

REFINERÍA DE CARTAGENA S.A.S.



Refinería de Cartagena

**CONSULTORÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS AMBIENTALES Y
MODIFICACIONES A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFICAR S.A.S
(1736)**

CONTRATO 966568

**CAPÍTULO 5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA
VERSIÓN 0**

Bogotá D.C., marzo 2020

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice de Revisión	Sección Modificada	Fecha Modificación	Observaciones
0			Versión final
C	Documento en general	11-2019	Ajustes en revisión conjunta con pares
B	Documento en general	11-2019	Se anexa matriz de hallazgos y respuestas
A	Documento en general	10-2019	Se anexa matriz de hallazgos y respuestas
A1	5.2.3.1 Cambio en la concentración de gases / v. Costos de la medida de manejo ambiental 5.2.3.2 Alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial 5.2.5 Flujo Económico, Análisis Costo Beneficio-ACB y Relación Beneficio Costo-RBC 5.2.5.1 Análisis de sensibilidad	03-2020	Matriz control

REVISIÓN Y APROBACIÓN

Número de revisión		0
Responsable por elaboración	Nombre	Juan Pablo Guaneme Donoso
	Firma	
Responsable por revisión	Nombre	Katherine Martínez
Coordinador Proyecto	Firma	
Responsable por aprobación	Nombre	Mónica Bibiana Pescador
Gerente de Proyecto	Firma	
	Fecha	marzo de 2020

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFICAR S.A.S

CAPÍTULO 5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
5. EVALUACIÓN AMBIENTAL	1
5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.	1
5.2.1 Introducción	1
5.2.2 Jerarquización de impactos (Análisis de residualidad)	2
5.2.3 Impactos Internalizables	11
5.2.4 Impactos No Internalizables	32
5.2.5 Flujo Económico, Análisis Costo Beneficio-ACB y Relación Beneficio Costo-RBC	49
5.2.6 Conclusiones del proyecto	56

ANEXOS

Anexo 5. Evaluación ambiental y económica

Anexo 5.2 Calculos de evaluación económica

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFICAR S.A.S.

CAPÍTULO 5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 5-1 Matriz de impactos negativos identificados como relevantes en la evaluación económica	3
Tabla 5-2 Resultados del análisis de residualidad	5
Tabla 5-3 Análisis de residualidad para el impacto cambio en la concentración de gases	6
Tabla 5-4 Análisis de residualidad para el impacto Alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial	8
Tabla 5-5 Análisis de residualidad para el impacto Modificación de la calidad del hábitat acuático	9
Tabla 5-6 Concentración máxima de gases en el dominio de simulación en el escenario actual (Capacidad de carga de 165 KBPD)	13
Tabla 5-7 Concentración de gases en el dominio de simulación en el escenario futuro (Capacidad de carga de 245 KBPD)	13
Tabla 5-8 Cambio en la concentración de gases en el dominio de simulación	14
Tabla 5-9 Concentración de gases en la atmósfera con respecto al límite establecido por la normatividad vigente	15
Tabla 5-10 Fecha de ocurrencia de las concentraciones máximas de 1 hora de NO ₂	16
Tabla 5-11 Concentraciones máximas de NO ₂ potenciales receptores aledaños a la Refinería de Cartagena	18
Tabla 5-12 Fecha de ocurrencia de las concentraciones máximas de 1 hora de SO ₂	20
Tabla 5-13 Concentraciones máximas de SO ₂ en los potenciales receptores aledaños a la Refinería	21
Tabla 5-14 Costos incurridos en la implementación de la medida de manejo	26
Tabla 5-15 Proyección temporal y estimación del Valor Presente Neto-VPN de los costos	26
Tabla 5-16 Volumen de vertimiento anual	28
Tabla 5-17 Parámetros fisicoquímicos vertimiento final	28
Tabla 5-18 Cumplimiento de la resolución 2102 de 2008.	31
Tabla 5-19 Costos incurridos en la implementación de la medida de manejo	31
Tabla 5-20 Proyección temporal y estimación del Valor Presente Neto-VPN de los costos	32
Tabla 5-21 Metodologías propuestas para la valoración económica ambiental de impactos negativos residuales	32
Tabla 5-22 Proporción de la pesca artesanal entre el 2015 y 2016	35
Tabla 5-23 Proyecciones de producción con la función de producción estimada	36
Tabla 5-24 Proporción de la pesca artesanal de crustáceos entre el 2015 y 2016	37
Tabla 5-25 Proyecciones de producción de crustáceos para el año 2018	38
Tabla 5-26 Precios del pescado en la ciudad de Cartagena	39
Tabla 5-27 Precio del Kilógramo de camarón	39
Tabla 5-28 Monetización del impacto modificación de la calidad del hábitat acuático	40
Tabla 5-29 Número de pescadores en Cartagena según el Ministerio de Agricultura y desarrollo rural junto al INCODER – Instituto Colombiano de Desarrollo Rural	40

