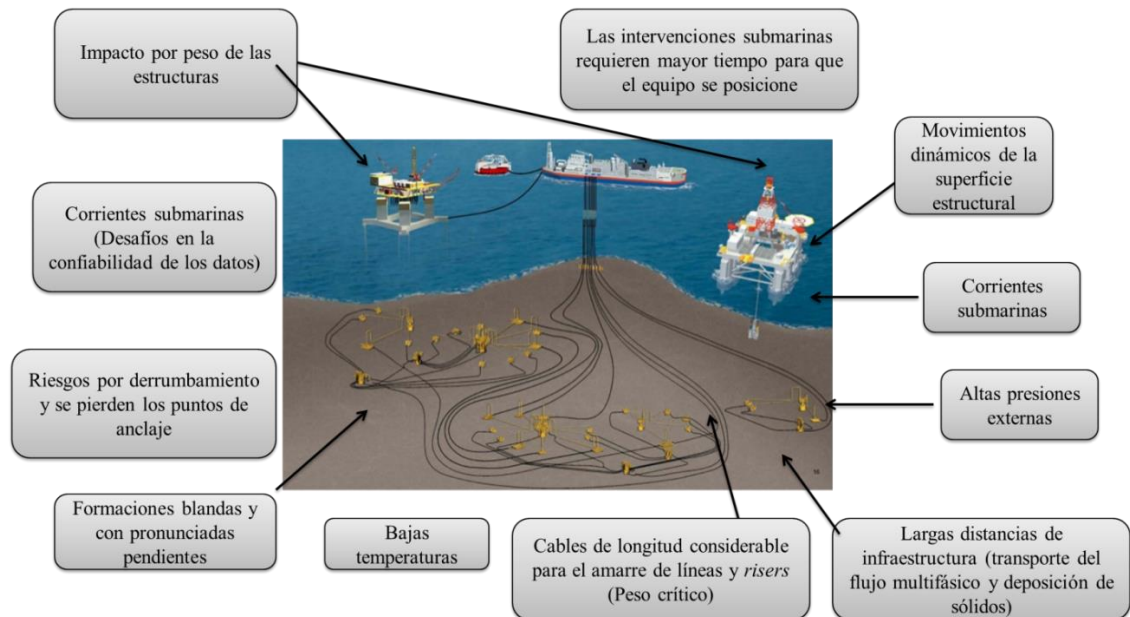
Figura 8. Sistema de producción marina y buques de transporte de crudo.



Fuente: SILVA, A. D.; SANTOS, I. D. C.; CONCEIÇÃO, W. L. D.; SILVA, D. J. A. D.; NASCIMENTO, S.; SILVA, V. T. D., & SCHWEITZER, A. Operação offloading: análise preliminar de perigo e os impactos ambientais. Revista Eletrônica Novo Enfoque, 13(13), 2011. p. 207-221

De igual manera en la Figura 9 se ilustran los principales desafíos de las operaciones de producción y transporte en el marco de las operaciones *offshore*.

Figura 9. Principales desafíos en la producción y transporte de hidrocarburos costa afuera.



Fuente: SILVA, A. D.; SANTOS, I. D. C.; CONCEIÇÃO, W. L. D.; SILVA, D. J. A. D.; NASCIMENTO, S.; SILVA, V. T. D., & SCHWEITZER, A. Operação offloading: análise preliminar de perigo e os impactos ambientais. Revista Eletrônica Novo Enfoque, 13(13), 2011. p. 207-221

2.4 EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA EN LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

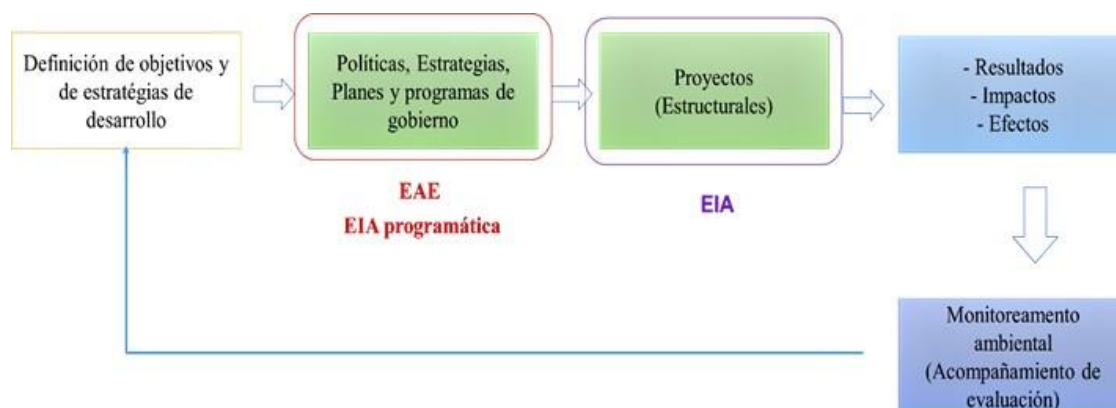
La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) es una herramienta de gestión ambiental que tiene por finalidad la evaluación de los diversos efectos ambientales causados en planes, programas o políticas de iniciativa pública o privada. (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE CHILENO).

Sadler en 1996 definió la EAE como un proceso sistemático de evaluación y documentación de informaciones sobre potencialidad, capacidad y funciones de los sistemas y recursos naturales, con el objetivo fundamental de facilitar la planeación y la toma de decisiones, y en particular, anticipar y administrar los efectos adversos

y consecuencias de iniciativas y propuestas; por lo tanto como fue afirmado por Teixeira en 2008 la EAE hace parte de un rompecabezas, cuya unión de piezas dará como resultado la Evaluación Ambiental (EA); cabe destacar que esta última (EA) estará completa una vez se involucre una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).

En concordancia con lo anterior los instrumentos de la evaluación ambiental, se encuentran especificados en la Figura 10.

Figura 10. Ciclo de políticas e inserción de instrumentos de evaluación ambiental.



De este modo, la EAE es un instrumento de gestión ambiental que en su mayoría es aplicado por instituciones públicas antes de concesionar o de someter a licitación un bloque de exploración y/o producción; el poner en práctica la EAE trae beneficios importantes para propiciar las actividades de la industria de los hidrocarburos de manera responsable, tal es así que organismos reconocidos a nivel internacional como la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) recomiendan la disposición y fortalecimiento de la EAE, además de contribuir a un mayor entendimiento de su

estructura y aplicación a través de la publicación de completos manuales a disposición de cualquier interesado.

Parte de dichos beneficios pueden ser (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE CHILENO)^{17, 18}

- Incluir e involucrar al medio ambiente y su cuidado en el devenir y debate político y económico del país
- Desarrollar políticas públicas para procesos de planeación sustentables, ambientalmente y socialmente responsables
- Delimitar las zonas de explotación del recurso, minimizando así su impacto ambiental
- Anticipación de los posibles impactos ambientales, formulando así políticas públicas que respondan a las eventuales contingencias que puedan presentarse

Para la implementación correcta y efectiva de la EAE en marzo de 1990, un grupo de especialistas en problemas de ambiente y del agua para los gobiernos pertenecientes a la Comisión Económica Europea recomendaron siete etapas básicas para la puesta en marcha de una exitosa EAE.¹⁹

- **Inicio:** Es motivado por la necesidad y el tipo de evaluación ambiental para políticas, planes y programas de impacto en una comunidad, el mecanismo de acción será una evaluación inicial (*screening*)

¹⁷ MARIANO, Jacqueline Barboza. Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas offshore. Tesis de doctorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

¹⁸ HERNÁNDEZ CARRASCAL. Modelagem ambiental com sistemas de informação geográfica para avaliação de áreas para exploração e produção de shale gas com técnicas de fraturamento hidráulico. Disertación de Maestría, Rio de Janeiro. 2016

¹⁹ EGLER, Paulo César Gonçalves. Perspectivas de uso no Brasil do processo de Avaliação Ambiental Estratégica. Parcerias Estratégicas, v. 6, n. 11. 2010. p. 175-190

- **Scoping:** Son identificadas las alternativas relevantes y los impactos ambientales que necesitan ser considerados, así como aquellos que deben ser eliminados por no ser relevantes en el proceso de evaluación
- **Revisión externa:** Incluye la revisión de las autoridades gubernamentales relevantes, especialistas independientes, grupos de interés y público en general
- **Participación del público:** La comunidad debe ser parte del proceso de evaluación ambiental, por lo tanto, se deben socializar los proyectos industriales que se llevarán a cabo y explicar con rigor técnico cómo se minimizarán los riesgos en la zona
- **Documentación e información:** La información presentada en la EAE para planes, políticas y programas deben ser elaboradas en tiempo hábil y en niveles de detalle de profundidad necesaria para que los actores involucrados en la toma de decisión tengan las herramientas necesarias y emitan sus conceptos con base en la mayor cantidad de información disponible
- **Toma de decisión:** Los tomadores de decisión deben tener en consideración las conclusiones y recomendaciones de la evaluación ambiental, en conjunto con las implicaciones económicas y sociales de los planes, políticas y programas
- **Análisis Pos-decisión:** Donde puedan ocurrir impactos ambientales significativos debido a la implementación del programa, política o plan, es necesaria una intervención para modificar el rumbo y así evitar al máximo el daño a las partes involucradas

La responsabilidad social y ambiental sumada con el rigor técnico y científico de la explotación de hidrocarburos, ha hecho que diversos países productores del recurso realicen Evaluaciones Ambientales Estratégicas antes de iniciar cualquier actividad *Upstream*.

Mariano²⁰, en su tesis de doctorado deja en claro que: la aplicación de la EAE antes de la concesión de áreas para exploración y producción de petróleo, tiene como objetivo la identificación de áreas ambientalmente sensibles, y además también posibilita una identificación macro de las cuencas sedimentarias, con base en diagnósticos ambientales en escalas regionales, con el objetivo de definir las zonas con un riesgo alto de daño y excluirlas finalmente de la ronda.

Además del análisis de los aspectos ambientales, la EAE también evalúa aspectos del ámbito social y económico, dando vital importancia a la existencia, estudio y análisis de otras actividades que involucren al ser humano en la región evaluada (para el caso *offshore*, actividades de turismo, buceo, pesca, etc.), al mismo tiempo estudiando la ley en cuestión para identificar alguna restricción legal.

Diferentes países a nivel mundial han encontrado en la EAE una respuesta a la planificación responsable para las actividades de exploración y explotación de crudo y gas, dichos países son: Canadá, Estados Unidos, Australia, Noruega, Holanda, Reino Unido y en el caso latinoamericano Brasil es quien lleva la delantera en este aspecto.

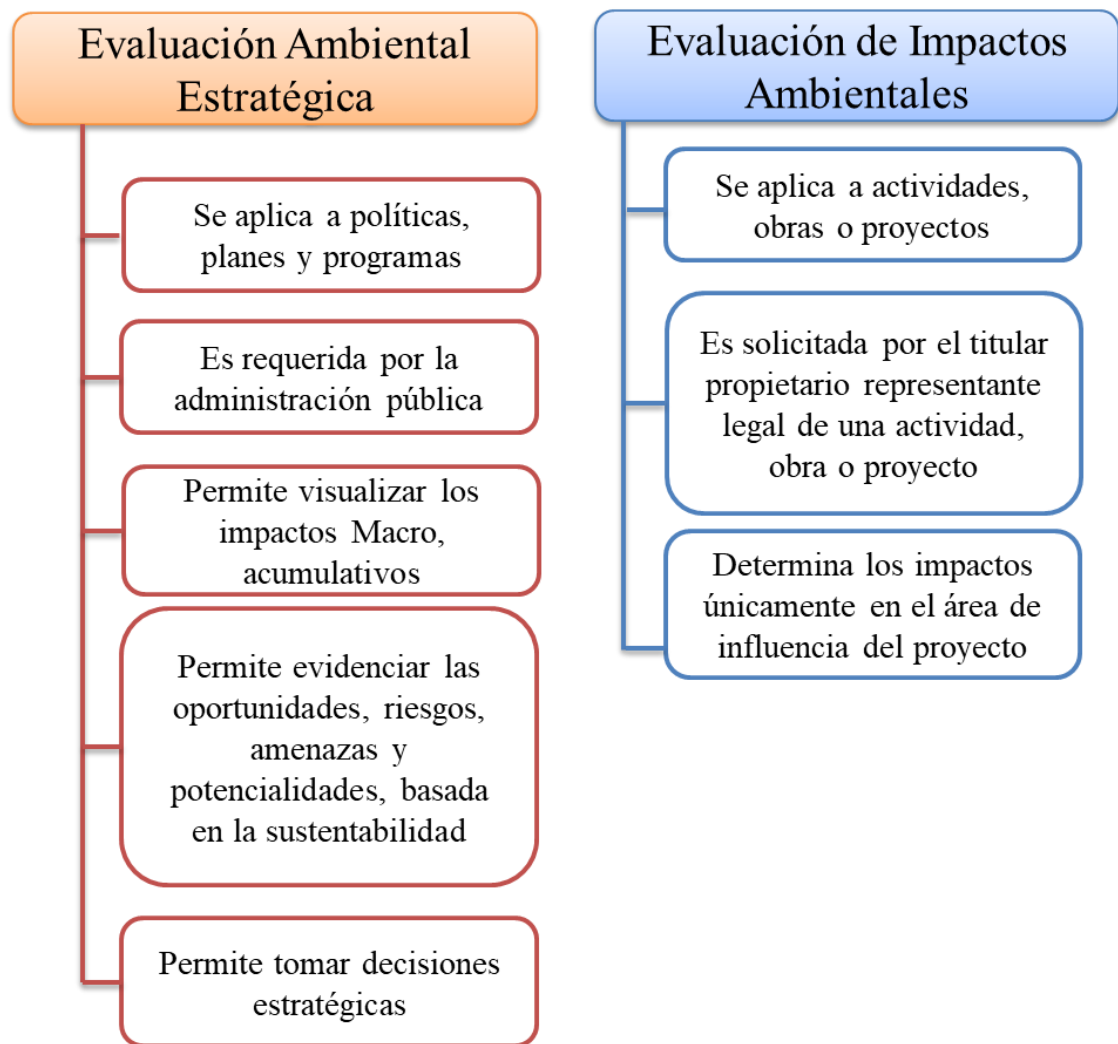
La Comisión Holandesa para la Evaluación Ambiental (NCEA por sus siglas en inglés: *Netherlands Commission for Environmental Assessment*) publicó en mayo de 2011 las pautas, documentos, estándares y organismos que tienen que estar involucrados y cohesionados para la exitosa aplicación de la EAE:

²⁰ MARIANO, Op. Cit.

- Planes y legislación nacional para el sector de petróleo y gas
- Financiación del Banco Mundial y cooperación internacional
- Organización Internacional de Productores de Petróleo y Gas
- Iniciativa de transparencia de la industria
- Convención Internacional MARPOL para la prevención de la contaminación por barcos cisterna
- Guía IPIECA (*International Petroleum Industry Environmental Conservation*) para la evaluación del impacto social de la industria
- Estándares Neerlandeses para la explotación de crudo costa afuera
- Programa de desarrollo en materia minero energética

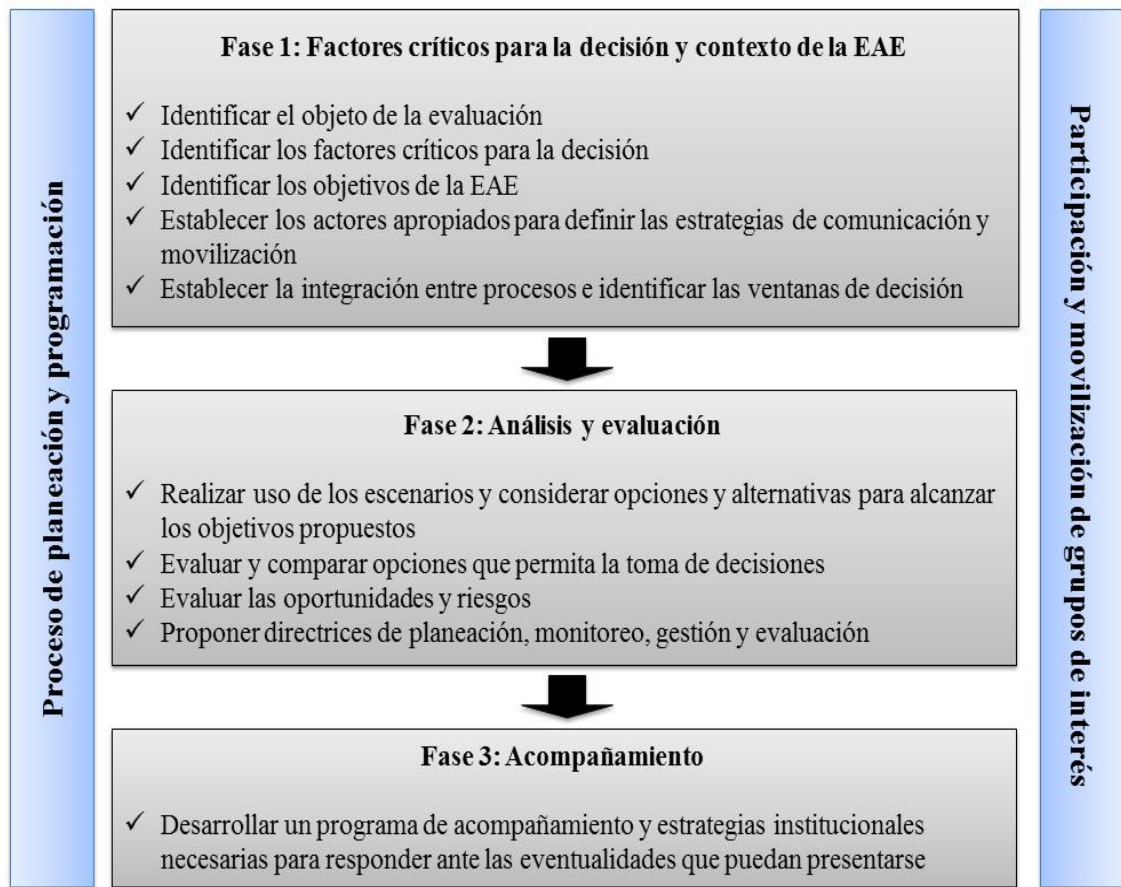
Es importante clarificar y destacar que los procesos llevados a cabo en la Evaluación Ambiental Estratégica y en la Evaluación de Impactos Ambientales son distintos, una de las principales diferencias es que la EAE se caracteriza por ser un componente ambiental integral para la aplicación de políticas, programas y/o planes de gobierno, mientras que la EIA es usada únicamente en pequeños proyectos. Podría definirse a la EIA como una parte preliminar para la puesta en marcha de la EAE. En la Figura 11 se especifican más diferencias entre la EAE y la EIA.

Figura 11. Diferencias entre EAE y EIA



En concordancia con lo anterior, la Figura 12 expone claramente cada una de las fases necesarias para la puesta en marcha de la Evaluación Ambiental Estratégica en el marco de cualquier operación *off-shore*.

Figura 12. Etapas de la Evaluación Ambiental Estratégica



2.5 GESTIÓN AMBIENTAL DE LA INDUSTRIA OFFSHORE

La exploración del recurso comprende desde los procedimientos topográficos de inversión sísmica, geofísica y perforación de pozos, en donde la gestión ambiental se ocupa además de factores económicos y sociales de la zona a ofertar.

Es indispensable contar con un marco regulatorio adecuado y apropiado que permita dar las herramientas necesarias a los entes tomadores de decisión, a su vez es importante que las empresas inmiscuidas en la operación tengan la

experiencia requerida en exploración *offshore* y cuenten con manuales y protocolos para evitar problemas y en caso de tenerlos dar una atención temprana.

En Abril de 2009 Maria Laura Ayorca, adscrita a la dirección de exploración y desarrollo del negocio de YPF (Yacimientos Petrolíferos Fiscales), en su publicación *Petrotécnica* enumeró tres etapas clave: Análisis ambiental de base, mapas de sensibilidad ambiental e identificación y evaluación de impactos ambientales.

2.5.1 Análisis ambiental de base. Es la etapa inicial del proyecto en donde se identifican las especies que hacen parte del ecosistema y cómo las actividades propias de la industria tales como la emisión de CO₂, uso de lodos de perforación base agua, cemento y otros elementos pueden afectar el entorno; a su vez identifica grupos de interés sensibles y vulnerables.

2.5.2 Mapas de sensibilidad. Con base en el análisis ambiental de base se generan mapas de sensibilidad que tienen por objetivo planificar las actividades para las posibles contingencias. Según la Asociación regional de empresas del sector petróleo, gas y biocombustibles ARPEL basado en documentos extraídos de la USEPA (*U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration, 1994*), el trazado de estos mapas, tienen por finalidad:

1. Identificar áreas que requieren protección prioritaria basada en vulnerabilidades y riesgos a derrames de hidrocarburos
2. Desarrollar estrategias de protección proactiva
3. Identificar respuestas aplicables y/o métodos de limpieza tanto para los ambientes como los habitantes a la región costera más próxima

Por otro lado, como se muestra en la Figura 14, el trazado del mapa de sensibilidades es la segunda etapa en la planificación de contingencias.