Tabla 5-30 Área de pesca	41
Tabla 5-31 Pescadores afectados por la disminución en la población de peces y crustáceos	41
Tabla 5-32 Ingreso diario promedio del pescador	41
Tabla 5-33 Costo de oportunidad del empleo en la actividad pesquera	42
Tabla 5-34 Consolidado del valor económico de modificación de la calidad del hábitat acuático	42
Tabla 5-35 Metodologías propuestas para la valoración económica ambiental beneficios del proyecto	42
Tabla 5-36 Personal a emplearse en la Refinería de Cartagena, con la modificación de licencia	44
Tabla 5-37 Empleo para generado para la región	45
Tabla 5-38 Empleados locales a generarse en la Refinería de Cartagena, con la modificación de licencia	45
Tabla 5-39 Beneficios anuales brutos por generación de empleo	46
Tabla 5-40 Estimación del beneficio generado a personas que se encontraban anteriormente laborando – Contemplándose costo de oportunidad	48
Tabla 5-41 Estimación del beneficio generado a personas que se encontraban anteriormente desempleadas	48
Tabla 5-42 Beneficios por generación de empleo en la Región	49
Tabla 5-43 flujo económico de los impactos para un horizonte de análisis de 30 años	50
Tabla 5-44 Comportamiento del VPNA en función de cambios porcentuales en los beneficios y costos del proyecto	55

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL PARA LA MODIFICACIÓN A LA LICENCIA AMBIENTAL DE REFICAR S.A.S

CAPÍTULO 5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 5.1 Perfiles de velocidad del viento y temperatura para la hora de máxima concentración horaria (2018-05-12 14:00) y perfil promedio de la hora 14:00 durante mayo de 2018.	16
Figura 5.2 Perfiles de velocidad del viento y temperatura para los máximos horarios que exceden los límites permisibles	17
Figura 5.3 Isopletas de concentración máxima de 1 hora de NO ₂ (fondo incluido) para el escenario de operación actual (165 KBPD)	18
Figura 5.4 Isopletas de concentración máxima de 1 hora de NO ₂ (fondo incluido) para el escenario de operación futura (245 KBPD)	19
Figura 5.5 Perfiles de velocidad del viento y temperatura para la hora de máxima concentración horaria (2016-02-26 10:00) y perfil promedio de la hora 10:00 durante febrero de 2016.	20
Figura 5.6 Perfiles de velocidad del viento y temperatura para los máximos horarios que exceden los límites permisibles	21
Figura 5.7 Isopletas de concentración máxima de 1 hora de SO ₂ (fondo incluido) para el escenario de operación actual (165 KBPD)	22
Figura 5.8 Isopletas de concentración máxima de 1 hora de SO ₂ (fondo incluido) para el escenario de operación futura (245 KBPD)	22
Figura 5.9 Pesca artesanal pasacaballos 2017	34
Figura 5.10 Pesca artesanal pasacaballos 2018	35
Figura 5.11 Función de producción estimada	36
Figura 5.12 Datos de pesca artesanal de Crustáceos Pasacaballos 2017	37
Figura 5.13 Datos de pesca artesanal de Crustáceos Pasacaballos 2018	37
Figura 5.14 Datos de pesca artesanal de Crustáceos Pasacaballos 2016	38
Figura 5.15 Tasa de desempleo en Colombia (2010-2019)	44
Figura 5.16 Grafico de sensibilidad del VAN	54
Figura 5.17 Distribución de probabilidad del VPN del proyecto	54

5. EVALUACIÓN AMBIENTAL

5.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.

5.2.1 Introducción

La Refinería de Cartagena S.A.S, filial de Ecopetrol S.A., realiza el fraccionamiento y transformación química del petróleo para producir derivados comerciales, con la misión de optimizar la calidad de los productos con seguridad, responder a las necesidades específicas del mercado y desarrollar sus actividades productivas de forma sustentable con el entorno.

Desde sus inicios, la refinería ha implementado diseños e instalando tecnología de punta, que la que la han llevado a convertirse en la refinería más moderna de Latino América, hasta el punto de generar una producción diaria de 90 mil barriles de diésel, 40 mil de nafta y gasolina, 10 mil de jet¹, 5 mil de propileno², 4 mil de GLP y 2.500 toneladas de coque; mientras la producción mensual de azufre será de 270 toneladas, con un rendimiento de 97% de productos valiosos por cada barril procesado (Refinería de Cartagena S.A.S., 2018). Su producción se destina principalmente a satisfacer la demanda interna de gasolina y su excedente es exportado (NBamericas, 2018), aportando el 1% Producto Interno Bruto- PIB Nacional.

De acuerdo con el compromiso de modernización tecnológica de la Refinería de Cartagena, actualmente, se desarrolla el Estudio de Impacto Ambiental - EIA - Para la modificación de la licencia ambiental, que pretende la optimización de procesos, aumento de capacidad de carga (barriles) y la disminución de riesgo en áreas operativas.

Con base en lo anterior y según lo dispuesto por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA, en el desarrollo de la actual modificación de licencia ambiental se debe realizar un análisis económico ambiental, en el cual se relacionen los beneficios y los costos totales que se pueden atribuir a la ejecución de un proyecto, con el fin de definir objetivamente su viabilidad.

En Colombia la Evaluación Económica Ambiental-EEA, para la planificación ambiental y el desarrollo sustentable, comienza a presentar sus bases desde la Constitución Política de Colombia de 1991, la cual con su artículo 80 establece que “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños

¹Jet: combustible de alto contenido energético y calidad en combustión, derivado de la destilación atmosférica del petróleo crudo. Ecopetrol 2018, Tomado de https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/web_es/ecopetrol-web/products-and-services/international-trade/exports/refined-products-exports/jet-fuel/!ut/p/z/0/04_Sj9CPyKssy0xPLMnMz0vMAfljo8ziLf0N3d09gg283R19DQ0cPb3DjCz9X128LE30C7IdFQGE84Yv/

²Propileno: es un gas combustible incoloro con un olor natural picante, que tiene un doble enlace que le da una ventaja de combustión, Linde, 2018 tomado de: http://www.linde-gas.co/es/products_and_supply/gases_fuel/propylene.htm

causados”.

En este sentido, La Ley 99 de 1993 y lo establecido en la expedición del Decreto 2041 del 15 de octubre de 2014 (compilado en el decreto 1076 de 2015) la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA incorporó la Evaluación Económica Ambiental – EEA dentro del proceso de evaluación de Estudios de Impacto Ambiental, con el fin de definir más parámetros de viabilidad socioambiental.

Recientemente, la Resolución 1669 de 2017 adoptó los criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, obras, o actividades objeto de la licencia ambiental o instrumento Equivalente, los cuales establecen lineamientos para la presentación de evaluación económica de estudios ambientales. (ANLA, 2018).

De esta manera, a continuación, se describe el proceso metodológico de la jerarquización de impactos, donde se determina la clasificación de impactos en internalizables y no internalizables, al igual que, los métodos de valoración económica empleados para la estimación de los servicios socioambientales afectados, el flujo económico de la valoración ambiental, el análisis de Costo Beneficio-ACB y análisis de sensibilidad.

Es de resaltar, que los resultados de la jerarquización de impactos parten del proceso de internalización de los impactos ambientales que son prevenidos o corregidos por planes de manejo ambiental – PMA planteado para el presente estudio (5.2.2 Análisis de Residualidad), y la aproximación de las unidades biofísicas de los impactos ambientales más significativos de la Refinería de Cartagena. Posteriormente, en cumplimiento con los lineamientos propuestos por el Ministerio de Medio Ambiente y ANLA se realiza la valoración económica de dichos impactos relevantes, y la estimación de los beneficios ambientales el flujo económico y Análisis Costo Beneficio-ACB y Análisis de sensibilidad de los impactos del proyecto, con el fin de determinar la viabilidad socioambiental ante cambios de los parámetros en escenarios con mayores incertidumbres.