2.5.3 Identificación y evaluación de impactos. Plan de manejo ambiental. En esta etapa se establecen todas las medidas a tomar cuando una contingencia es inminente, por otra parte, se trabaja en la elaboración y redacción del plan de manejo que será dispuesto para las organizaciones involucradas en el proyecto: es importante clarificar que, por el contrario de la EAE, este documento deberá ser totalmente público, ilustrativo y educativo. Para ejemplificar mejor la importancia de los pasos anteriormente mencionados, y la elaboración de un plan de manejo ambiental, la Figura 14 expone claramente sus pasos y dinámicas. También en la Figura 13 son expuestos los intervalos de tiempo con relación al parámetro ambiental para llevar a cabo la evaluación de impactos ambientales.

Figura 13. Tiempo estimado para llevar a cabo la EIA

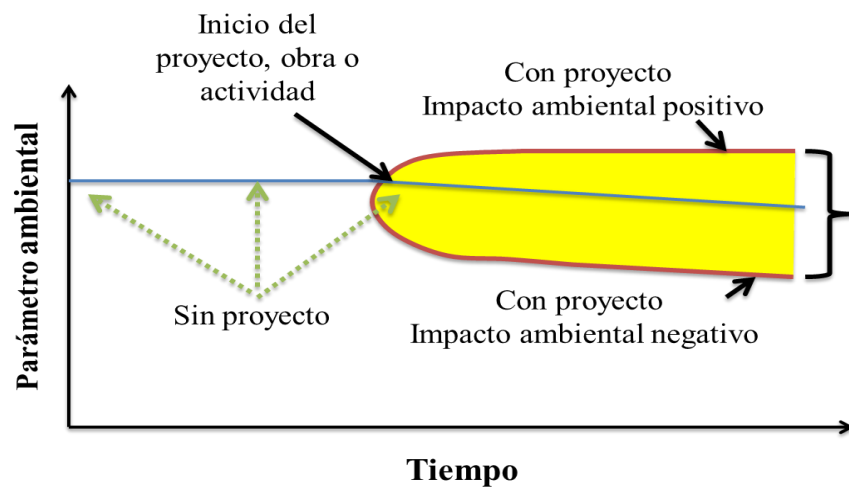
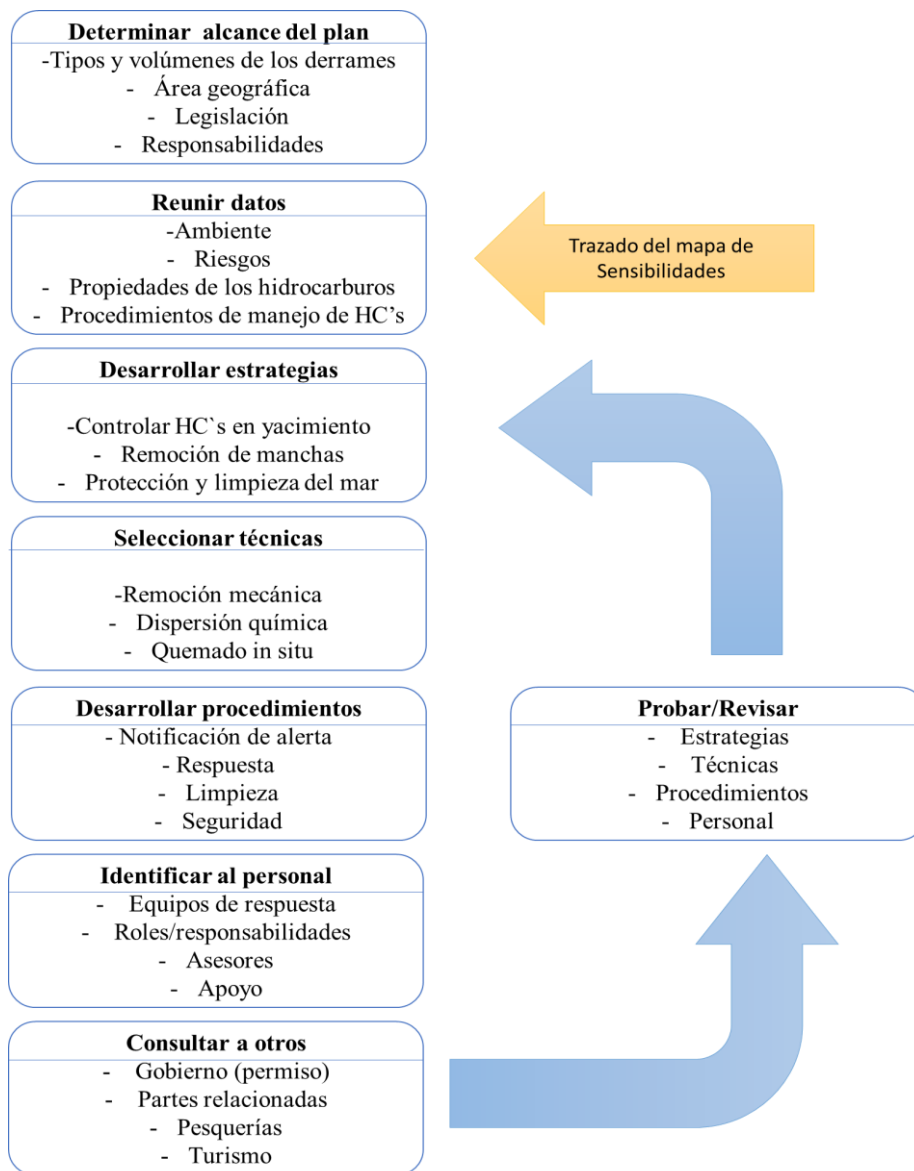


Figura 14. Importancia del trazado de mapa de sensibilidades y proceso para la concepción de un plan de manejo ambiental.



Fuente: ARPEL

Es importante destacar que la evaluación de impactos ambientales debe especificar claramente los efluentes y residuos generados en cada una de las actividades y etapas de la industria, lo anterior con la finalidad de acoplar esta información

detallada con el marco propuesto por la evaluación ambiental estratégica (Ver Tabla 3 y Tabla 4).

Tabla 2. Análisis de impacto ambiental para cada actividad de E&P.

Actividad	Efluente
Perforación exploratoria	Lodos de perforación (en su mayoría, a base de agua), recortes de perforación
Perforación de desarrollo	Lodos de perforación (en su mayoría, a base de agua), recortes de perforación, fluidos de tratamiento de pozos
Completamiento	Fluidos de completamiento, cemento, lechada
<i>Workover</i>	Estimulación química y ácidos como HCl
Operaciones de producción	Agua de producción (incluyendo agua de formación y de inyección), agua de drenaje, fluidos de perforación, recortes de perforación, arenas de producción, residuos de cemento, fluidos de BOP's, residuos sanitarios y domésticos, efluentes de procesamiento de petróleo y gas, aguas de refrigeración, aguas de pruebas de sistemas para combatir incendios, emisiones atmosféricas
Descargas accidentales	Derrames de crudo, explosiones de gas, derrame de productos químicos

Fuente: MARIANO, Jacqueline Barboza. Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas offshore. Tesis de doctorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007

Tabla 3. Principales residuos de los procesos de exploración y explotación.

Proceso	Emisiones atmosféricas	Efluente	Residuos
Desarrollo del pozo	Emisiones fugitivas de gas natural, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos poli-aromáticos, CO ₂ , CO, H ₂ S	Lodos de perforación, ácidos orgánicos, petróleo diésel, fluidos ácidos de estimulación (HCl y HF)	Recortes de perforación, sólidos remanentes de fluidos de perforación, agentes espesantes, dispersantes, inhibidores de corrosión, surfactantes, agentes de floculación, concreto y parafinas
Producción	Emisiones fugitivas de gas natural, compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos poli-aromáticos, CO ₂ , CO, H ₂ S, emisiones occurrentes del condicionamiento de gas natural	Agua de producción probablemente contaminada por metales pesados, radionúclidos, sólidos disueltos, compuestos orgánicos, consumidores de oxígenos, sales, biocidas, lubricantes e inhibidores de corrosión. Efluentes que contienen glicol, aminas, sales y emulsiones	Arenas de producción, azufre elemental, catalizadores, lodo de separadores, sedimentos de los tanques, filtros usados, residuos sanitarios
Mantenimiento e intervención	Agentes de limpieza volátiles y gas clorhídrico	Fluidos de completamiento de pozos y efluentes que contienen solventes para la limpieza de los pozos (detergentes y desengrasantes), tintas y agentes de estimulación	Residuos de tintas, parafinas, cemento y arena. Costras de los ductos
Abandono de pozos, fugas o <i>Blowouts</i>	Emisiones fugitivas de gas natural y de compuestos orgánicos volátiles, material particulado, hidrocarburos poli-aromáticos, CO ₂ , CO y compuestos de azufre	Fuga de petróleo y de salmuera	Suelo y subsuelo contaminado y materiales absorbentes

3. REVISIÓN DE SUS MÉTODOS

Como se determinó en el capítulo anterior, la evaluación de impactos ambientales (EIA) es una parte de los estudios de la EAE, más específicamente la etapa de *Scoping*, cuyo objetivo es el de identificar las alternativas más relevantes para los impactos ambientales que merecen ser considerados, así como aquellos que no necesitan de atención dada su relevancia.^{21, 22}

La EIA tiene por objetivo evaluar las principales consecuencias ambientales de la propuesta estratégica en particular y son considerados los siguientes aspectos:

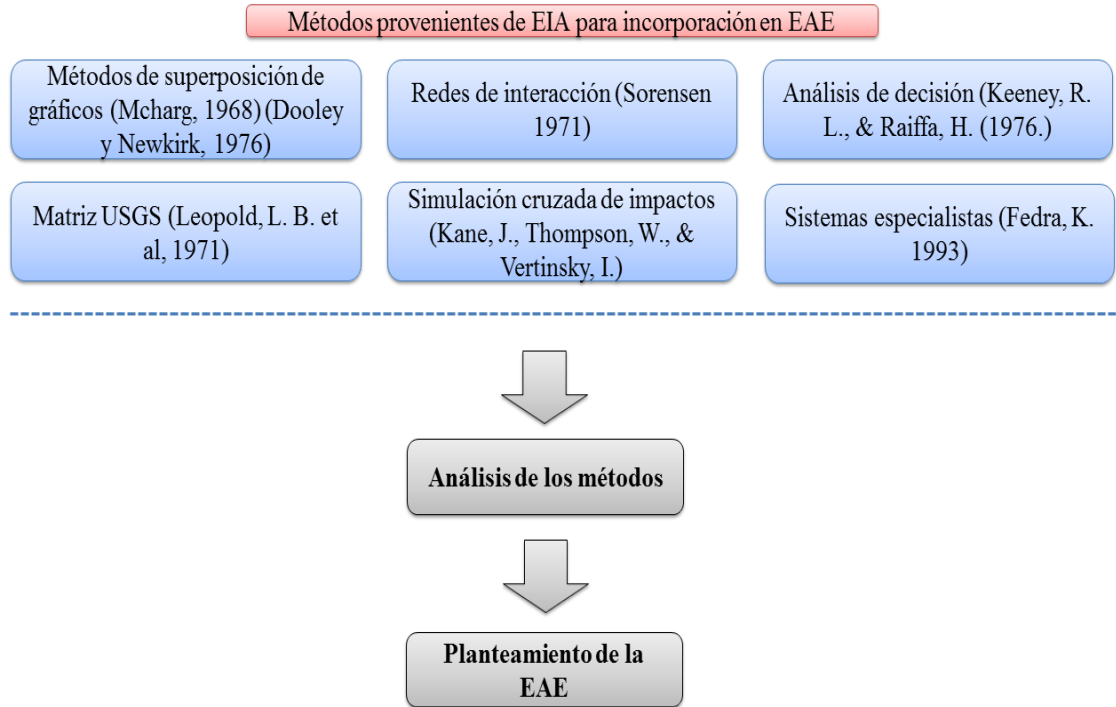
- Información y caracterización de las principales cuestiones ambientales
- Comparación y evaluación de las alternativas
- Identificación de las áreas sensibles, además de otros procedimientos de acompañamiento de la implementación y decisión

Generalmente, la EAE se ha apoyado en técnicas y métodos usados y consagrados en las EIA's de proyectos. (Figura 15)

²¹ EGLER, Op. Cit.

²² MARIANO, Op. Cit.

Figura 15. Métodos provenientes de la Evaluación de Impactos Ambientales para la proposición, implementación y ejecución de la Evaluación Ambiental Estratégica



De esta manera, los métodos de análisis ambientales involucrados en la EAE pueden dividirse según su origen.

Procedentes de métodos de análisis de impactos ambientales

- Lista de control
- Matrices de interacción
- Cuadros de evaluación de impactos
- Redes de interacción

Procedentes de métodos de análisis de políticas y de planeación

- Técnica de escenarios

- Matriz insumo-producto
- Modelos matemáticos
- Análisis multi-criterio
- Análisis de costo-beneficio
- Análisis de sensibilidad
- Matrices de realización de objetivos

A continuación, se explorarán brevemente los métodos más importantes y utilizados, así como como la estructura estipulada por países que están a la vanguardia de la Evaluación Ambiental Estratégica en operaciones hidrocarburíferas costa afuera como son: Brasil, Noruega, Canadá y Australia.

3.1 MÉTODO DE LAS LISTAS DE CONTROL

Consiste en una lista de componentes ambientales que pueden ser afectados por las actividades propuestas que busca asegurar que todos los aspectos ambientales de tales actividades sean evaluados; a su vez, deben incluir directrices sobre parámetros relevantes para los impactos que deben ser medidos, interpretados y comparados.

Las listas de control tienen variaciones que pueden subdividirse en listas comparativas, listas de cuestionarios y listas ponderables.

Para ejemplificar el uso de este método puede acudir a las *check-lists* (listas de chequeo) empleadas para verificar el cumplimiento y cumplimiento de las normas al momento de utilizar un elemento de protección personal. El espíritu del método radica en la organización de puntos básicos secuenciales que constituyan o nieguen un permiso de trabajo.

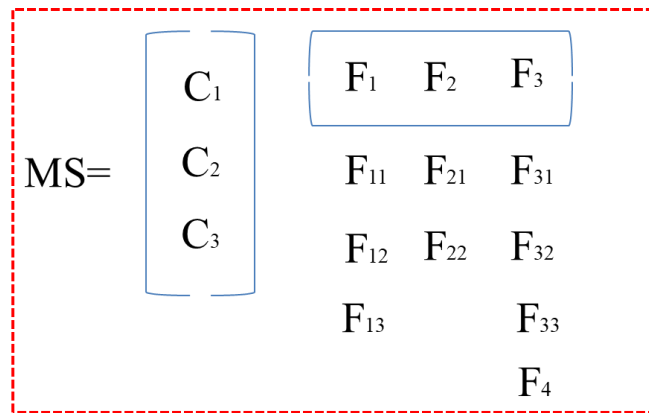
3.2 MÉTODOS MATRICIALES

Se emplean técnicas bidimensionales que emplean relaciones de eventos con factores ambientales. Pueden incorporar parámetros de evaluación que constituyen métodos de identificación; estas matrices fueron creadas con el objetivo de suplir las deficiencias de las listas de control.

Por otra parte, son sensibles a las relaciones de causa y efecto y relacionan aspectos o componentes de un proyecto con los diversos elementos del medio ambiente, permitiendo una comprensión más profunda de los efectos ambientales que pueden acontecer con determinada operación.

Como puede evidenciarse en el Gráfico 1, un mapa de sensibilidad construido a través del método matricial consiste en la correlación de la matriz columna C con cada uno de los elementos de los elementos de la matriz fila F. De esta manera el valor por punto V_p corresponderá a la ponderación cualitativa de toda C con respecto a cada uno de los valores correspondientes de la F.

Figura 16. Representación esquemática de la creación de mapas de sensibilidad a través del método matricial



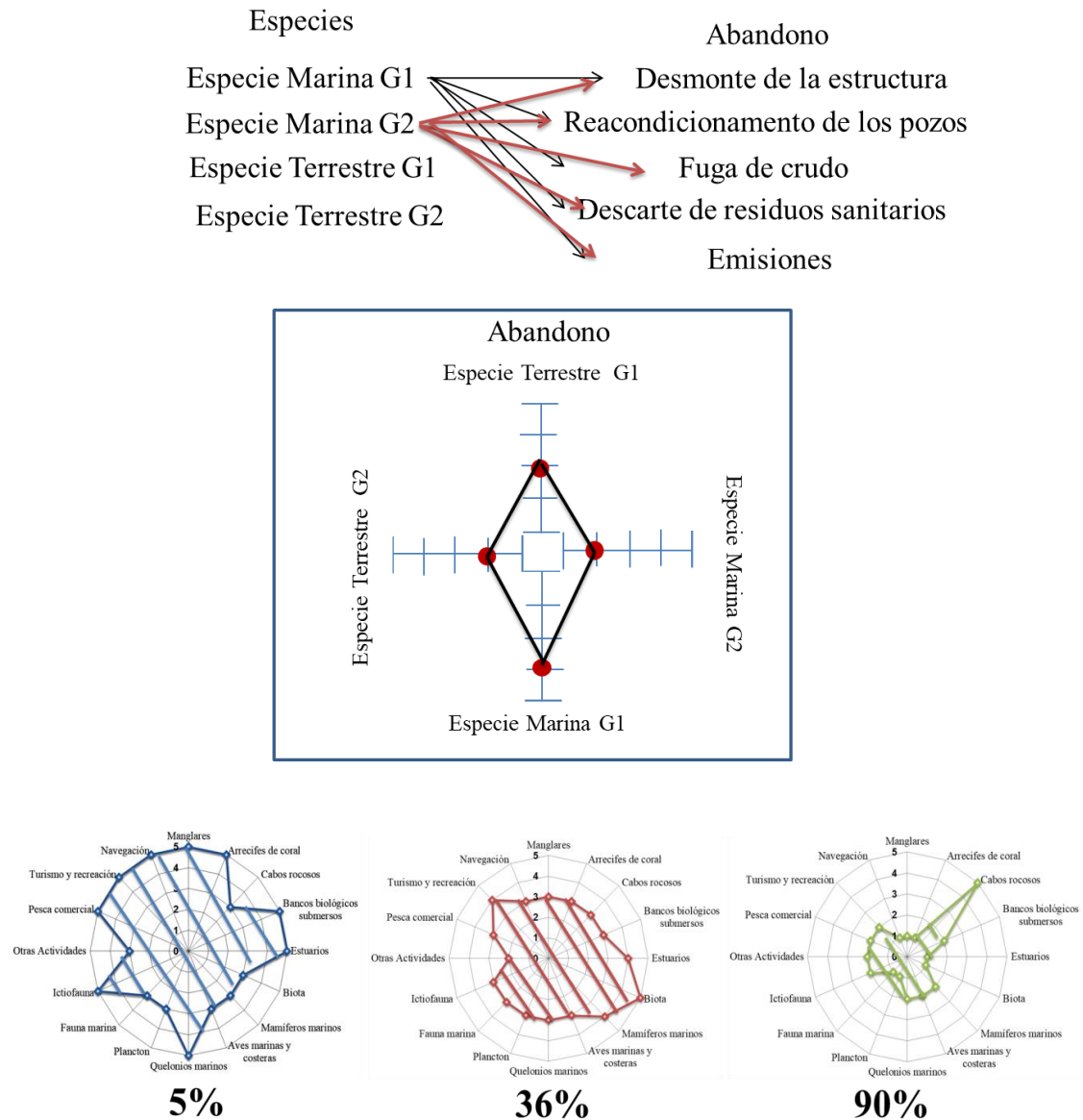
$$C = \{ C_1, C_2, C_3 \}$$

$$V_p = \{ C \} \longrightarrow F_1$$

En esta matriz los valores colocados en cada celda corresponden a la importancia y al riesgo de ocurrencia de determinado evento, su magnitud generalmente varía de 1 a 5, en donde el valor más alto, 5, representa un riesgo insignificante, 4 corresponde a un riesgo bajo, 3 y 2 riesgo medio y alto respectivamente y finalmente 1 que se entiende como un riesgo extremo.

Una vez cuantificado el riesgo se procede a bosquejarlos en un esquema como el representado en el Gráfico 2. Finalmente se obtendrá un polígono que según su área podrá determinarse el nivel de riesgo de realizar alguna actividad propia de cualquier industria. Estos polígonos pueden ser contruidos usando Microsoft Excel.

Figura 17. Esquema representativo del polígono final usado para la toma de decisiones



El cierre de cada uno de los parámetros evaluados corresponde a un polígono y dependiendo del área representada por dicha figura se toma una de las siguientes tres decisiones: No se otorga licencia (90% de ocurrencia de riesgo), Bloque otorgado con riesgo de afectación ambiental y biológica (36% de ocurrencia de

riesgo), Bloque concedido (5% de ocurrencia de riesgo). Es vital la correcta ponderación de los indicadores ambientales para de esta manera valorar con eficacia el futuro del bloque licitado^{23, 24, 25}

3.3 REDES DE INTERACCIÓN

Surgen de la necesidad de identificar los impactos directos o del orden superior, destacando los impactos primarios y directos. Las redes consisten básicamente en procedimientos de representación gráfica o diagramática de la cadena de efectos de los impactos ambientales generados por las acciones de un proyecto determinado. Estas redes permiten el estudio detallado de cada uno de los efectos y a partir del impacto proponer opciones que contribuyan a minimizar su magnitud.²⁶

Dichas redes pueden ejemplificarse a través de lógica difusa o redes neuronales que generalmente se representan en programas computacionales para ser amigable con el usuario, en donde inicialmente es creada una base de datos a nivel mundial sobre las diferentes condiciones de peligro para cierta operación. Una vez cargados los parámetros y condiciones de un determinado perímetro el programa arrojará un resultado basado en métodos estocásticos y recomendará o no el trabajo en dicha área.