5.2.2 Jerarquización de impactos (Análisis de residualidad)

Mediante la identificación, evaluación de los impactos ambientales y análisis de residualidad generados por el proyecto, se determinan cuáles pueden ser internalizados efectivamente mediante medidas del Plan de Manejo Ambiental-PMA y aquellos que debido a su dimensión no internalizable deben ser valorados económicamente.

En este contexto se parte de los resultados de la matriz de evaluación de impactos (Ver Anexo 5. Evaluación ambiental y económica, 5.1 Matriz de impacto ambiental (escenario futuro), donde se identificaron como impactos negativos significativos (relevantes) tres (3) impactos que se manifiestan en veinte (20) relaciones entre actividades e impactos negativos; las cuales obtuvieron un nivel de significancia baja y media³, como resultado del cruce entre la calificación de Importancia Ambiental (Interacciones calificadas con

³ De acuerdo con la metodología RAM de Ecopetrol S.A, se consideran como impactos significativos como aquellos impactos a los cuales se les otorga una calificación de Importancia Ambiental en las categorías Localizada, Mayor y Masivo; probabilidad de ocurrencia del evento en las categorías de la B a la E y nivel de significancia ambiental en las categorías baja, media, alta y muy alta.

Importancia Localizada, Mayor y Masivo) y la probabilidad de ocurrencia del evento en las categorías de la B a la E.

Tabla 5-1 Matriz de impactos negativos identificados como relevantes en la evaluación económica

ACTIVIDAD	ELEMENTO	COMPONENTE	CARÁCTER	NIVEL DE IMPORTANCIA	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DEL IMPACTO
IMPACTO ALTERACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS DEL AGUA SUPERFICIAL						
Destilación de Combinada, Atmosférico y Vacío	Recurso hídrico superficial	Características de las aguas superficiales	-	Localizado	C	MEDIA
Almacenamiento, medición, mezcla, despacho, productos intermedios, productos terminados	Recurso hídrico superficial	Características de las aguas superficiales	-	Localizado	C	MEDIA
Arranque y puesta en marcha de equipos, líneas o unidades	Recurso hídrico superficial	Características de las aguas superficiales	-	Localizado	B	BAJA
Desintegración catalítica y térmica	Recurso hídrico superficial	Características de las aguas superficiales	-	Localizado	C	MEDIA
Fundición de estructuras en concreto reforzado	Recurso hídrico superficial	Características de las aguas superficiales	-	Localizado	B	BAJA
Generación de agua desmineralizada, energía y producción de vapor	Recurso hídrico superficial	Características de las aguas superficiales	-	Localizado	C	MEDIA
Mantenimiento general de instalaciones	Recurso hídrico superficial	Características de las aguas superficiales	-	Localizado	B	BAJA
Recuperación de azufre	Recurso hídrico superficial	Características de las aguas superficiales	-	Localizado	C	MEDIA
IMPACTO CAMBIO EN LA CONCENTRACIÓN DE GASES						
Destilación de Combinada, Atmosférico y Vacío	Atmósfera	Calidad del aire	-	Localizado	D	MEDIA
Desintegración catalítica y térmica	Atmósfera	Calidad del aire	-	Localizado	D	MEDIA
Generación de agua desmineralizada, energía y producción de vapor	Atmósfera	Calidad del aire	-	Localizado	D	MEDIA
Generación de Hidrógeno	Atmósfera	Calidad del aire	-	Localizado	D	MEDIA
Hidrotratamiento de Diesel	Atmósfera	Calidad del aire	-	Localizado	D	MEDIA
Hidrotratamiento de Nafta	Atmósfera	Calidad del aire	-	Localizado	D	MEDIA
Recuperación de azufre	Atmósfera	Calidad del aire	-	Localizado	D	MEDIA