²³ MAGRINI, Alessandra. A Avaliação de Impactos Ambientais, Capítulo do Livro: Meio Ambiente: Aspectos Técnicos e Econômicos, PNUD/IPEA, 1 Ed., Brasília. 1990

²⁴ GUERRA, A. J. T., & CUNHA, S. D. Avaliação e perícia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999

²⁵ MMA. Avaliação Ambiental Estratégica, MMA, Brasília. 2002

²⁶ MMA. Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha, MMA, Brasília. 2003

3.4 MÉTODO DE LOS MODELOS DE SIMULACIÓN AMBIENTAL

Esta metodología consiste en representar los sistemas ambientales, mediante un modelo matemático, en cuyo caso a partir de la simulación simplificada de las dinámicas de los elementos y sus inter-relaciones se obtendrán las condiciones reales del sistema ambiental que permita desarrollar y explotar las diferentes alternativas para un determinado comportamiento de sistema. Este método en específico representa ventajas que promueven fácilmente la comunicación interdisciplinar y que favorecen la comparación de alternativas, de igual forma permiten consideraciones de proyectos temporales.²⁷

3.5 REPÚBLICA FEDERATIVA DE BRASIL

Con el descubrimiento del Pre-sal Brasileiro en las cuencas de Campos y Santos, la agencia nacional de petróleo (ANP), la empresa estatal de petróleos del Brasil (Petrobras), la agencia de medio ambiente (IBAMA), y el instituto brasileiro de petróleo, gas y biocombustibles (IBP) desarrollaron una matriz para un tipo de licencia ambiental asociada a una determinada actividad de la industria y un estudio determinado, como puede observarse en la Tabla 4.

²⁷ MMA. Avaliação de Impacto Ambiental: Agentes Sociais, Procedimentos e Ferramentas, MMA, Brasília. 1995

Tabla 1. Relación de requisitos, tipo de licencia ambiental, estudio ambiental requerido y actividad para la EAE en la República Federativa de Brasil.

Actividad	Requisito ANP	Tipo de licencia ambiental	Estudio ambiental requerido	Finalidad
Adquisición de datos sísmicos	Autorización de la ANP para la realización de datos sísmicos marinos no exclusivos o contrato de concesión del bloque que prevé estudios preliminares, comprende el levantamiento de datos sísmicos marinos exclusivos	Licencia de exploración sísmica -LPS por sus siglas en portugués-	Clase I: Levantamiento en profundidad inferior a 50 m., o en áreas de sensibilidad ambiental. Clase II: Levantamiento de la profundidad inferior entre 50 y 200 m. Clase III: Levantamiento en profundidad superior a 200m, sujetos a elaboración PCAS	Autorizado después de aprobación de estudios requeridos, el inicio de levantamiento de datos sísmicos marinos
Perforación	Programa exploratorio mínimo contratado con ANP	Licencia previa para la perforación – LPPer-	Informe de control ambiental – RCA-	Autorizar actividad de perforación
Producción	Pruebas de larga duración – TLD- autorizado por la ANP	Licencia previa de producción -LPPro-	Estudio de viabilidad ambiental –EVA-, que debe contener la descripción de actividades de perforación, riesgos ambientales, identificación de los impactos y medidas de mitigación	Autoriza la realización de las pruebas de larga duración – TLD-

Actividad	Requisito ANP	Tipo de licencia ambiental	Estudio ambiental requerido	Finalidad
Instalación de las unidades y sistemas para producción	Sistema de producción y flujo en un nuevo campo o bloque – Plan de desarrollo aprobado por la ANP	Licencia de instalación – LI-	Estudio de impacto ambiental e informe de impacto ambiental – EIA/RIMA o informe de evaluación ambiental – RAA-, que debe contener un diagnóstico ambiental del área donde ya se encuentra en actividad	Autoriza, después de la aprobación de EIA/RIMA con la respectiva audiencia pública
Operación de unidades, instalaciones y sistemas integrantes de actividad		Licencia de operación –LO-	Proyecto de control ambiental –PCA-, el cual debe contener los proyectos ejecutivos de minimización de impactos ambientales evaluados en etapas anteriores (LPPer, LPPro e LI)	Autoriza después del atendimento de los requerimientos anteriores el inicio de operaciones de mantenimiento

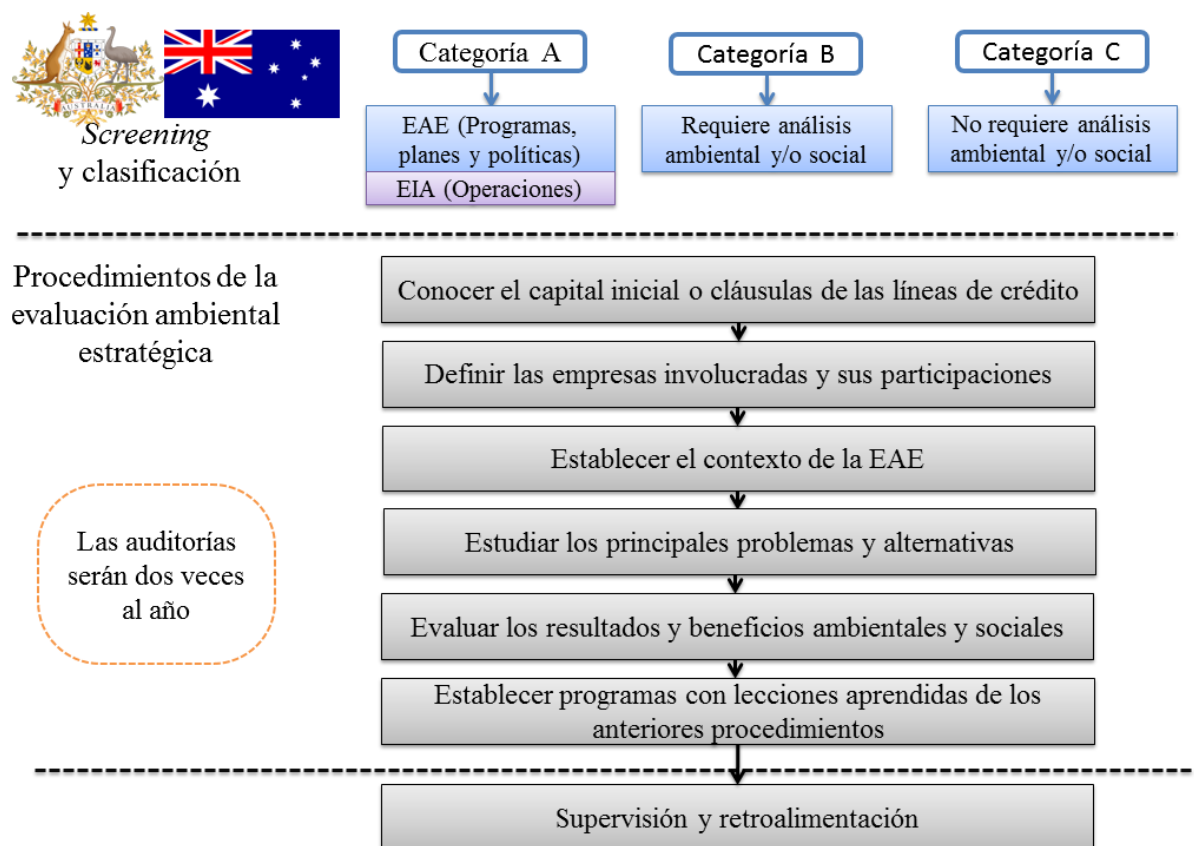
Fuente: IBAMA/MMA. Diretrizes Técnicas para Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar, ANP/IBAMA, Rio de Janeiro. 2003, MARIANO, Jacqueline Barboza. Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas offshore. Tesis de doctorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

3.6 AUSTRALIA

Fue utilizada la Evaluación de Impactos Ambientales usada en la Evaluación Ambiental Estratégica, esta técnica busca determinar los impactos y los riesgos propiamente dichos, atribuyendo un nivel de riesgo para el medio ambiente asociado a eventos de rutina y accidentes.

Fueron elaboradas matrices de impactos y riesgos ambientales relacionando los impactos ambientales con receptores afectados, con el objetivo de obtener niveles de impacto/riesgo asociados a receptores expuestos. Posteriormente fueron determinados los niveles más elevados y fueron empleadas técnicas de lógica difusa para proponer las medidas de mitigación concernientes. La Figura 16 muestra claramente las etapas llevadas a cabo para que la EAE sea tangible.

Figura 18. Etapas para la puesta en marcha de la EAE en Australia



3.7 NORUEGA

En Noruega fueron desarrollados y utilizados métodos cuantitativos para la determinación de riesgos ambientales. Son requeridas las previsiones de emisiones atmosféricas y descargas marítimas, las cuales incluyen gases de efecto invernadero y componentes volátiles. En el caso de efluentes, son hechas estimaciones sobre el volumen de agua de producción, efluentes de perforación y derrames de crudo. En la Tabla 5 se observan las generalidades de la Evaluación Ambiental Estratégica en Noruega.

Tabla 5. Generalidades de la EAE en Noruega

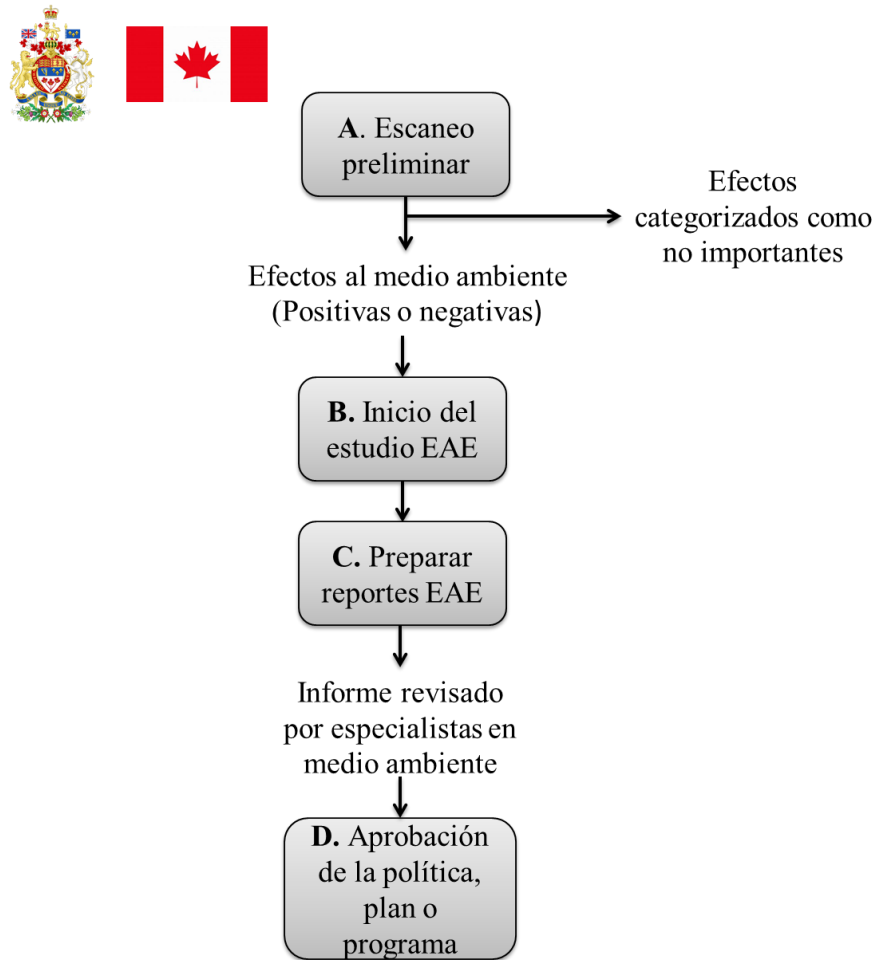
Objetivos	• Desarrollar actividades de petróleo en el país de modo sostenible • Actividad petrolera conducida con una visión de sustentabilidad (intergeneraciones e intrageneraciones) • Cumplimiento y atendimento a los requisitos del acto administrativo 14 (ley orgánica interna del país); y • La EAE posibilita que los eventuales impactos ambientales y conflictos de interés entre las actividades económicas sean previstos y solucionados en la etapa de planeación de la actividad
Quien	Gobierno (<i>Norwegian Petroleum Directorate</i> en coordinación con <i>Norwegian Pollution Control Authority and Norwegian Board of Help</i>)
Cómo	Mediante la aplicación de los requisitos del acto administrativo 14, en donde se destacan los siguientes ítems: • Concesión de un área por parte del gobierno para exploración previa, no exclusiva; • Apertura de nuevas áreas de exploración y producción precedidas de la evaluación de los impactos que la actividad tendrá en el comercio, la industria y el medio ambiente físico, social y económico; identificando posibles riesgos originados por la polución y la alteración de las actividades económicas y las relaciones sociales del área afectada; • Consulta pública para identificar diferentes visiones de los agentes sociales involucrados; • Decisión del gobierno en cuanto a procedimientos administrativos que serán seguidos para la apertura de áreas que serán objeto de exploración y producción; • División de las áreas que serán objeto de exploración y producción de crudo;

	• Divulgación de las áreas licitadas, acompañado de como mínimo un periodo de tres meses para que los oferentes y partes interesadas emitan sus opiniones; • Concesión de la licencia; • Necesidad de que los licenciados presenten un plan de desarrollo para la operación de los depósitos del área licenciada, considerando los aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales; • Necesidad de aprobación por del plan por el gobierno para el inicio de la operación; • Atribuciones de control ambiental, de salud y seguridad durante la operación; • Plan para el decomisionamiento de las actividades; y • Responsabilidades que serán incurridas por la externalidad debido a polución emitida, dando especial énfasis a la compensación de la actividad pesquera (relevante para el país)
Cuando	Se aplica la EAE antes de la abertura de la nueva área para exploración y producción de crudo o gas
Qué	• El acto administrativo considera las etapas de la actividad y la participación pública; • Los valores más importantes para la evaluación son la conveniencia de las actividades económicas relevantes para la economía del país, entre las cuales se destaca la actividad de pesca; y • Entre las metas a ser alcanzadas por el país se destaca la búsqueda imperante de la descarga cero y el cuidado con la preservación de aves cuyo alimento proviene del mar y de las reservas de peces desde las etapas de sísmica

3.8 CANADÁ

Este país se caracteriza por la explotación de recursos provenientes de yacimientos no convencionales como lo son las arenas bituminosas, lo cual le hace ser un referente en materia de licenciamientos ambientales. La metodología que se utiliza es relativamente simple con únicamente 4 etapas y teniendo como metodología el uso de cuadros comparativos (Figura 17)

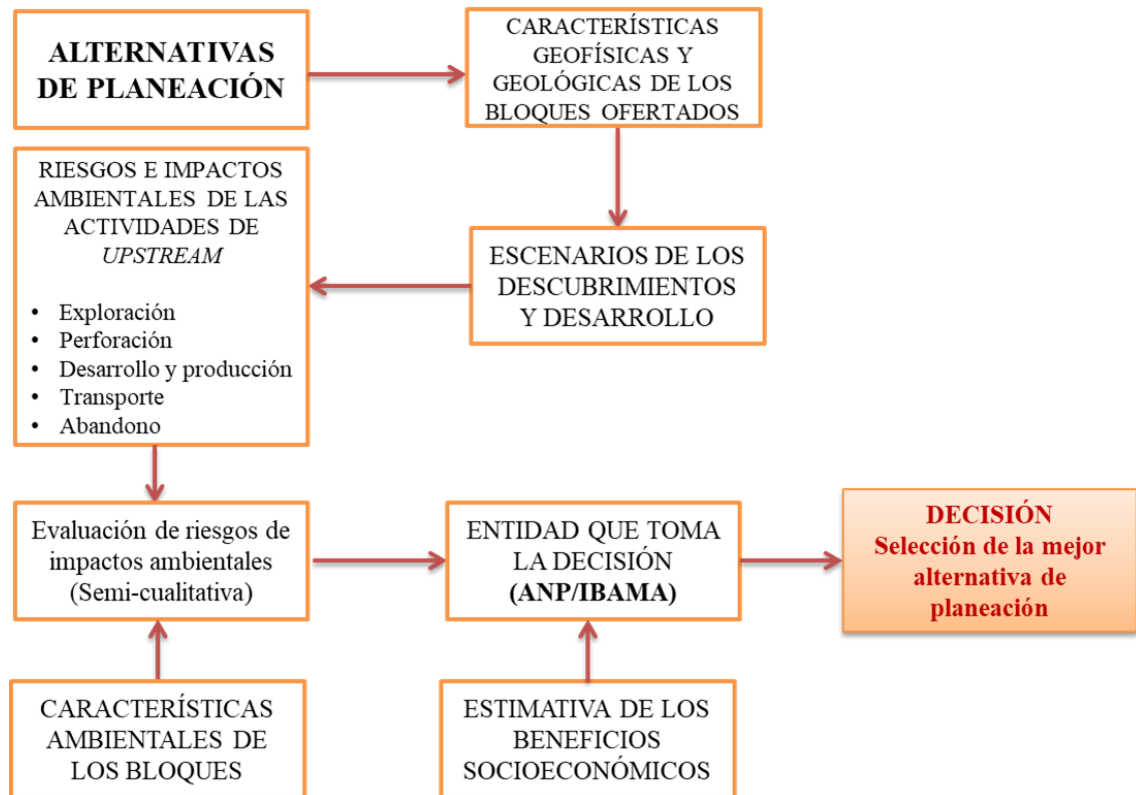
Figura 19. Metodología general para la aplicación de la EAE en Canadá



4. APLICACIÓN METODOLÓGICA

La propuesta metodológica es basada en la tesis doctoral de Jaqueline Mariano presentada en el año 2007 para optar por el título de Doctora en planeamiento energético y ambiental de la *Universidade Federal do Rio de Janeiro*. En donde se destaca la caracterización geológica y estimación de reservas para establecer la relación costo-beneficio del proyecto y su repercusión en la sociedad, de igual manera se involucran los entes académicos compuestos por universidades e institutos de investigación lo cuales harán las veces de entidades consultoras.

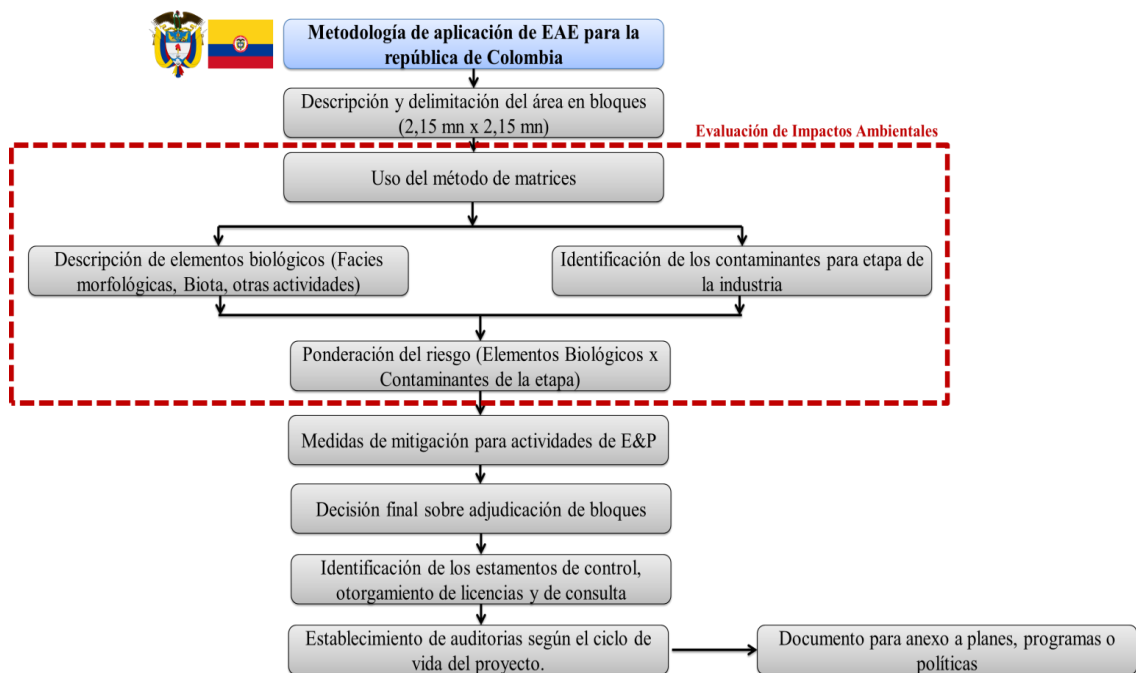
Figura 20. Esquema de EAE antes de la elaboración de los planes, políticas y programas; desarrollada por Mariano 2007.



Las variaciones planteadas en el presente ejercicio académico están representadas en la delimitación perimetral de cada uno de los bloques, así como en el establecimiento de los entes y órganos que serán parte activa y fundamental del desarrollo y puesta en marcha de la Evaluación ambiental estratégica para el otorgamiento de licencias de exploración y explotación de recursos hidrocarburíferos costa afuera. (Figura 19)

A continuación, se presenta el análisis de impactos ambientales para la posterior incorporación en un programa público, cuya finalidad será evaluar la concesión de 6 sub-bloques pertenecientes al Bloque Tayrona II.

Figura 21. Propuesta de metodología de aplicación de EAE para el otorgamiento de licencias ambientales en proyectos costa afuera en Colombia

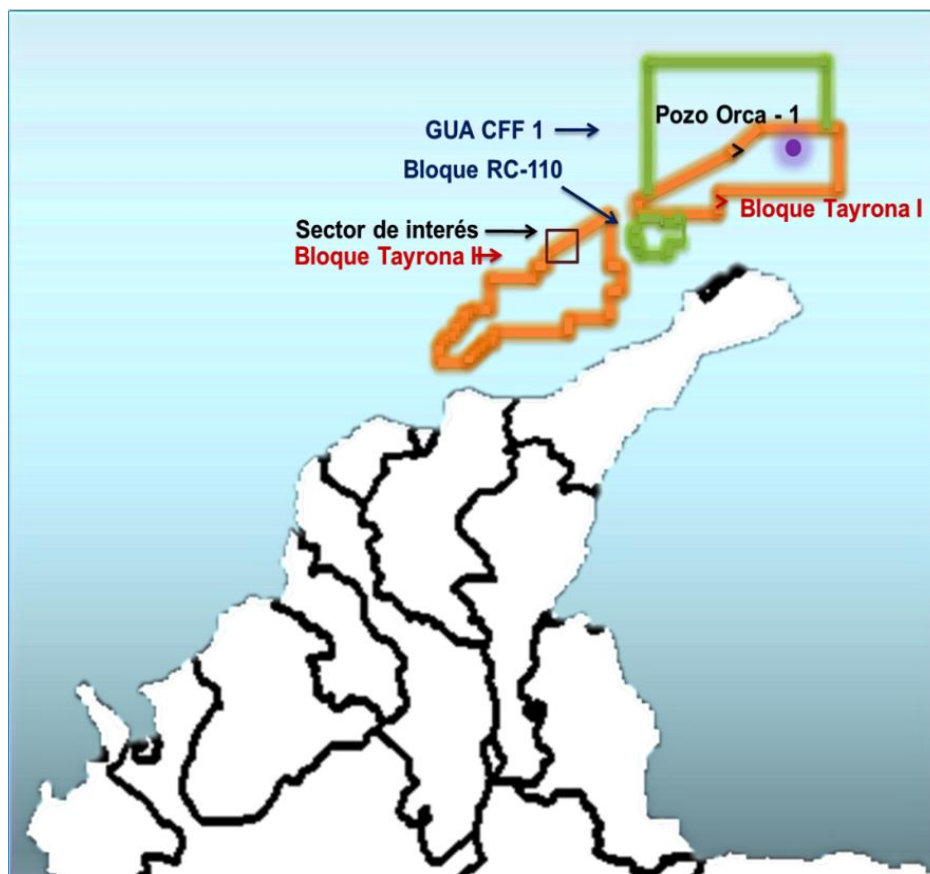


mn: millas náuticas

4.1 UBICACIÓN

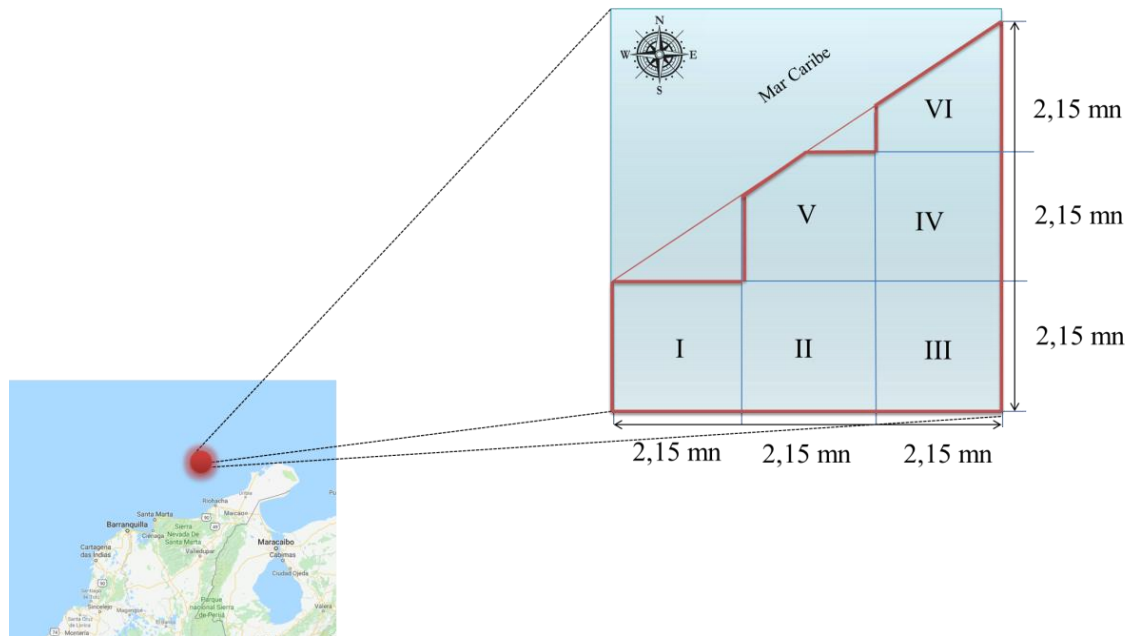
La zona de interés tiene por coordenadas, 12°35'01.5"N – 74°00'17". Se encuentra en el mar Caribe en aguas en donde ejerce soberanía el estado Colombiano; por otro lado se destaca la presencia de tres bloques aledaños con potencial hidrocarburífero: Tayrona I, CFF 1 y RC-110. Los bloques distan cerca de 75.65 Millas náuticas (mn) de la costa lo cual permite una navegación eficiente y atender cualquier eventualidad. (Figura 20)

Figura 22. Ubicación de la zona de interés



Por otro lado, siguiendo la metodología propuesta anteriormente, se divide la zona en 6 bloques tal y como puede apreciarse en la Figura 21.

Figura 23. División de los bloques



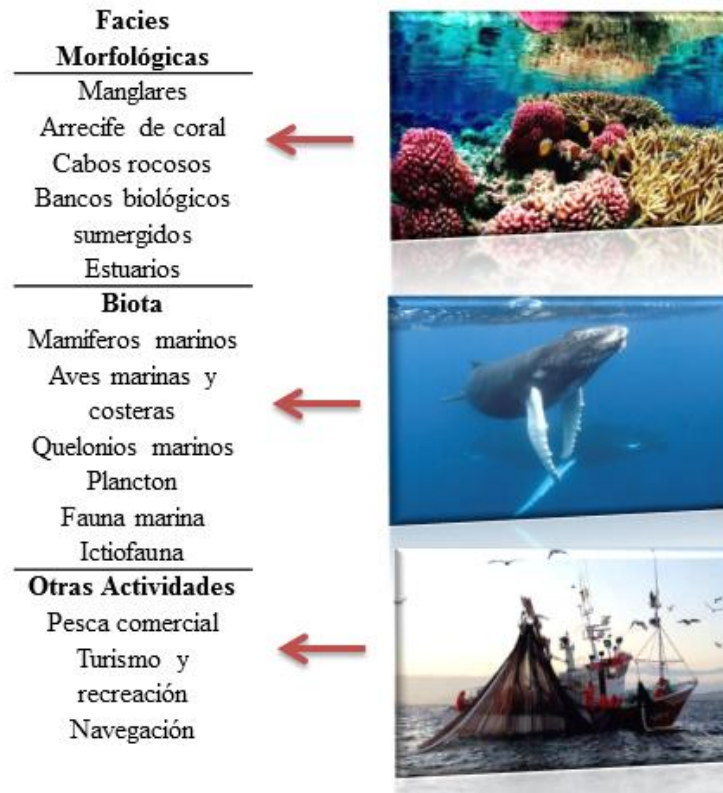
Atendiendo la metodología de matrices y con información suministrada por la IBP – *Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis*, a continuación, se expone la descripción de los posibles contaminantes en cada actividad de la industria en la Tabla 6, así como la descripción de elementos biológicos (Figura 22). Cabe destacar que para este ejercicio académico se considera que cada uno de los bloques tiene potencial de reservas comerciales.

Tabla 2. Tipo de contaminantes de acuerdo a las etapas más riesgosas desde el punto de vista ambiental.

Exploración	Perforación	Producción	Transporte	Abandono
Polución sonora: Ruido de embarcaciones	Posicionamiento de la unidad	Tráfico de aeronaves	Derrame de crudo	Desmonte de la estructura
Polución sonora: Ruido de cañones de aire	Perforación de los pozos	Posicionamiento de la unidad	Construcción de gasoductos y oleoductos	Abandono y reacondicionamiento de los pozos
Colisión de embarcaciones	Descarte de aguas residuales	Presencia física de las unidades	Tráfico de embarcaciones: Ruido y presión viaria	Descarte de residuos sanitarios
Presencia física de embarcaciones	Descarte de recortes de formación	Descarte de aguas residuales	Colisión de las embarcaciones	Fuga de crudo
Descarte de aguas residuales	Descarte de residuos peligrosos	Descarte de residuos sólidos	Anclaje de las embarcaciones	Emissiones atmosféricas
Fuga de crudo	Presencia física de unidades	Descarte de aguas de producción	Presencia física de embarcaciones y ductos	
Emissiones atmosféricas	Fuga de crudo	Emissiones atmosféricas	Descarte de aguas residuales	
Ruptura de cables de hidrófonos	Emissiones atmosféricas	Fuga de petróleo	Emissiones atmosféricas	
Arrastre de cables	Blowouts	Emissiones de compuestos orgánicos volátiles	Ruptura del equilibrio marino	
Descarte de aguas sanitarias	Descarte de aguas sanitarias	Tráfico de embarcaciones de soporte		

Fuente: MARIANO, Jacqueline Barboza. Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas offshore. Tesis de doctorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

Figura 24. Descripción de elementos biológicos: Facies morfológicas, biota y otras actividades de interés



A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante el uso de mapas de sensibilidad a través del método matricial, los cuales fueron elaborados a través de la cuantificación numérica de cada una de las variables desde 0 hasta 5 expuestas en las Figura 22 y en la Tabla 6 y siguiendo la metodología de matrices. Dicho valor es asignado por el experto o cuerpo de expertos evaluador ambiental con base en la documentación y datos recolectados, su experiencia profesional e interpretación objetiva. Una vez cerrado cada polígono, en función del área que encierra, se asigna un nivel de riesgo de 5% (riesgo bajo), 36% (riesgo medio), 90% (riesgo alto) de ocurrencia de los impactos ambientales y por tanto, se obtienen valores cuantitativos determinantes en la asignación de cada bloque, teniendo en cuenta que debe ponderarse la media de los porcentajes de riesgo de las 5 etapas

operativas de evaluación de cada bloque (Exploración, Perforación, Producción, Transporte, Abandono) para otorgar o no la concesión o licitación a la(s) empresa(s) licitantes.

A continuación, se presentan los resultados de la Evaluación de impactos ambientales en cada uno de los bloques; cabe destacar que el área de cada uno de los polígonos será determinada como una variable categórica para la toma de decisiones y elaboración del programa de otorgamiento de bloques. Los datos utilizados provienen de boletines SIAM (Sistema Ambiental Marino de Colombia) y SAMP (Sistemas de áreas marinas protegidas) de la corporación de investigación y estudios marinos INVEMAR (Díaz et al, 2000). Cabe recordar que los valores que se presentan en cada mapa de sensibilidad corresponden al riesgo de ocurrencia de los impactos ambientales de la Tabla 6 hacia los elementos biológicos de la Figura 22 para la etapa operativa evaluada; tal riesgo de ocurrencia varía de 1 a 5, en donde el valor más alto, 5, representa un riesgo insignificante, 4 corresponde a un riesgo bajo, 3 y 2 riesgo medio y alto respectivamente y finalmente 1 que se entiende como un riesgo extremo. Los porcentajes elegidos (5%, 36% y 90%) para efectos de la presente investigación, son propuestos por los autores y basados en fundamentos bibliográficos.

4.2 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE I

Como puede observarse en las Figuras 23, 24, 25, 26 y 27, la mayoría de los valores de riesgo de ocurrencia es insignificante y algunos bajos y medios; por tanto, la probabilidad de que los riesgos asociados a las actividades de exploración y explotación sean tangibles es de 5% de ocurrencia durante el tiempo de vida del proyecto, en casos similares los accidentes representaron circunstancias

excepcionales y es extremadamente improbable que alguna eventualidad adversa ocurra.

Figura 25. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de exploración

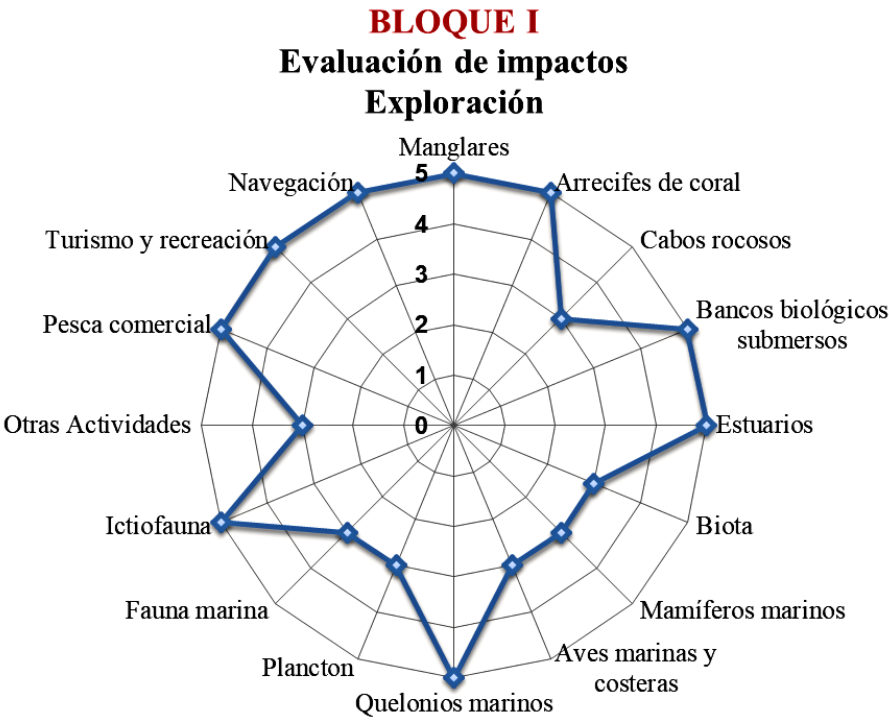


Figura 26. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de perforación

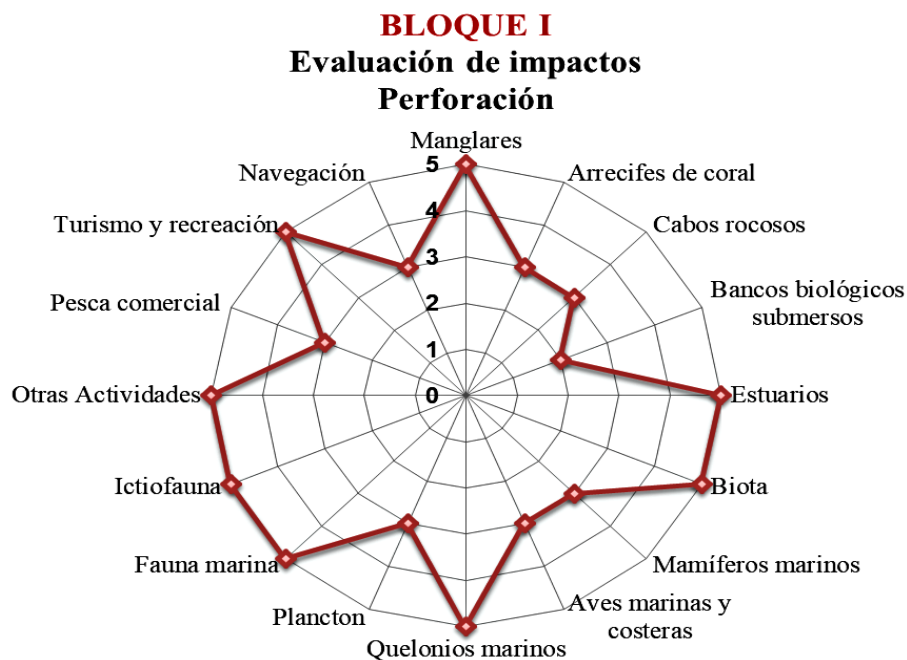


Figura 27. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de producción

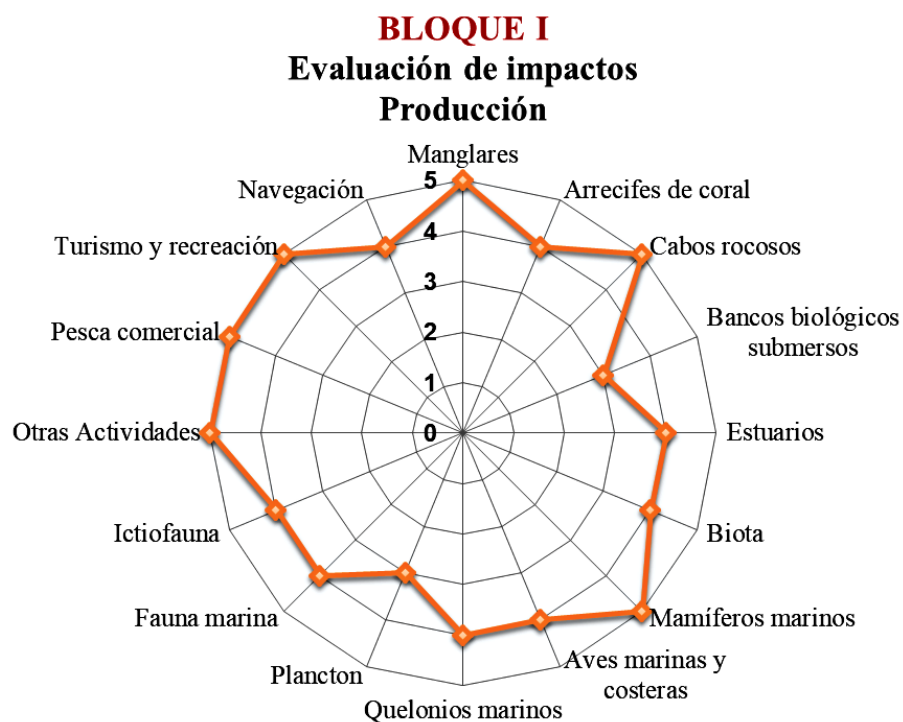


Figura 28. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de transporte

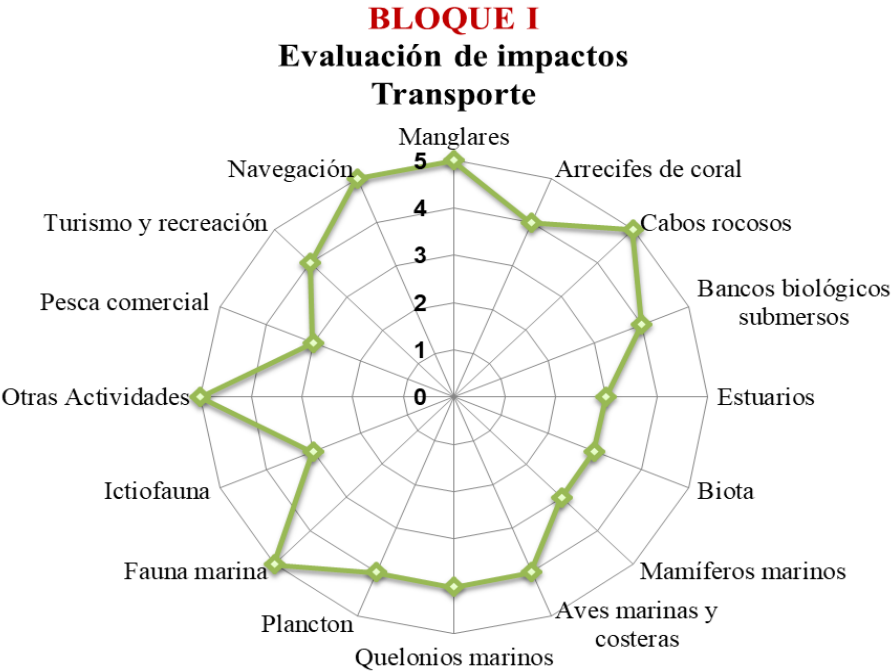
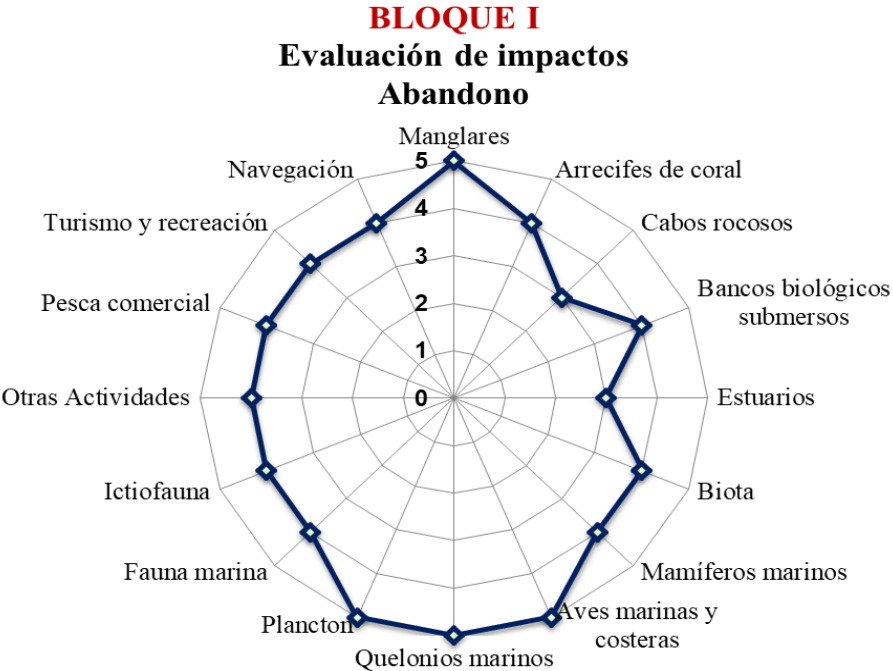


Figura 29. Evaluación de impactos, bloque I, actividad de abandono



4.3 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE II

Como puede observarse en las Figuras 28, 29, 30, 31 y 32, la mayoría de los valores de riesgo de ocurrencia es medio y bajo; por tanto, La probabilidad de ocurrencia de alguna afectación es del 36%, en información recabada de proyectos con las mismas características es improbable que ocurra alguna catástrofe, sin embargo, hay un riesgo latente y requerimiento de supervisión y vigilancia de tal vulnerabilidad en caso de asignación del bloque.