ACTIVIDAD	ELEMENTO	COMPONENTE	CARÁCTER	NIVEL DE IMPORTANCIA	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DEL IMPACTO
IMPACTO MODIFICACIÓN DE LA CALIDAD DEL HÁBITAT ACUÁTICO						
Destilación de Combinada, Atmosférico y Vacío	Ecosistemas Acuáticos	Recursos hidrobiológicos	-	Localizado	B	BAJA
Almacenamiento, medición, mezcla, despacho, productos intermedios, productos terminados	Ecosistemas Acuáticos	Recursos hidrobiológicos	-	Localizado	B	BAJA
Desintegración catalítica y térmica	Ecosistemas Acuáticos	Recursos hidrobiológicos	-	Localizado	B	BAJA
Generación de agua desmineralizada, energía y producción de vapor	Ecosistemas Acuáticos	Recursos hidrobiológicos	-	Localizado	B	BAJA
Recuperación de azufre	Ecosistemas Acuáticos	Recursos hidrobiológicos	-	Localizado	B	BAJA

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Partiendo de los resultados del Capítulo 5.1 Evaluación Ambiental escenario con proyecto se realiza el análisis de residualidad, desarrollado con base en la metodología de (Martínez Prada, 2010), evaluado el tiempo de recuperación del elemento en relación a la afectación producida por el impacto y la eficacia de la medida de manejo, entendida como la capacidad que tiene la medida implementada para lograr disminuir el nivel de afectación que se causaría sobre los elementos ambientales por la incidencia de las actividades del proyecto.

En la metodología propuesta se establece que los impactos sometidos a análisis de residualidad aplicando una medida de manejo ambiental, calificando la eficacia y el tiempo de recuperación, que como resultado presentan una nueva calificación de nivel de importancia “leve”, se consideran internalizables. De esta manera se obtuvo que dos (3) impactos equivalentes al 66%, son internalizables (Cambio en la concentración de gases, y Alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial), por su parte el impacto “Modificación de la calidad del hábitat acuático” es considerado como no internalizable, es decir, que aun implementando la medida de manejo tienen el potencial de generar alteraciones al medio (ver Tabla 5-2)

Tabla 5-2 Resultados del análisis de residualidad

IMPACTO	CARÁCTER	NIVEL DE IMPORTANCIA	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DEL IMPACTO	MEDIDA DE MANEJO APLICADA (Negativos con significancia ambiental Muy Alta, Alta y Media)	EFFECTIVIDAD DE LA MEDIDA DE MANEJO	TIEMPO DE RECUPERACIÓN	RECUPERABILIDAD	RESIDUALIDAD RELATIVA	NIVEL DE IMPORTANCIA CON MEDIDA DE MANEJO	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DEL IMPACTO CON MEDIDA DE MANEJO
Alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial	-	Localizado	B	BAJA	OP-MA-3 Manejo de aguas residuales industriales y domésticas	20	4	96%	4%	Leve	MUY BAJA
Cambio en la concentración de gases	-	Localizado	D	MEDIA	OP-MA-4. Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental	20	4	96%	4%	Leve	BAJA
Modificación de la calidad del hábitat acuático	-	Localizado	B	BAJA	OP-MB-5 Manejo del recurso hidrobiológico	1	1	8%	92%	Menor	BAJA

Fuente: Concol by WSP, 2019.

El impacto “cambio en la concentración de gases”, es corregido en un 96% con la aplicación de la medida de manejo ambiental ficha OP-MA-4 Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental, permitiendo que los parámetros de emisión estén por debajo de lo permitido en la normatividad vigente (Resolución 2254 de 2017).

Como se evidencia en la Tabla 5-3, para corregir el impacto generado en el ambiente por la emisión de gases en los proceso operativos de la refinería de Cartagena, se aplica la medida de manejo ambiental ficha OP-MA-4 “Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental”, que presenta una (%) efectividad de la medida de manejo calificada como muy alta (20) o superior al 80%, derivada de la puesta en marcha de sistemas de control, aprovechamiento de gases, sistemas de monitoreo y entre otros propuestos. Por su parte, tiempo de recuperación se califica como de corto plazo (4), a causa de procesos de dispersión y transporte de las emisiones.