Figura 30. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de exploración

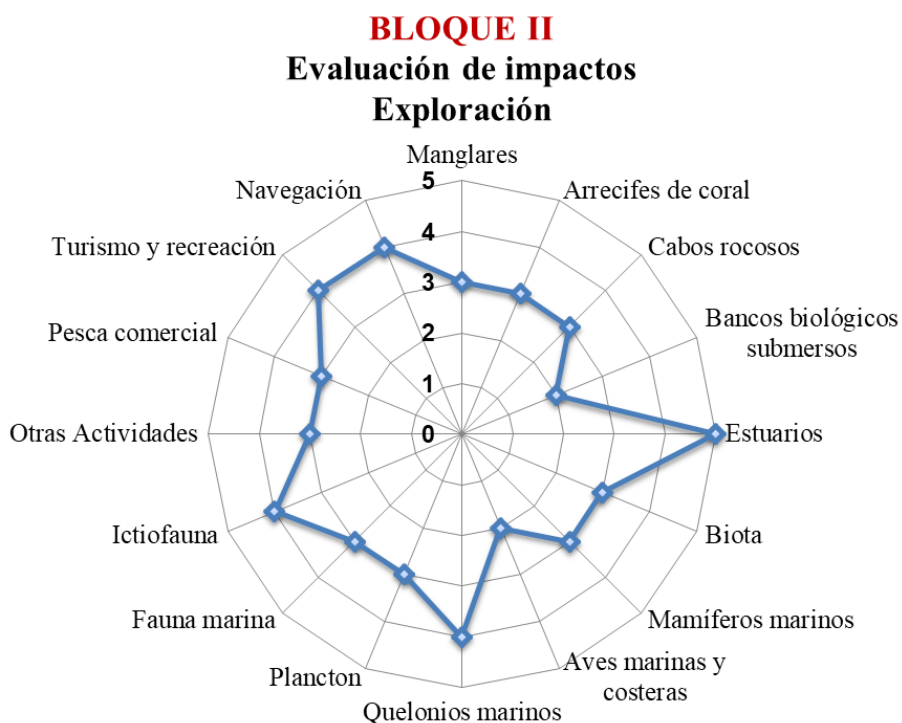


Figura 31. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de perforación

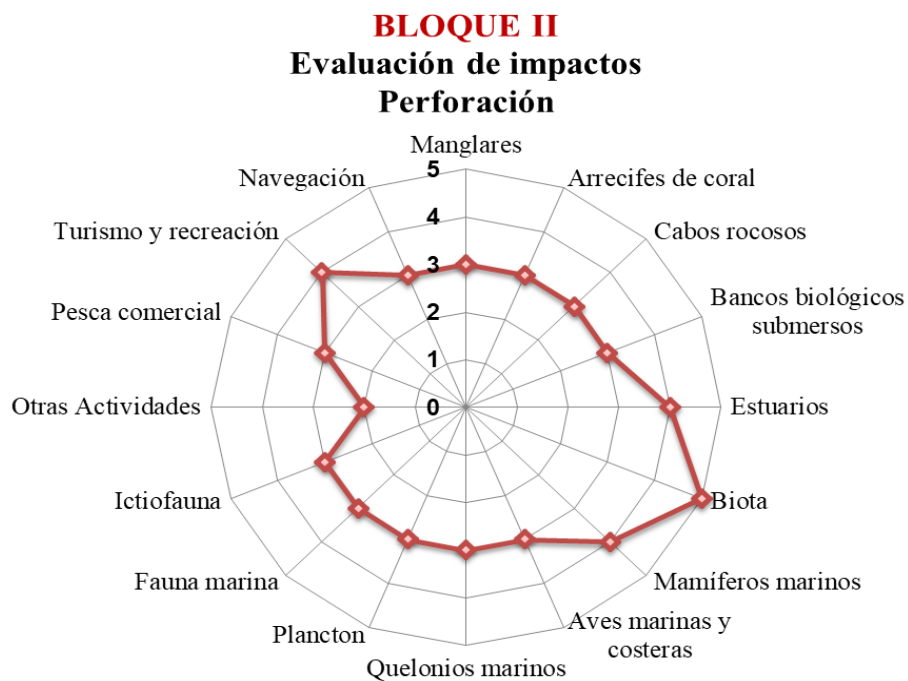


Figura 32. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de producción

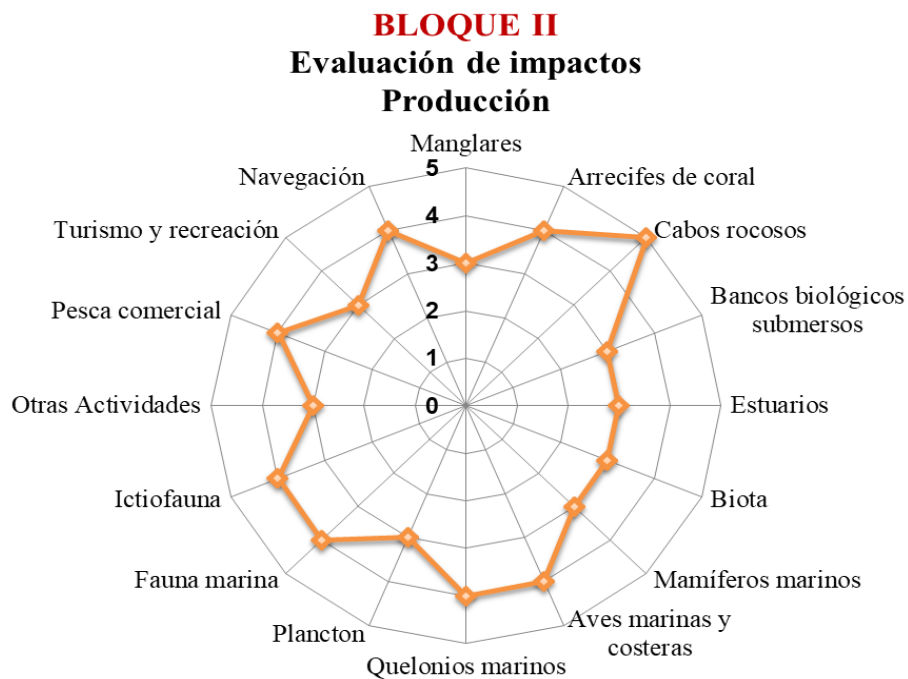


Figura 33. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de transporte

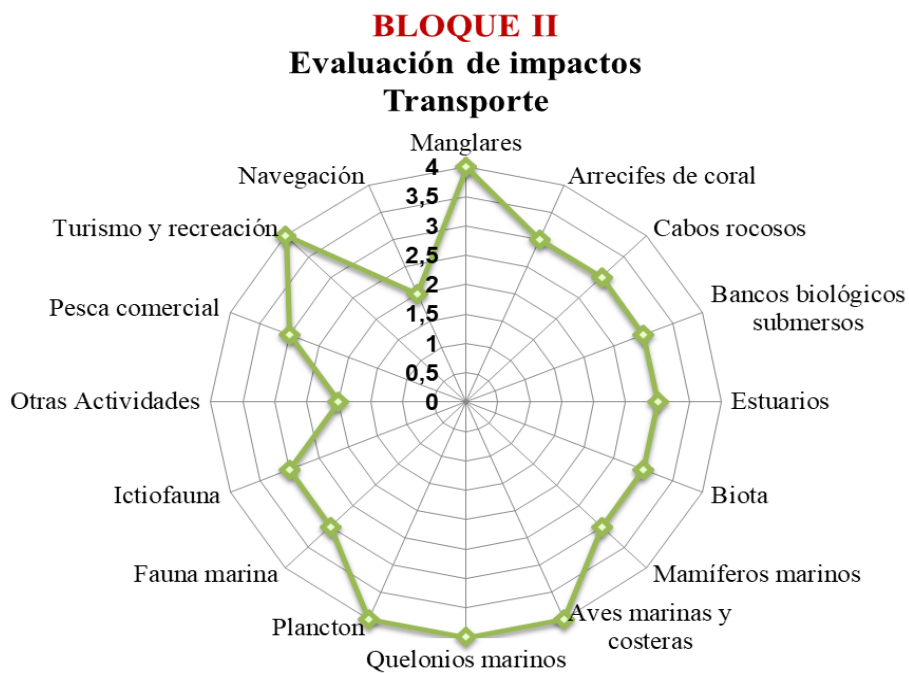
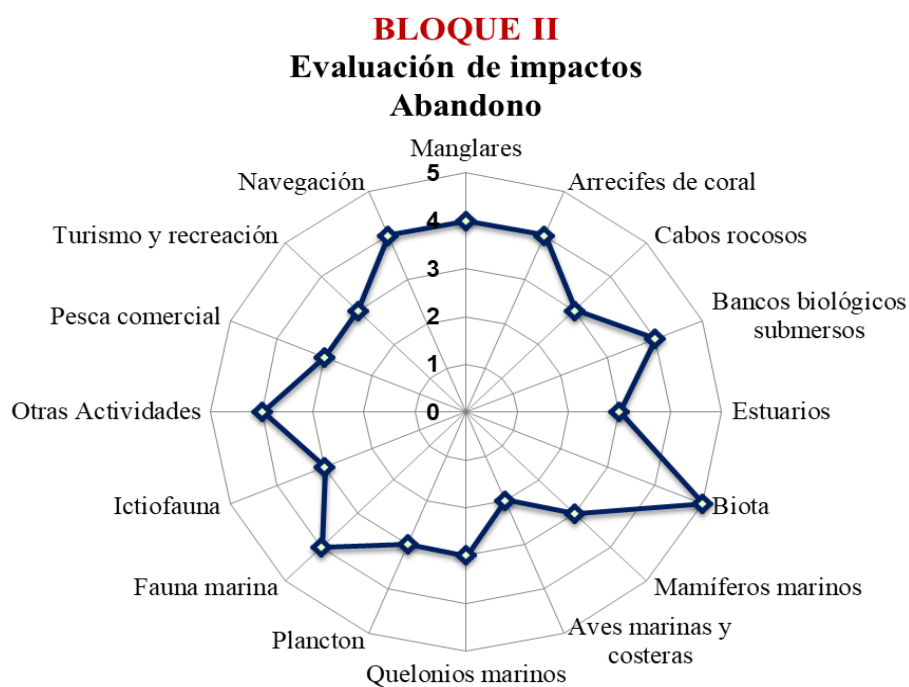


Figura 34. Evaluación de impactos, bloque II, actividad de abandono



4.4 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE III

Como puede observarse en las Figuras 33, 34, 35, 36 y 37, la mayoría de los valores de riesgo de ocurrencia es insignificante y algunos bajos y medios; por tanto, la probabilidad de que los riesgos asociados a las actividades de exploración y explotación sean tangibles es de 5% de ocurrencia durante el tiempo de vida del proyecto, en casos similares los accidentes representaron circunstancias excepcionales y es extremadamente improbable que alguna eventualidad adversa ocurra.

Figura 35. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de exploración

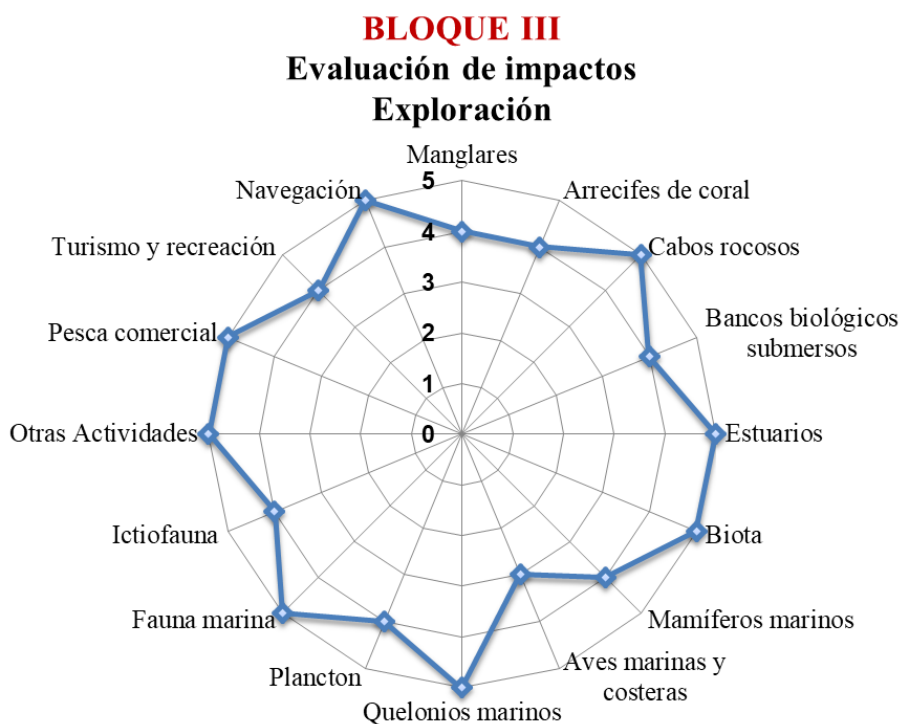


Figura 36. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de perforación

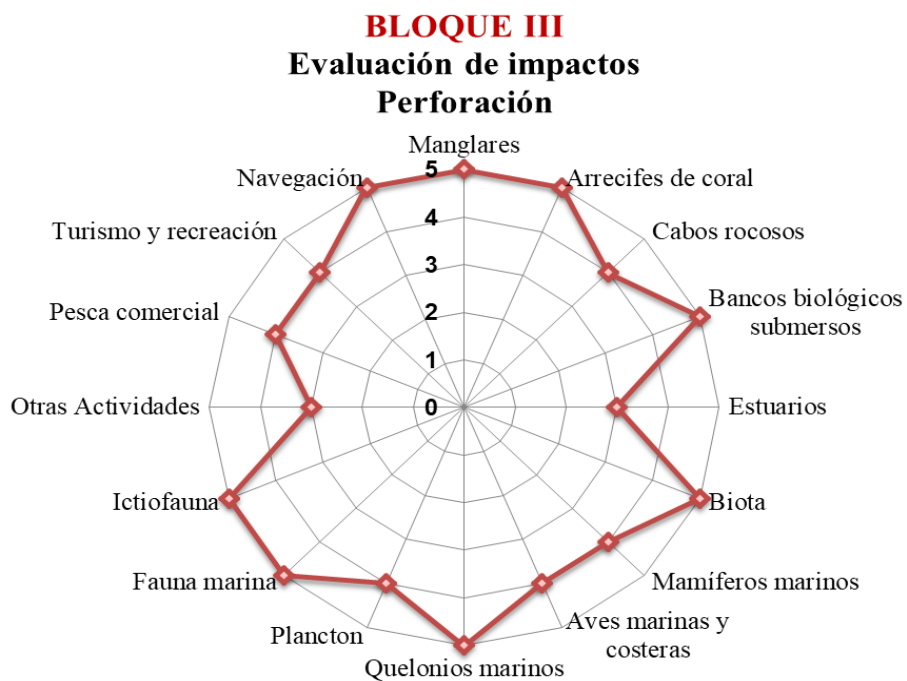


Figura 37. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de producción

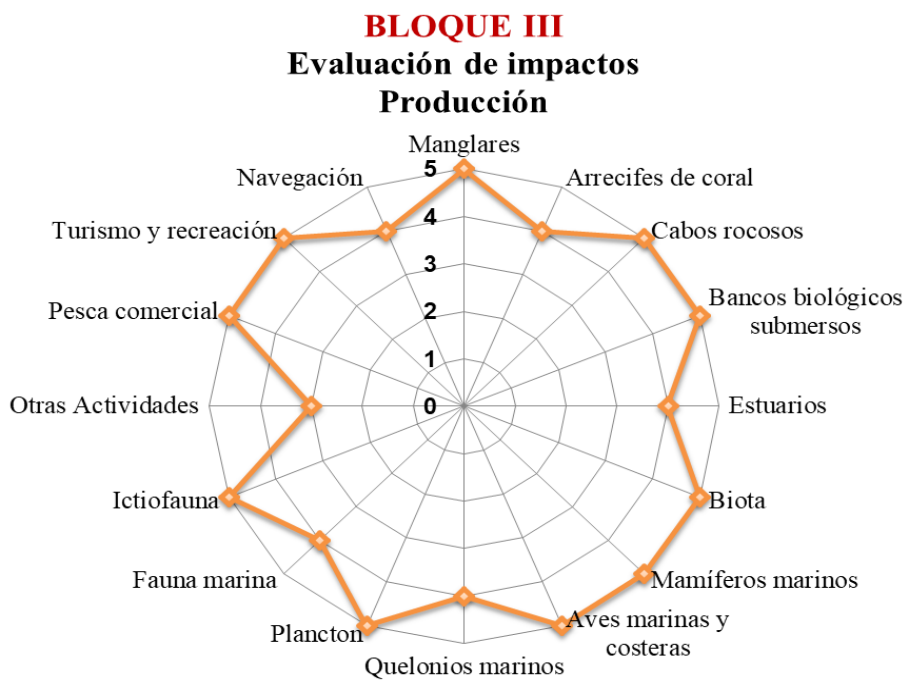


Figura 38. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de transporte

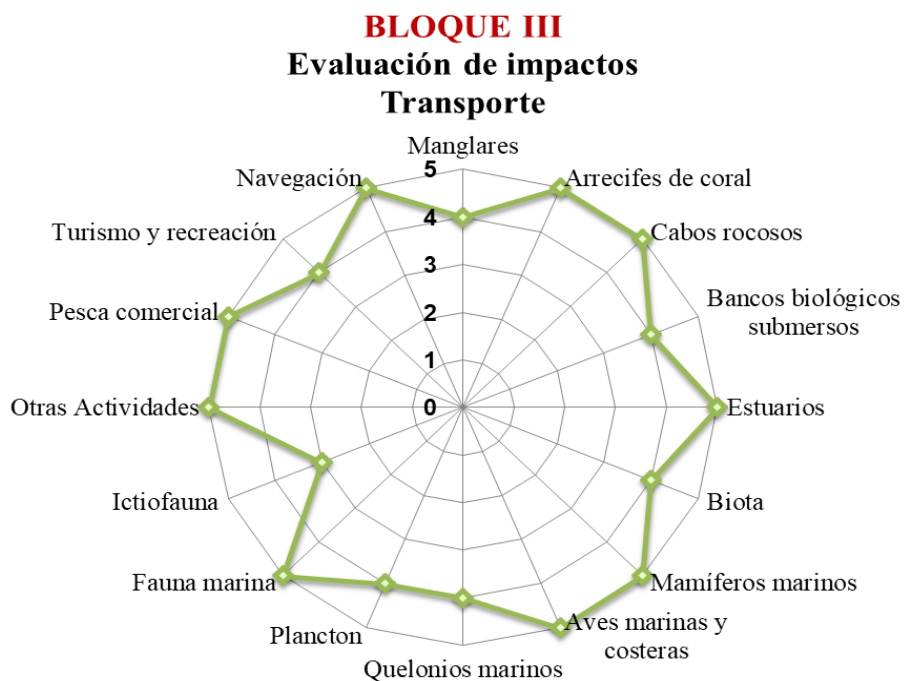
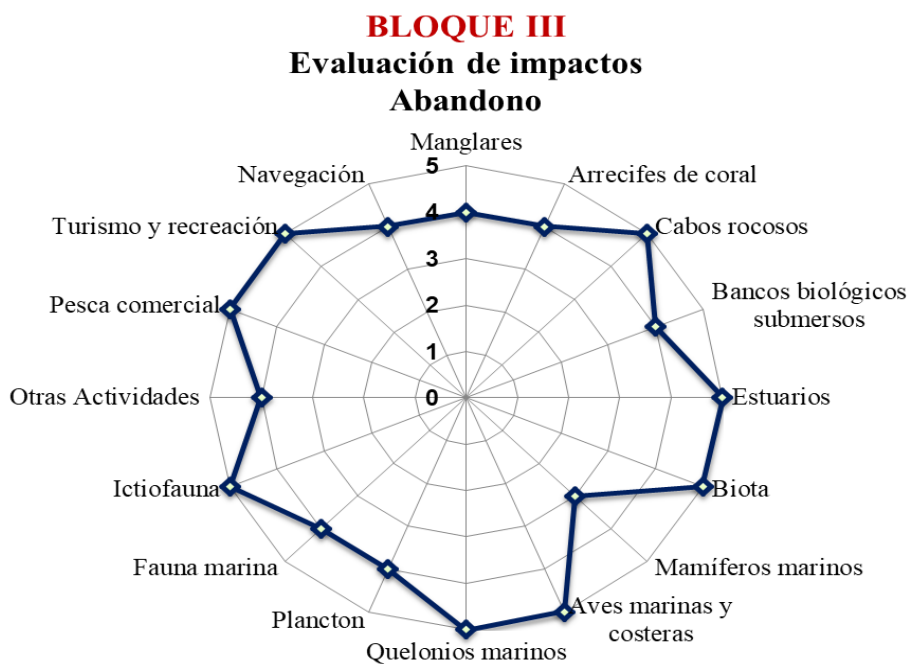


Figura 39. Evaluación de impactos, bloque III, actividad de abandono



4.5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE IV

Como puede observarse en las Figuras 38, 39, 40, 41 y 42, la mayoría de los valores de riesgo de ocurrencia es medio y bajo y algunos insignificantes; por tanto, La probabilidad de ocurrencia de alguna afectación es del 36%, en información recabada de proyectos con las mismas características es improbable que ocurra alguna catástrofe, sin embargo, hay un riesgo latente y requerimiento de supervisión y vigilancia de tal vulnerabilidad en caso de asignación del bloque.

Figura 40. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de exploración

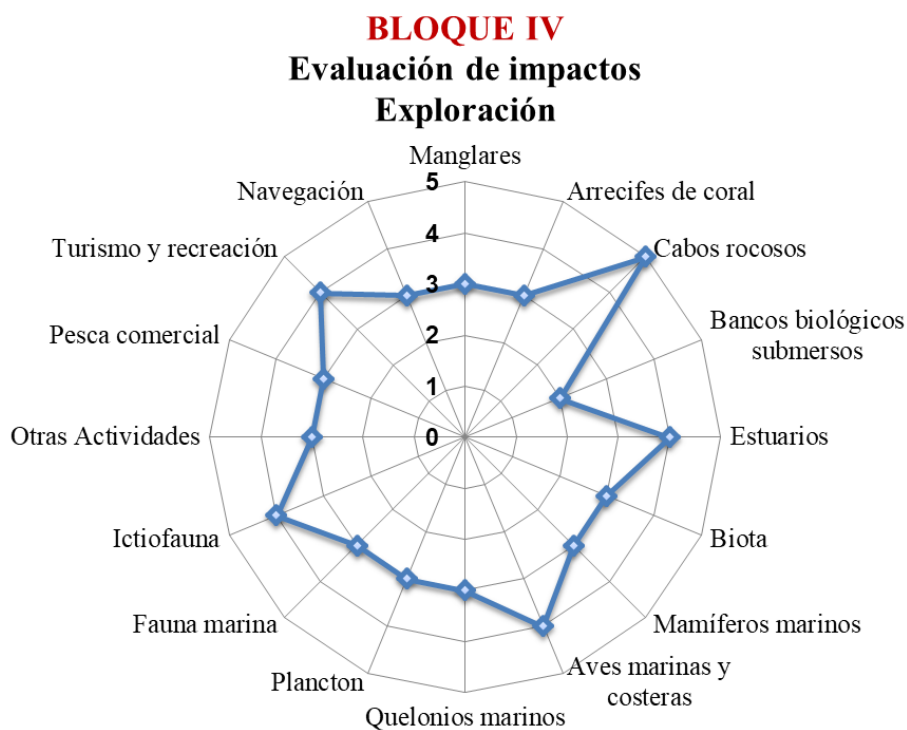


Figura 41. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de perforación

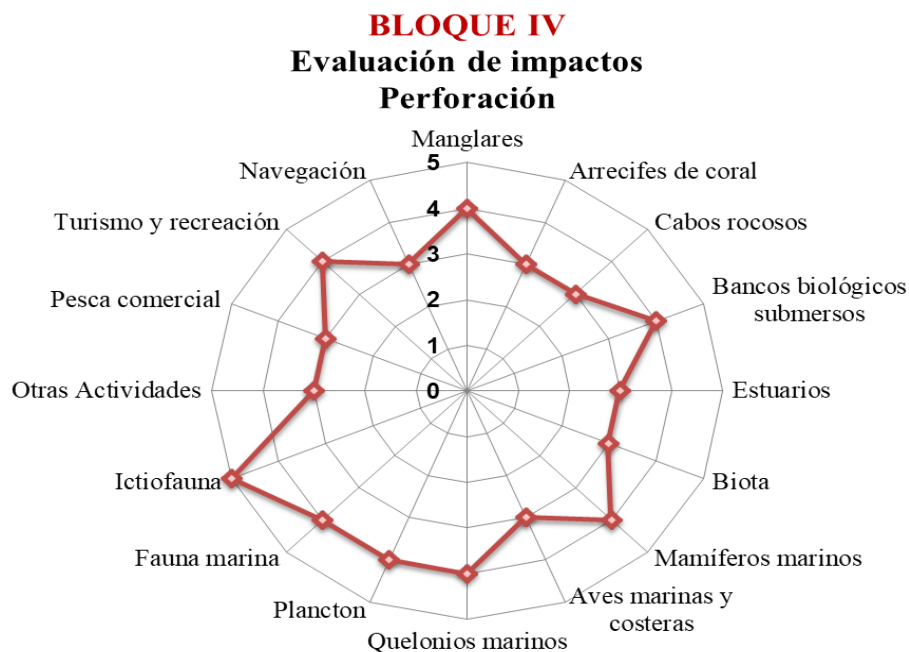


Figura 42. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de producción

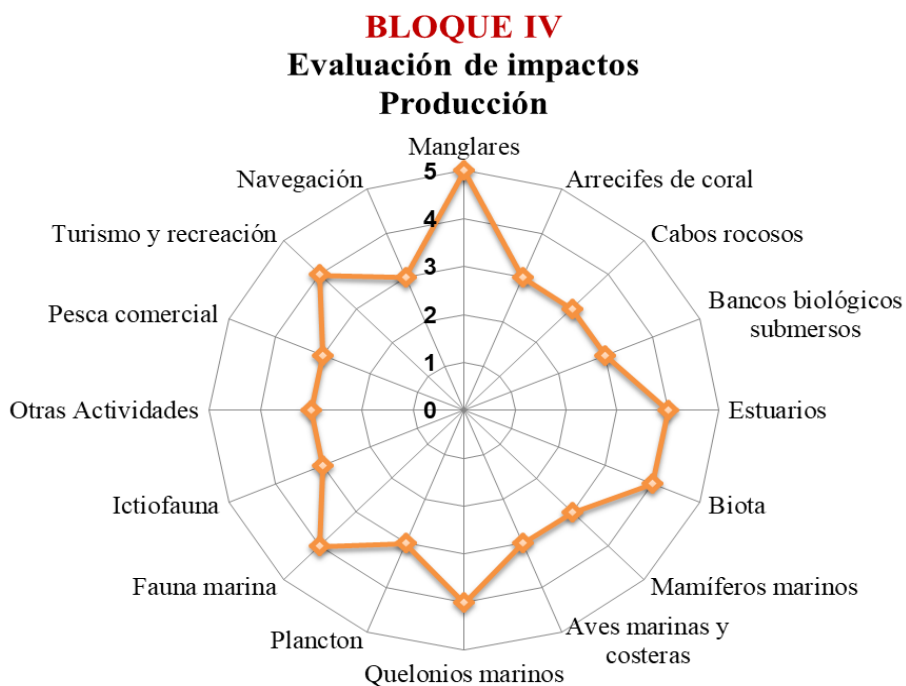


Figura 43. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de transporte

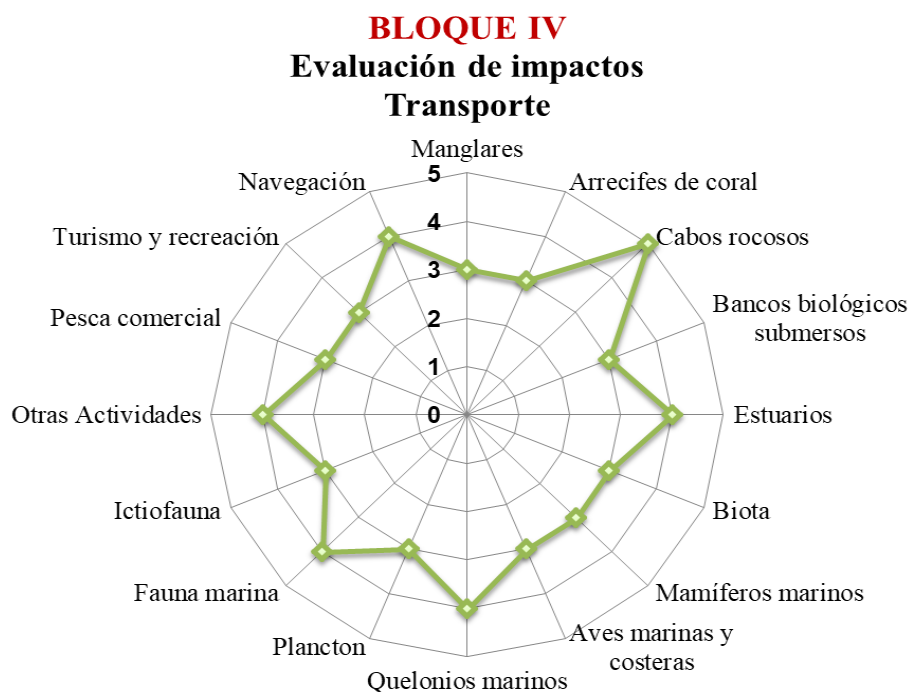
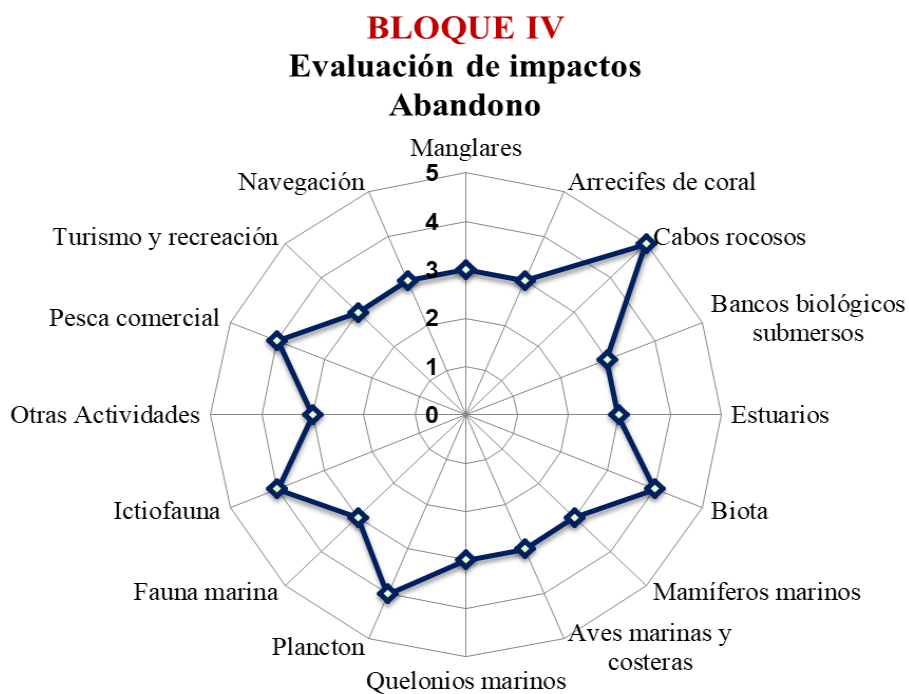


Figura 44. Evaluación de impactos, bloque IV, actividad de abandono



4.6 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE V

Como puede observarse en las Figuras 43, 44, 45, 46 y 47, la mayoría de los valores de riesgo de ocurrencia están cercanos al riesgo alto y algunos extremos; por tanto, de determinó que la probabilidad de ocurrencia de algún accidente es del 90% al inicio o a lo largo del proyecto, de igual manera pudo establecerse mediante la información recabada que en operaciones con las condiciones presentadas los inconvenientes son frecuentes y continuos.

Figura 45. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de exploración

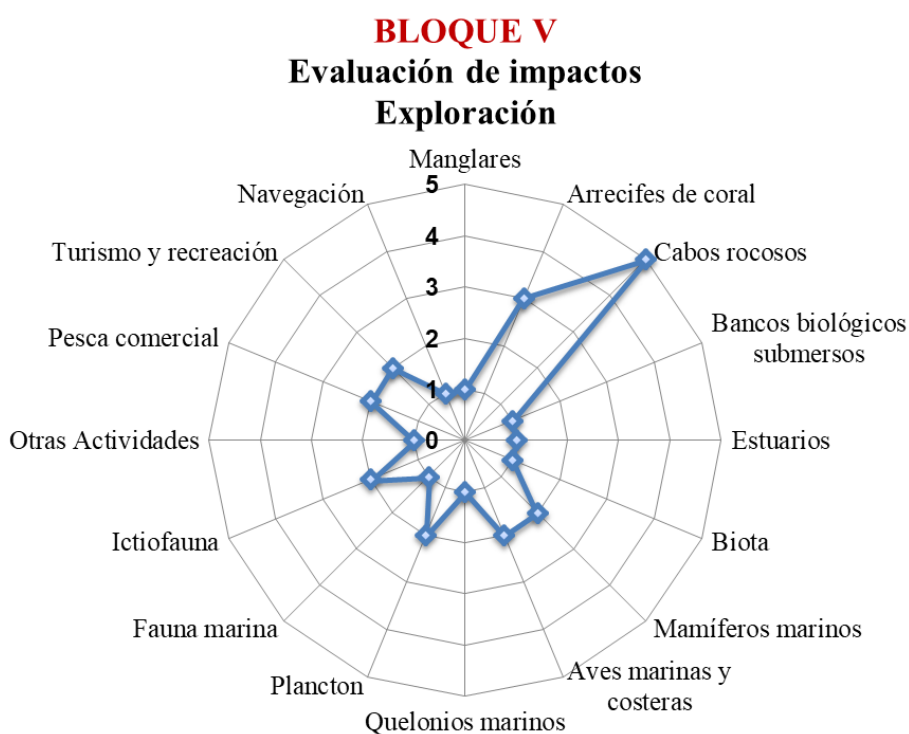


Figura 46. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de perforación

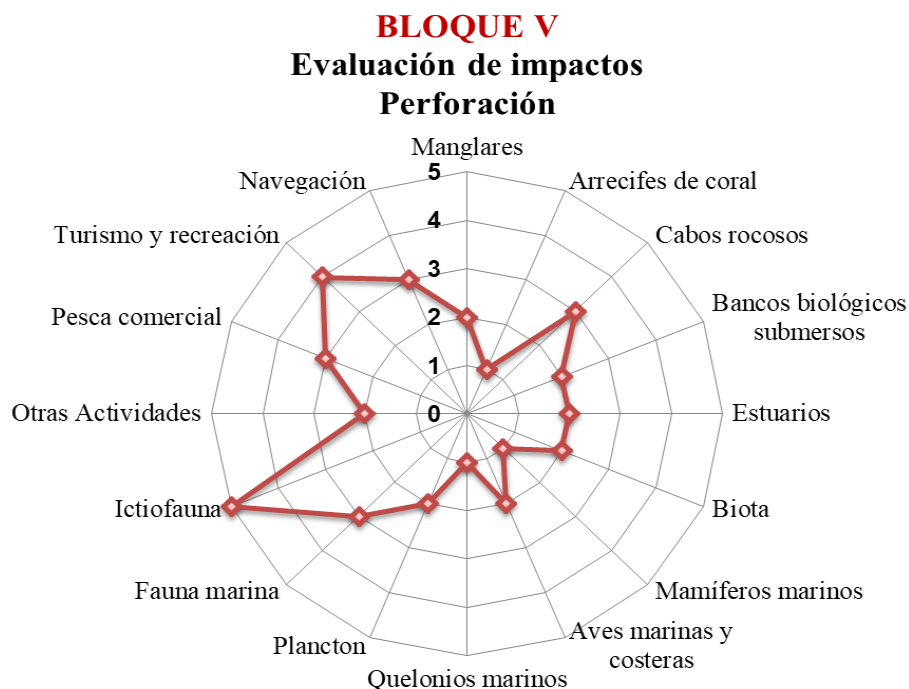


Figura 47. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de producción

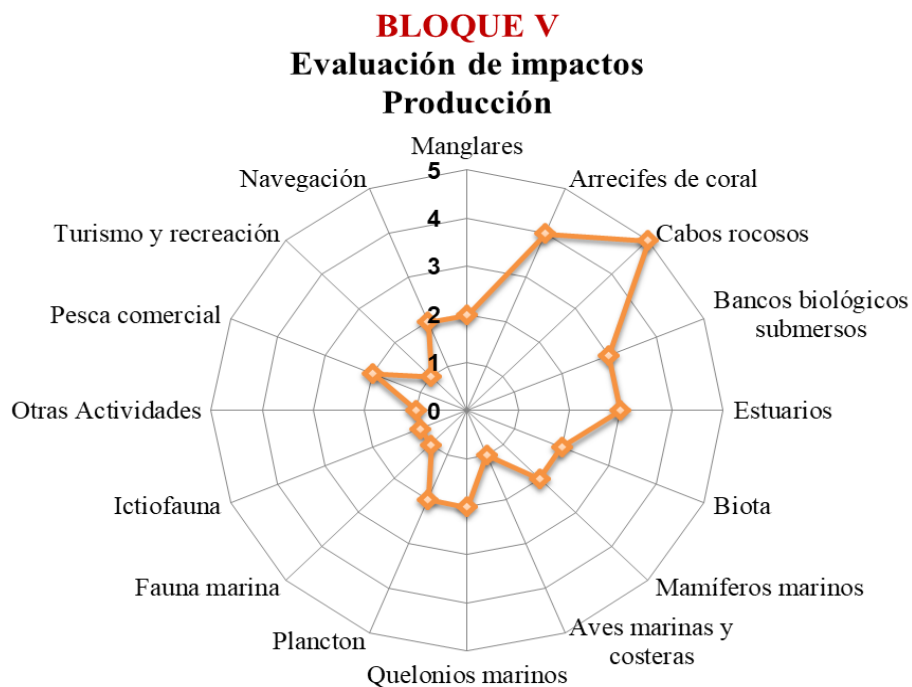


Figura 48. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de transporte

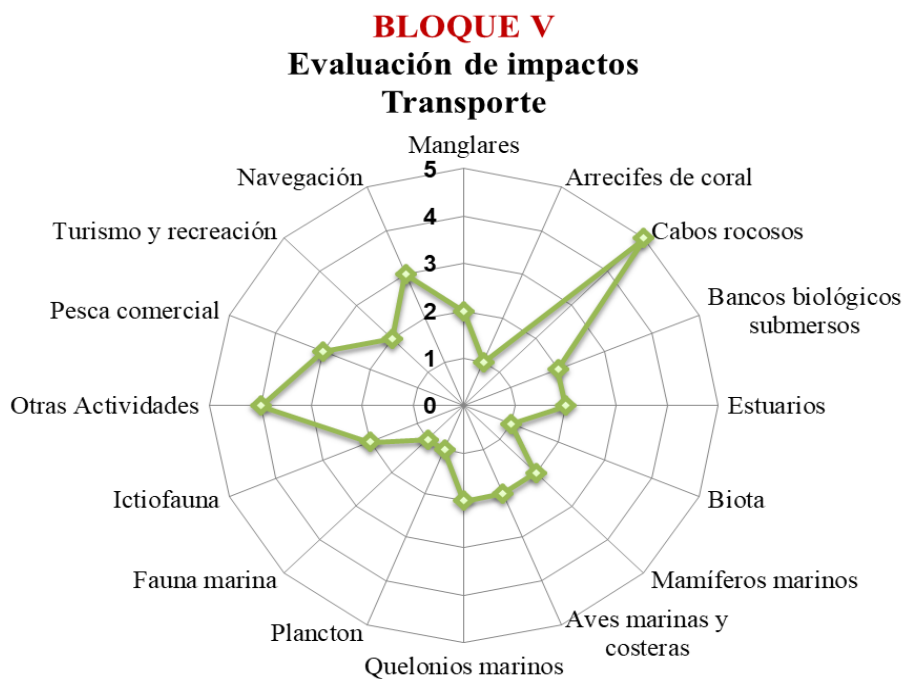
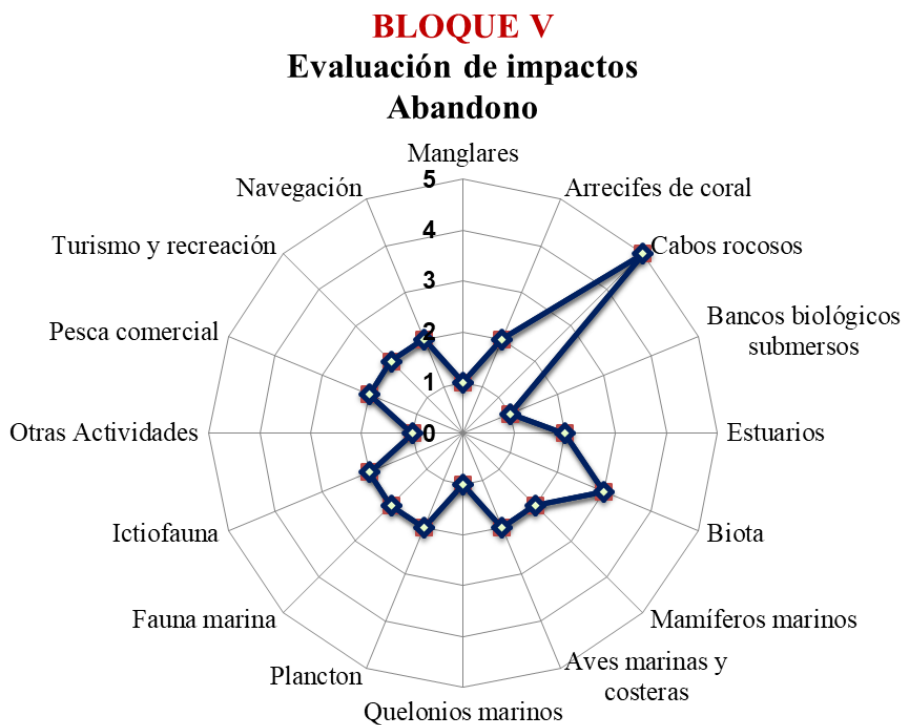


Figura 49. Evaluación de impactos, bloque V, actividad de abandono



4.7 EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA EL BLOQUE VI

Como puede observarse en las Figuras 48, 49, 50, 51 y 52, la mayoría de los valores de riesgo de ocurrencia están cercanos al riesgo alto y algunos extremos; por tanto, de determinó que la probabilidad de ocurrencia de algún accidente es del 90% al inicio o a lo largo del proyecto, de igual manera pudo establecerse mediante la información recabada que en operaciones con las condiciones presentadas los inconvenientes son frecuentes y continuos.