Tabla 5-3 Análisis de residualidad para el impacto cambio en la concentración de gases

ANÁLISIS DE RESIDUALIDAD			
IMPACTO: Cambio en la concentración de gases			
ACTIVIDAD	NIVEL DE IMPORTANCIA	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DEL IMPACTO
Destilación de Combinada, Atmosférico y Vacío	3. Localizado	D. Bastante probable que ocurra	Media
Desintegración catalítica y térmica	3. Localizado	D. Bastante probable que ocurra	Media
Generación de agua desmineralizada, energía y producción de vapor	3. Localizado	D. Bastante probable que ocurra	Media
Generación de Hidrógeno	3. Localizado	D. Bastante probable que ocurra	Media
Hidrotratamiento de Diesel	3. Localizado	D. Bastante probable que ocurra	Media
Hidrotratamiento de Nafta	3. Localizado	D. Bastante probable que ocurra	Media
Recuperación de azufre	3. Localizado	D. Bastante probable que ocurra	Media
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS MEDIDAS DE MANEJO			
MEDIDA	FICHA	TIPO DE MEDIDA	INDICADOR MEDIDA
Monitoreos de emisiones atmosféricas	OP-MA-4	2.Mitigación 3.Corrección	$X = \left(\frac{N_{me}}{N_{mp}} \right) X 100$ <p><i>N_{me}: Número de monitoreos de ftes fijas ejecutados</i> <i>N_{mp}: Número de monitoreos de ftes fijas programados</i></p>
Cumplimiento de parámetros evaluados en monitoreo de calidad del aire	OP-MA-4	2.Mitigación 3.Corrección	$X = \left(\frac{P_{cum}}{P_{mon}} \right) X 100$ <p><i>P_{cum}: Parámetros que cumplen con la norma: Estándares máximos permisibles calidad de aire ambiente (Res. 2254 de 2017)</i> <i>P_{mon}: Parámetros monitoreados según la Res. 2254 de 2017</i></p>
% EFECTIVIDAD DE LA MEDIDA DE MANEJO			20. Muy Alta (>80%)

ANÁLISIS DE RESIDUALIDAD	
<p>Durante la operación de la refinería se generan emisiones de gases contaminantes, asociados principalmente al funcionamiento de diferentes equipos y maquinaria presente en las diferentes unidades de proceso. Teniendo en cuenta lo anterior, para el manejo de dichas emisiones se proponen medidas tales como: sistemas de control, aprovechamiento de gases, sistemas de monitoreo, entre otras, todas encaminadas a la disminución en la concentración de los gases emitidos a la atmosfera. Para ello se instalarán los siguientes equipos y se adoptarán las siguientes medidas para el control de las emisiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema de venteo de gases (principalmente H₂S y SO₂) para el control de emisiones en las plantas de Azufre. • Purificación y recirculación de corrientes con altas concentraciones de Hidrogeno (>85%). • Aprovechamiento de gas de proceso de las diferentes unidades de refinación, como gas combustible interno en la Refinería. • Aprovechamiento de gas ácido, mediante diferentes mecanismos. • Control de las emisiones de amoniaco mediante procesos remoción y enviado a las plantas de Azufre, para ser incinerado en el tratamiento de gas de cola asociado a cada planta. • Control de emisiones de equipos de combustión externa, para ello el combustible utilizado en los hornos y calderas será una mezcla del gas combustible generado en la Refinería, el cual se constituye esencialmente por metano, etano, hidrogeno y propano. • Uso de gas natural suministrado por la empresa prestadora del servicio, el cual se reconoce como un combustible limpio, con bajo nivel de generación de emisiones contaminantes, por ser en su mayoría metano. <p>La aplicación de las medidas mencionadas permitirá la disminución en la concentración de los contaminantes emitidos a la atmosfera, garantizando el cumplimiento de los límites permitidos por la normatividad ambiental vigente (Res. 2254 de 2017 emitida por el MADS) para los parámetros de interés monitoreados Dióxido de Azufre (SO₂) y Dióxidos de Nitrógeno (NO₂). Teniendo en cuenta lo anterior, las medidas son de prevención y mitigación y alcanzarían una eficacia de manejo muy alta, superior al 80%.</p> <p>La descripción detallada de cada una de las anteriores medidas se presenta en la ficha de manejo OP-MA-4 Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental.</p>	
TIEMPO DE RECUPERACIÓN ESPERADO	4. Corto plazo (Menor a 1 mes)
<p>El tiempo de recuperación se considera de corto plazo, ya que los efectos ocasionados pueden ser asimilados por el medio a través de procesos de dispersión y transporte de las emisiones, tal como se puede observar en el modelo de dispersión de contaminantes realizado. Así mismo no se requiere del uso o aplicación de tecnologías adicionales para la recuperación del medio.</p>	
ÍNDICE DE IMPORTANCIA AMBIENTAL NETA CON MEDIDA DE MANEJO	1. Leve
SIGNIFICANCIA AMBIENTAL CON MEDIDA DE MANEJO	Baja