Figura 50. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de exploración

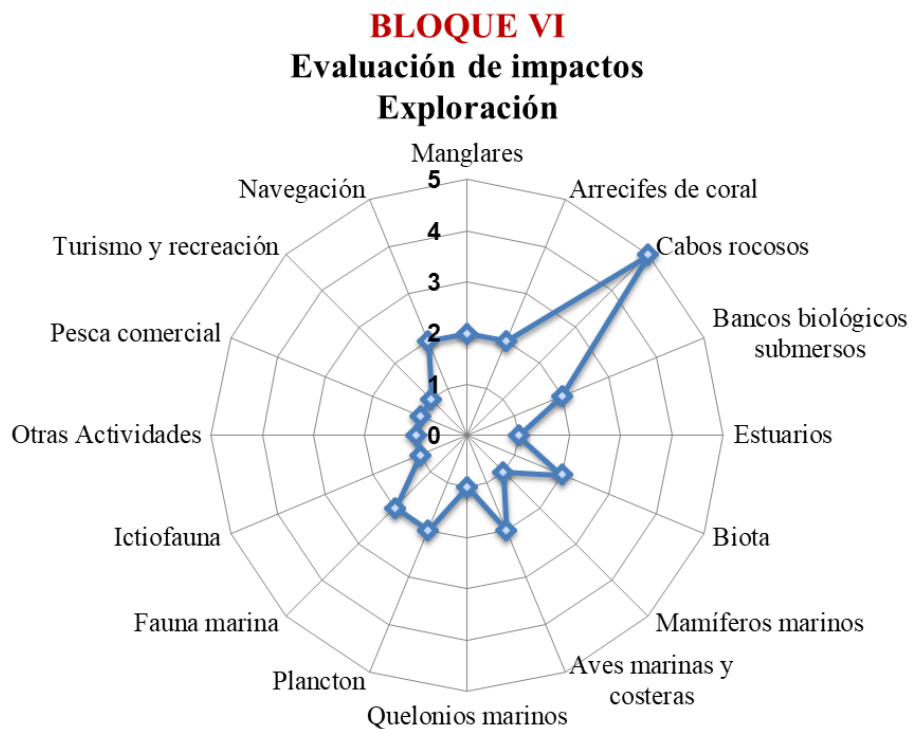


Figura 51. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de exploración

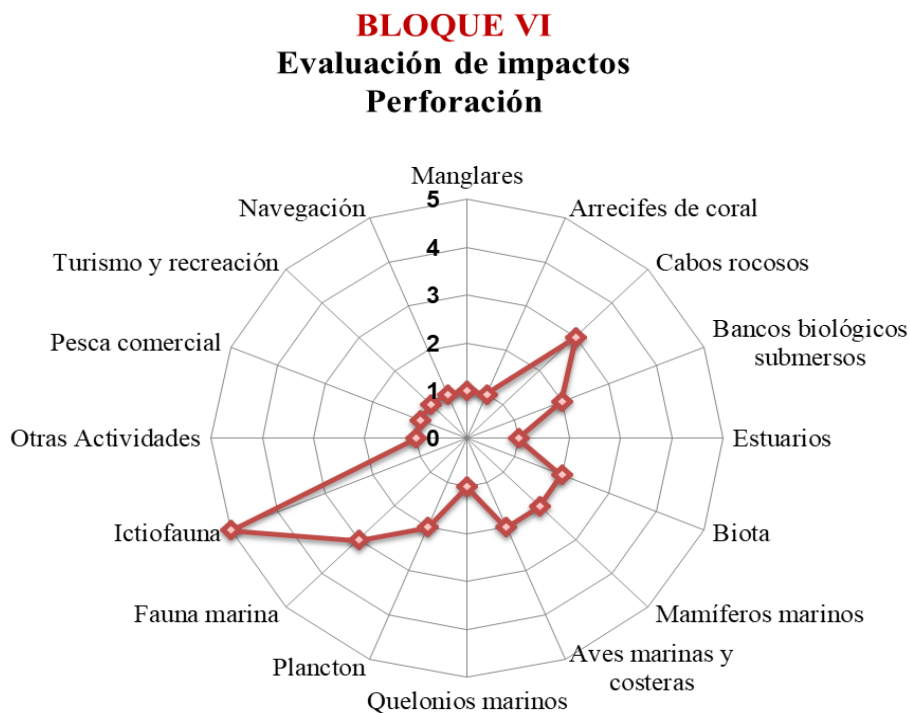


Figura 52. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de perforación

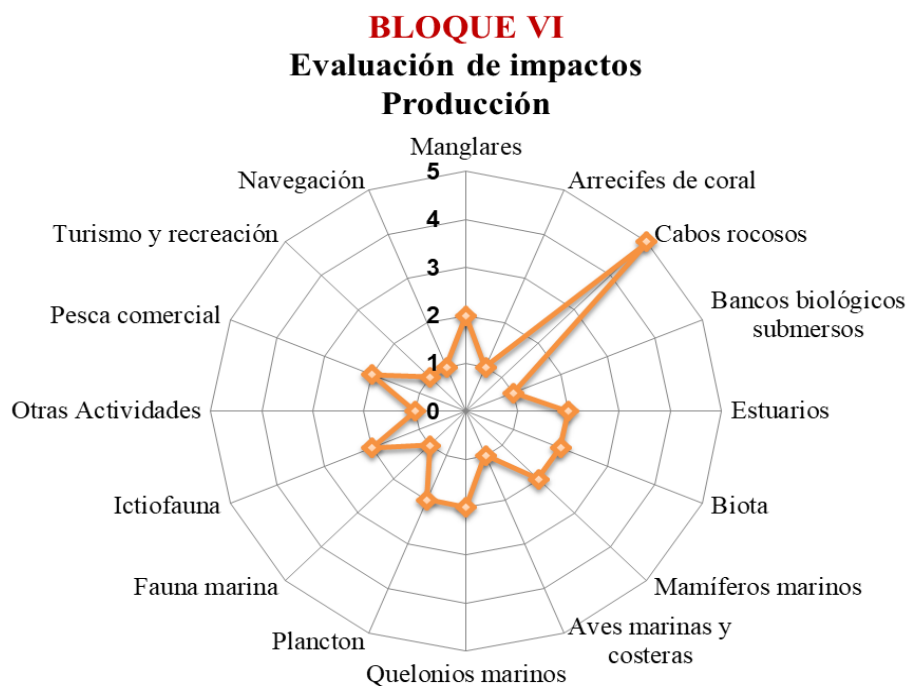


Figura 53. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de transporte

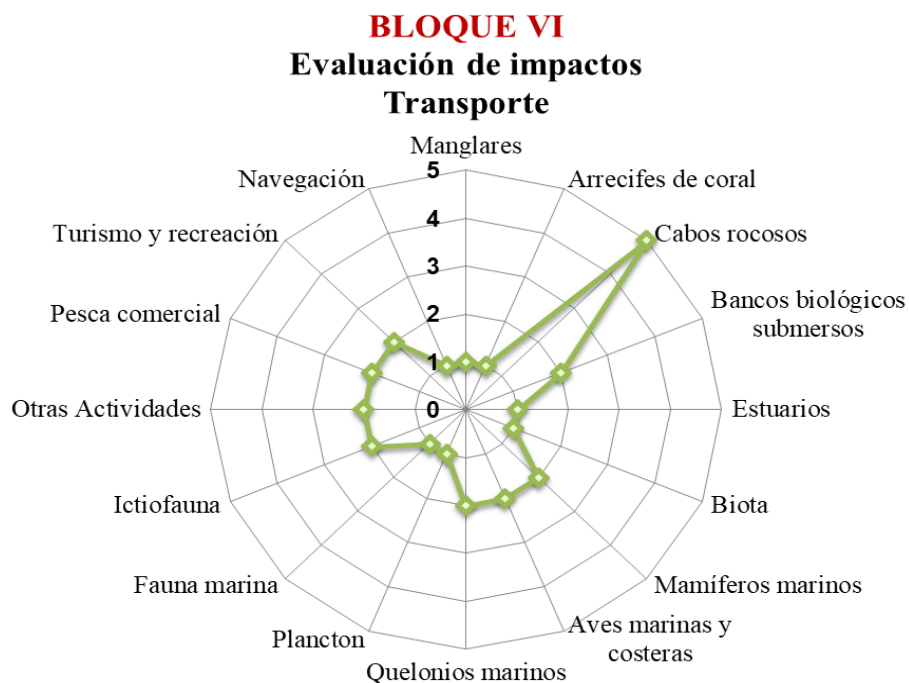
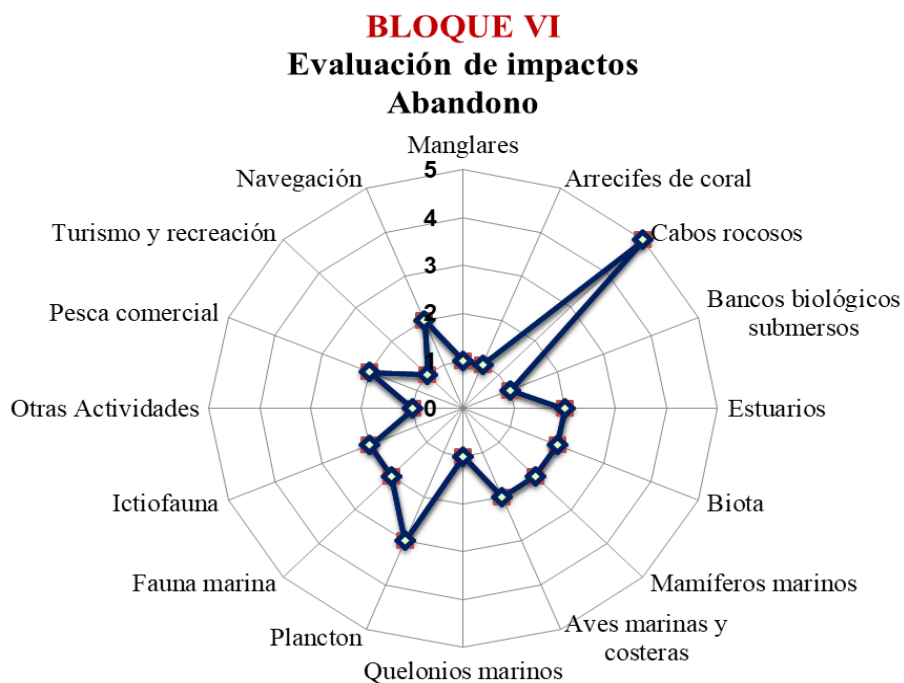


Figura 54. Evaluación de impactos, bloque VI, actividad de abandono



Continuando con la metodología propuesta, las Tablas 7 y 8 presentan los impactos, etapas y sus respectivas medidas de mitigación.

Tabla 7. Medidas de mitigación para actividades específicas de exploración y explotación.

Impactos	Medidas de mitigación
Estudios sísmicos – mamíferos marinos y otras actividades antrópicas	• Consulta a los grupos de interés, incluyendo la industria pesquera • Fiscalización antes del inicio de las actividades (Por un periodo mínimo determinado) • Atraso en la detonación de los cañones en cuyo caso se avisten diferentes especímenes dentro de una determinada área • Detonación controlada de los cañones • Interrupción de la detonación de los cañones cuando se detecte presencia importante de cardúmenes marinos • Interrupción de las actividades en época de reproducción, cortejo a amamanto
Perforación – Perturbación de la fauna que habita el lecho marino	• Identificación de una zona que minimice la perturbación de este tipo de fauna y que responda a los criterios geológicos establecidos para el inicio de la operación • Disposición de recortes de perforación en pequeñas formaciones con circulación limitada dentro del pozo, preferencialmente con aislamiento marino • Control de dispersión de los recortes • Perforación direccional de los pozos
Perforación – Contaminación de las aguas debido a los fluidos de perforación	• Reinyección total o parcial en el subsuelo después de la separación de las unidades de perforación • Cierre químico o mecánico del acceso a los acuíferos y cuerpos de aguas
Perforación – Perturbación de la fauna debido a ruidos	• Uso de unidades de perforación dinámicamente posicionadas • Evitar las áreas y períodos de mayor sensibilidad

Impactos	Medidas de mitigación
Transporte – Introducción de especies exóticas	• Revestimiento de los cascos de las embarcaciones con tintes biocidas
Transporte – Contaminación del agua por derrame de crudo	• Identificación de los recursos marinos y costeros especialmente sensibles al derrame de crudo y las áreas de protección prioritarias • Definición de estrategias de respuesta y de limpieza previa a los accidentes. Redacción de un plan de respuesta a emergencia

Fuente: ENVIROMENT AUSTRALIA 2005, LIMA - UFRJ, Avaliação Ambiental Estratégica das Atividades da Indústria de Petróleo e Gás Natural no Litoral Sul da Bahia, LIMA/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003 DTI, Consultation Document of The Strategic Environmental Assessment of the Mature Areas of the Offshore North Sea – SEA 3, DTI, UK, 2002; MARINO 2007

Tabla 8. Medidas de mitigación por etapa.

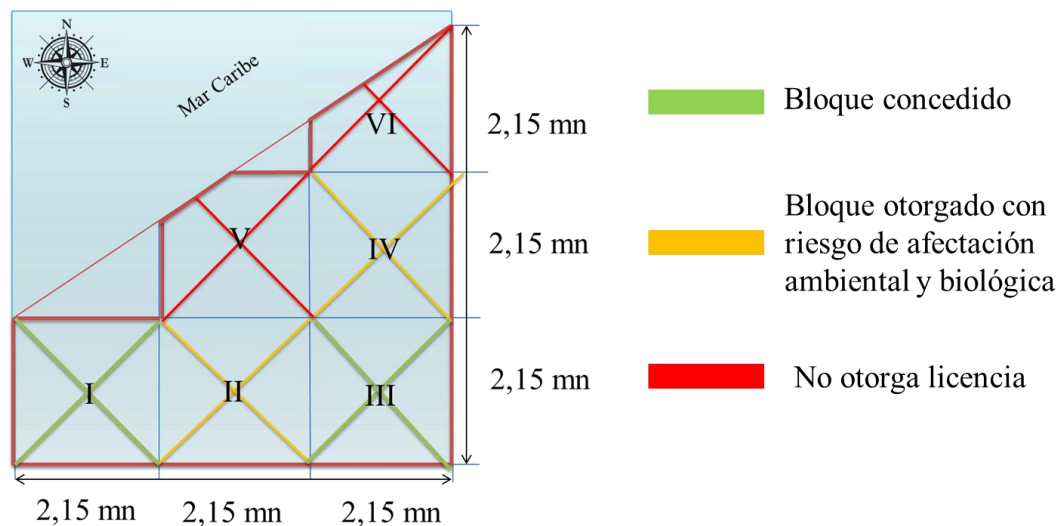
Etapa	Medidas de mitigación
Exploración y estudios sísmicos	• Consulta de los actores clave, como la industria pesquera y de turismo, de forma que definan los períodos más propicios para la actividad, esto se traduce en menores períodos de interferencia • Observación visual (Por un período de tiempo previamente determinado) antes del inicio de la actividad, es deseable la utilización de buques escolta • Atraso del disparo de los cañones de aire, cuando sean avistadas ballenas u otros cetáceos dentro de una determinada distancia • Inicio progresivo de los disparos (Durante un periodo mínimo, usualmente 20 o 30 minutos) • Interrupción de los disparos de los cañones de aire cuando ballenas u otros cetáceos sean avistados • Implementación de sistemas de detección de cetáceos para operaciones nocturnas • Operaciones intermitentes cuando se identifiquen las épocas de parto, cortejo y amamanto de cetáceos • Informar por radiodifusión las áreas donde se llevarán a cabo las actividades; programar y avisar a los navegantes diariamente y utilizar un barco patrulla durante el desarrollo de la actividad; informar a las autoridades competentes los pormenores de la misma

Etapa	Medidas de mitigación
Perforación	• Identificación y mapeo de las entidades competentes (externas e internas) y de los recursos disponibles (Personas, materiales y equipos) para respuesta ante accidentes • Elaboración de planes de respuesta ante emergencia • Utilización de BOP's • Siempre que sea necesario y técnicamente viable, la utilización de la técnica de perforación direccional con el objetivo de minimizar los impactos en litologías con características sensibles • Realizar tratamiento de mezcla fluido-recorte antes de su descarte • Descartar recortes de perforación únicamente en alta mar; de no ser posible en todos los casos, por lo menos en aquellos que son situados a 50 km de radio de las áreas sensibles, tales como arrecifes de coral, bancos sumergidos • Maximización del reciclaje de los fluidos de perforación • Recolectar los residuos peligrosos (sólidos o líquidos) para el tratamiento y la disposición en tierra
Perforación	• Correcta selección de la unidad de perforación, las unidades semi-sumergibles dinámicamente posicionadas son usualmente menos ruidosas que los buques perforadores • Dotar de herramientas de contención y correcto almacenamiento de crudo y productos químicos
Desarrollo y producción	• Utilización de las medidas que minimicen el impacto visual de las instalaciones de producción, en el caso en que se encuentren en aguas someras y próximas a la costa • Recolectar los residuos peligrosos (sólidos o líquidos) para el tratamiento y disposición en tierra • Minimización de descarte de contaminantes en el mar • Correcta selección de las unidades de producción • Monitoreo de la calidad de las aguas en el entorno de las unidades • Planeación de las actividades en forma de minimizar las pérdidas de áreas para turismo, pesca y navegación

Etapa	Medidas de mitigación
Transferencia	• Adopción de todas las medidas que tengan como objetivo la mitigación de los derrames de crudo y derivados en la etapa de perforación • Uso de las técnicas de asentamiento de ductos que minimice la rotura del equilibrio ambiental de la fauna marina y de ecosistemas sensibles como los arrecifes de coral • Uso de revestimientos <i>anti-fouling</i> en las partes más bajas de las embarcaciones para impedir la incrustación de especies marinas • Establecer y divulgar las rutas marinas para el tráfico de las embarcaciones que respeten las rutas de migración de los mamíferos marinos y sus rutas de navegación • Evaluar las alternativas de trazado de ductos que minimicen los impactos sobre el medio ambiente
Abandono	• Remoción total o parcial de las estructuras de producción. En el determinado caso de que la remoción sea parcial, se deben promover campañas para la creación de arrecifes artificiales • Disposición adecuada en tierra de los materiales removidos • Maximización del reciclaje y/o reutilización de los materiales y las estructuras removidas • Implementación de programas de monitoreo para la medición de parámetros ambientales relevantes antes, durante y después del abandono de las instalaciones
Socio-economía	• Registro de la mano de obra local disponible, con amplia divulgación de los puestos de trabajo y logística para el reclutamiento en las localidades aledañas • Uso de recursos y servicios de la región • Pago de tasa por lucros extraordinarios

Una vez evaluados los impactos ambientales y sus propuestas de mitigación se decide otorgar 2 bloques plenos (I, III) y dos con riesgo de afectación ambiental y biológica (II, IV), los otros dos son negados (V, VI). Véase la Figura 53.

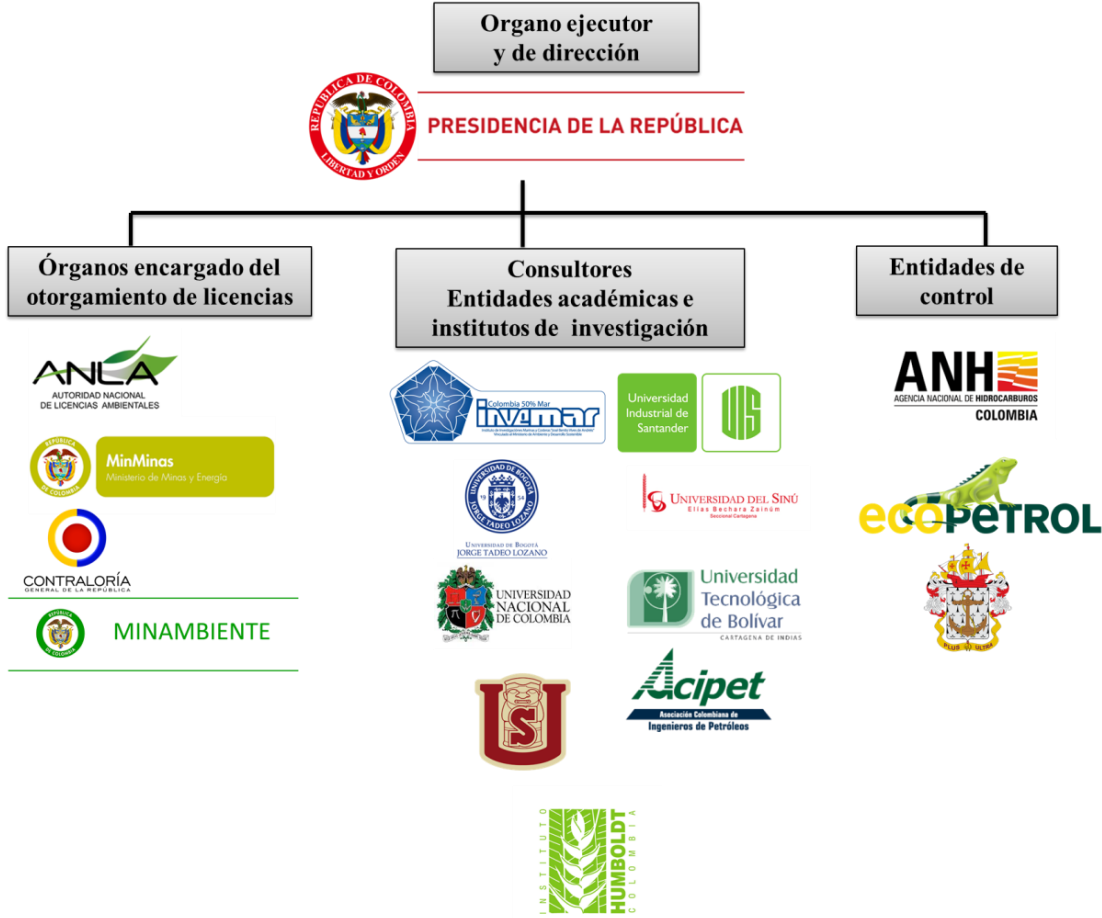
Figura 55. Resultado final para el otorgamiento de bloques.



De igual manera dentro del marco de la Evaluación Ambiental Estratégica, se propone que el órgano ejecutor y de dirección sea la sociedad colombiana representada en el poder ejecutivo. Que los órganos encargados de otorgar o negar licencias sean la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), Ministerio de Minas y Energía (MinMinas), Ministerio de Medio Ambiente (MinAmbiente) y la Contraloría General de la República. Que los entes consultores sean las facultades de Biología marina de la Universidad Nacional de Colombia, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Universidad Tecnológica de Bolívar y la Universidad del Sinú; del mismo modo, participarán los programas de ingeniería de petróleos de la Universidad Industrial de Santander, Universidad Surcolombiana y Universidad Nacional de Colombia; también se involucrarán a las asociaciones gremiales como la Asociación Colombiana de Ingenieros de Petróleos (ACIPET) y los institutos de investigación INVEMAR y Alexander Von Humboldt.

Finalmente, las entidades encargadas del control y auditorías serán la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), la Empresa Colombiana de Petróleos (ECOPETROL) y la Armada de Colombia. Dicha propuesta se condensa en la figura 54.

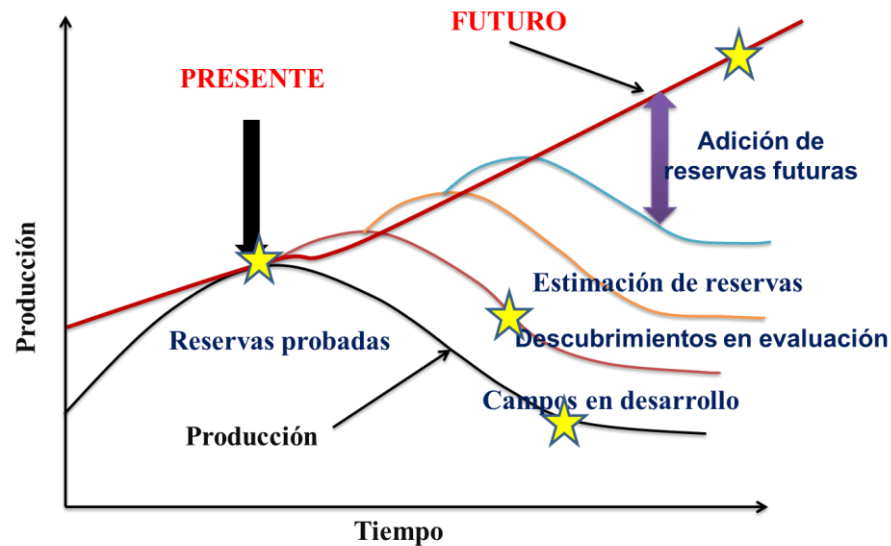
Figura 56. Entidades propuestas para el control, consultoría y otorgamiento de licencias en el marco de la EAE



Para finalizar, la Figura 55 evidencia las diferentes etapas de adición de reservas según el estado de producción en el cual se encuentre el campo. Es decir, se exhibe claramente la relación de cada uno de los procesos de producción con la adición de

reservas, esto con el fin de planear auditorías que concuerden con los ciclos económicos más importante del proyecto. De tal forma que la producción primaria corresponde a la curva de reservas probadas, descubrimiento en evaluación estará correlacionado con la perforación de pozos in *infill* y métodos de recuperación secundaria y finalmente la adición de reservas futuras está ligada con proyectos de recuperación terciaria. De esta manera se programarán auditorías para conocer el estado de seguridad del proyecto una vez se alcance el tope producción de las reservas probadas del área, además se repetirán dichos ejercicios evaluativos y correctivos una vez se identifique la depleción del campo, se inicien trabajos de estimulación, reacondicionamiento y se apliquen técnicas de recuperación avanzada de crudo.

Figura 57. Auditorías marcadas en el intervalo inicial de producción



5. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la aplicación de la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) basada en Evaluación de Impactos Ambientales (EIA) en Colombia de nuestro proyecto, se concedieron los bloques: I y III a plenitud, II y IV de manera condicional y tendrán veeduría permanente durante su ejecución y a V y VI se les negó la licitación.
- De acuerdo con la recopilación bibliográfica, los métodos matricial y de cuadros de riesgos son los utilizados en la actualidad para el uso de la evaluación de impactos ambientales dentro del marco de la evaluación ambiental estratégica.
- La metodología de evaluación propuesta sirve como base para futuras investigaciones académicas que requieran evaluar impactos ambientales (EIA) de algún tipo; principalmente por los mapas de sensibilidad que aportan un nuevo enfoque para EIA.
- Para el otorgamiento de licencias ambientales deben usarse políticas y procedimientos diferentes en los ambientes *offshore* y *onshore* dado que los riesgos de impactos ambientales son diferentes.

6. RECOMENDACIONES

- Tomar como modelo este trabajo para la formulación de planes, programas y políticas de gobierno y/o privados de la industria.
- Desarrollo de un aplicativo en lenguaje de programación para la creación de una interfaz que permita realizar el flujo de trabajo de la metodología de manera intuitiva, incluidos los mapas de sensibilidad y la generación de reportes de resultados.
- Proponer una metodología para eliminar la subjetividad al momento de ponderar los riesgos de ocurrencia de impacto ambiental mediante métodos de ciencias exactas, usando por ejemplo Estadística o Matemática avanzadas.

BIBLIOGRAFÍA

Asociación Regional de Empresas del Sector Petróleo, Gas y Biocombustibles en Latinoamérica y el Caribe.

AYORCA, M. Guía de análisis ambiental, Petrotécnia, abril de 2009

BUCKLEY, R. Cumulative Environmental Impacts, Artigo, Australia, 1997

CANADIAN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AGENCY; SADLER, Barry. International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment-Final Report: Environmental Assessment in a Changing World: Evaluating Practice to Improve Performance. June 1996.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIB, CEPAL, Guía de evaluación ambiental estratégica Santiago de Chile, 2009

COOK, R. L.; NICHOLSON, J. W.; SHEPPARD, M. C., & WESTLAKE, W. First real time measurements of downhole vibrations, forces, and pressures used to monitor directional drilling operations. In SPE/IADC drilling conference. Society of Petroleum Engineers. January 1989

Corrêa, F. N. Aplicação de Metodologias Híbridas em Estudos Paramétricos sobre o Comportamento de Sistemas Offshore. RJ. Dissertação de Mestrado-Engenharia Civil, COPPE/UFRJ. 2003

DÍAZ, J. M.; BARRIOS, L. M.; CENDALES, M. H.; GARZÓN-FERREIRA, J.; GEISTER, J.; PARRA-VELANDIA, F.; ... & ZAPATA, F. Áreas coralinas de

Colombia. Edited by JM Diaz, Invemar Serie Publicaciones Especiales, 5, 2000. p. 176-176.

DOOLEY, J. E., & NEWKIRK, R. T. A planning system to minimize environmental impact applied to route selection. *Kybernetes*, 5(4), 1976. p. 213-220.

DTI, Consultation Document of The Strategic Environmental Assessment of the Mature Areas of the Offshore North Sea – SEA 3, DTI, UK, 2002.

DUARTE, R. G. Avaliação da interação folhelho-fluido de perfuração para estudos de estabilidade de poços (Doctoral dissertation, Dissertação de mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil). 2004

EGLER, Paulo César Gonçalves. Perspectivas de uso no Brasil do processo de Avaliação Ambiental Estratégica. *Parcerias Estratégicas*, v. 6, n. 11. 2010. p. 175-190,

FEDRA, K. GIS and environmental modeling. *Environmental modeling with GIS*, 1993. p. 35-50.

FERREIRA, M. V. D.; LEAL, R. A. F.; MARTINS, A. L.; LOUREIRO, B. V.; HOLZBERG, B.; COSTA, S. S., & PASTOR, J. A. Distribuição de Diâmetro de Cascalhos e seu Impacto na Limpeza e Pressões Anulares Durante a Perfuração de Poços de Grande Inclinação. In 31 Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados. 2004. p. 210

GUERRA, A. J. T., & CUNHA, S. D. Avaliação e perícia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1999

HERNÁNDEZ CARRASCAL. Modelagem ambiental com sistemas de informação geográfica para avaliação de áreas para exploração e produção de shale gas com técnicas de fraturamento hidráulico. Disertación de Maestría, Rio de Janeiro. 2016

HURLEY, G., & ELLIS, J. Environmental effects of exploratory drilling offshore Canada: environmental effects monitoring data and literature review. 2004

IBAMA/MMA. Diretrizes Técnicas para Modelagem de Derramamento de Óleo no Mar, ANP/IBAMA, Rio de Janeiro. 2003

KANE, J., THOMPSON, W., & VERTINSKY, I. Environmental simulation and policy formulation: methodology and example (Water Policy for British Columbia). 1972

KEENEY, R. L., & RAIFFA, H. Decision with multiple objectives. 1976

Leopold, L. B., Clarke, F. E., & Hanshaw, B. B. Balsley Jr. A procedure for evaluating environmental impact. Geological Survey Circular, 1971. p. 645.

LIMA - UFRJ, Avaliação Ambiental Estratégica das Atividades da Indústria de Petróleo e Gás Natural no Litoral Sul da Bahia, LIMA/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

LOPES, F. C. O Conflito entre a exploração offshore de petróleo e a atividade pesqueira artesanal. Monografia de Bacharelado. Instituto de Economia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004

MAGRINI, Alessandra. A Avaliação de Impactos Ambientais, Capítulo do Livro: Meio Ambiente: Aspectos Técnicos e Econômicos, PNUD/IPEA, 1 Ed., Brasília. 1990

MAQUEIRA MARÍN, J. M.; MOYANO FUENTES, J.; BRUQUE CÁMARA, S., & NUÑEZ-CACHO UTRILLA, P. Design and implementation of an ERP platform as practice environment for learning in Operations Management. In Working Papers on Operations Management. Vol. 8. Universitat Politècnica de València. 2017, June. p. 27-31

MARIANO, Jacqueline Barboza. Proposta de metodologia de avaliação integrada de riscos e impactos ambientais para estudos de avaliação ambiental estratégica do setor de petróleo e gás natural em áreas offshore. Tesis de doctorado. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

McCAULEY, R. D.; FEWTRELL, J.; DUNCAN, A. J.; JENNER, C.; JENNER, M. N.; PENROSE, J. D.; ... & McCABE, K. Marine seismic surveys—a study of environmental implications. The APPEA Journal, 40(1), 692-708 McHarg, I. L. (1968). Values, process, and form. 2000

MMA. Avaliação de Impacto Ambiental: Agentes Sociais, Procedimentos e Ferramentas, MMA, Brasília. 1995

MMA. Avaliação Ambiental Estratégica, MMA, Brasília. 2002

MMA. Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade das Zonas Costeira e Marinha, MMA, Brasília. 2003

MUSCHENHEIM, D. K.; MILLIGAN, T. G.; & GORDON Jr, D. C. New technology and suggested methodologies for monitoring particulate wastes discharged from offshore oil and gas drilling platforms and their effects on the benthic boundary layer environment. Canadian technical report of fisheries and aquatic sciences/Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques. 1995.

NOBRE, M., & de CARVALHO AMAZONAS, M. Desenvolvimento sustentável: a institucionalização de um conceito. Edições IBAMA. 2002

NOWACEK, D. P.; CLARK, C. W.; MANN, D.; MILLER, P. J.; ROSENBAUM, H. C.; GOLDEN, J. S.; ... & SOUTHALL, B. L. Marine seismic surveys and ocean noise: time for coordinated and prudent planning. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 13(7), 2015. p. 378-386.

PAIM, M. A. O petróleo no mar: o regime das plataformas marítimas petrolíferas no direito internacional. 2011

RAPELLO DA PUC-RIO, E. M. Análise do Colapso de Telas Utilizadas em Sistemas de Contenção de Areia em Poços Horizontais (Doctoral dissertation, PUC-Rio). 2007

SCHAFFEL, S. B. A questão ambiental na etapa de perfuração de poços marítimos de óleo e gás no Brasil. Rio de Janeiro. 2002

SILVA, A. D.; SANTOS, I. D. C.; CONCEIÇÃO, W. L. D.; SILVA, D. J. A. D.; NASCIMENTO, S.; SILVA, V. T. D., & SCHWEITZER, A. Operação offloading: análise preliminar de perigo e os impactos ambientais. *Revista Eletrônica Novo Enfoque*, 13(13), 2011. p. 207-221

SMITH, H. D., & POTTS, J. (Eds.). *Managing Britain's marine and coastal environment: Towards a sustainable future* (Vol. 10). Psychology Press. 2005

SORENSEN, J. C. Framework for identification and control of resource degradation and conflict in the multiple use of the coastal zone. 1971

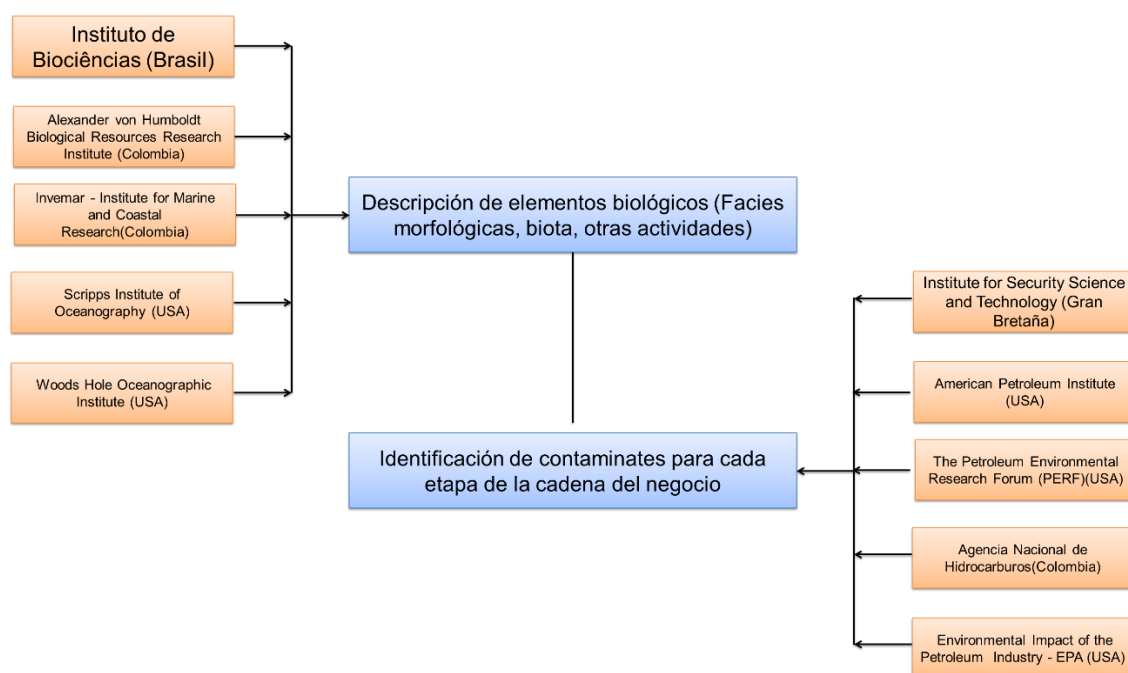
VILLELA, M. J. R. Análise do comportamento da temperatura em sistemas de produção de petróleo: comparação entre completção seca e molhada. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2004

WITTHAYAPANYANON, A.; LELEUX, J.; VUILLEMET, J.; MORVAN, R.; POMIAN, A.; DENAX, A., & BLAND, R. High performance water-based drilling fluids-an environmentally friendly fluid system achieving superior shale stabilization while meeting discharge requirement offshore Cameroon. In SPE/IADC Drilling Conference. Society of Petroleum Engineers. 2013, March

ANEXOS

ANEXO A. Modelo para llevar a cabo la construcción de los mapas de sensibilidad por el método matricial

A continuación, se presenta un modelo para llevar a cabo la construcción de los mapas de sensibilidad por el método matricial. De igual manera se especifican las fuentes de consulta para la construcción de dichas matrices.



La metodología para la construcción de los mapas de sensibilidad pueden ser resumidos en:

1. Diseño de la matriz en Excel. (Tabla 6 y Figura 22)

	Exploración	Perforación	Producción	Transporte	Abandono
Manglares					
Arrecifes de coral					
Cabos rocosos					
Bancos biológicos sumergidos					
Estuarios					

2. Ponderación numérica del riesgo de la zona de estudio teniendo en cuenta la información extraída de las fuentes anteriormente especificadas

	Exploración	Perforación	Producción	Transporte	Abandono
Manglares	4				
Arrecifes de coral	3				
Cabos rocosos	5				
Bancos biológicos sumergidos	2				
Estuarios	3				

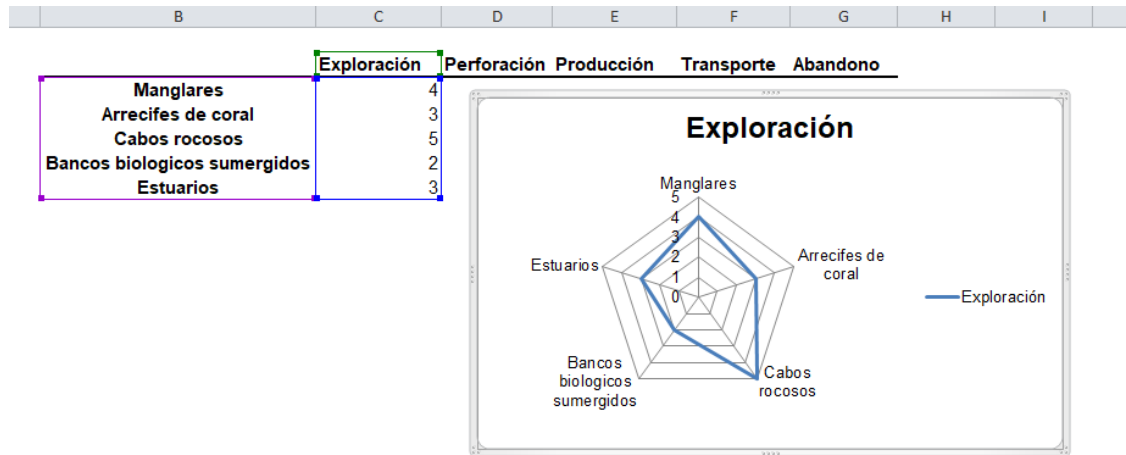
3. Selección del tipo de gráfico: Radial

The screenshot shows the Microsoft Excel interface. The 'Gráficos' (Charts) task pane is open on the right, displaying various chart types. The 'Radial' chart type is selected, and a tooltip is visible: 'Muestra valores relativos al punto central. Utilízelo cuando las categorías no sean comparables directamente.' (Shows values relative to the center point. Use it when the categories are not directly comparable.)

The worksheet contains the following data table:

	Exploración	Perforación	Producción	Transporte	Abandono
Manglares	4				
Arrecifes de coral	3				
Cabos rocosos	5				
Bancos biológicos sumergidos	2				
Estuarios	3				

4. Constatar la información obtenida a través del gráfico con la suministrada en las matrices.



5. Repetir el procedimiento para las fases de la cadena restantes