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Para corregir el impacto en el ambiente generado por los residuos industriales y domésticos vertidos en la bahía de Cartagena resultantes de la operación de la refinería de Cartagena S.A.S, se aplica la medida de manejo ambiental ficha “OP-MA-3 Manejo de aguas residuales industriales y domésticas”, calificado con (%) efectividad de la medida de manejo muy alta (20) o superior al 80%, derivado de un sistema de tratamiento de aguas residuales, con propósito es tratar los efluentes provenientes de las unidades de proceso (aguas industriales), aguas domésticas y aguas lluvias potencialmente contaminadas. Por otra parte, el tiempo de recuperación se califica como de corto plazo (4), a causa de procesos de dilución del medio receptor (ver Tabla 5-4).

El impacto por “Alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua

superficial” es corregido mediante la aplicación de la ficha OP-MA-3 Manejo de aguas residuales industriales y domésticas, permitiendo que los residuos líquidos vertidos cumplan los volúmenes autorizados por la Resolución 2102 de 2008 expedida por Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Tabla 5-4 Análisis de residualidad para el impacto Alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial

ANÁLISIS DE RESIDUALIDAD			
IMPACTO: Alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial			
ACTIVIDAD	NIVEL DE IMPORTANCIA	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DEL IMPACTO
Destilación de Combinada, Atmosférico y Vacío	3. Localizado	C. Es posible que ocurra	Media
Almacenamiento, medición, mezcla, despacho, productos intermedios, productos terminados	3. Localizado	C. Es posible que ocurra	Media
Arranque y puesta en marcha de equipos, líneas o unidades	3. Localizado	B. Poco probable que ocurra	Baja
Desintegración catalítica y térmica	3. Localizado	C. Es posible que ocurra	Media
Fundición de estructuras en concreto reforzado	3. Localizado	B. Poco probable que ocurra	Baja
Generación de agua desmineralizada, energía y producción de vapor	3. Localizado	C. Es posible que ocurra	Media
Mantenimiento general de instalaciones	3. Localizado	B. Poco probable que ocurra	Baja
Recuperación de azufre	3. Localizado	C. Es posible que ocurra	Media
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS MEDIDAS DE MANEJO			
MEDIDA	FICHA	TIPO DE MEDIDA	INDICADOR MEDIDA
Monitoreos calidad de agua	OP-MA-4	2.Mitigación 3.Corrección	$X = \left(\frac{N_{me}}{N_{mp}} \right) X 100$ <p><i>N_{me}: Número de monitoreos ejecutados</i> <i>N_{mp}: Número de monitoreos programados</i></p>
Cumplimiento del volumen de vertimiento autorizado	OP-MA-4	2.Mitigación 3.Corrección	$X = \left(\frac{V_v}{V_{va}} \right) X 100$ <p><i>V_v: Volumen de residuos líquidos vertidos</i> <i>V_{va}: Volumen máximo autorizado por la Resolución 2102 del 2008</i></p>
% EFECTIVIDAD DE LA MEDIDA DE MANEJO			20. Muy Alta (>80%)

ANÁLISIS DE RESIDUALIDAD	
<p>La alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial está dada por el aporte de agentes exógenos, como microorganismos, productos químicos, residuos (líquidos y sólidos) industriales y domésticos, afectando su calidad y en consecuencia su uso. Sin embargo, como principal medida de manejo se tiene el sistema de tratamiento de aguas residuales, cuyo propósito es tratar los efluentes provenientes de las unidades de proceso (aguas industriales), aguas domésticas y aguas lluvias potencialmente contaminadas.</p> <p>Las aguas residuales industriales y domésticas generadas en la Refinería de Cartagena son recolectadas y tratadas en la U-143 - Unidad de tratamiento de aguas residuales, donde se localiza dicha planta de tratamiento de aguas, para posteriormente realizar el vertimiento final sobre la Bahía de Cartagena, en el punto autorizado por la Resolución 2102 del 28 de noviembre de 2008 expedida por el hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Actualmente la Refinería de Cartagena, realiza un vertimiento anual de 2.648.834,9 m³ producto de las actividades desarrolladas al interior de la misma. Dicho vertimiento es de flujo continuo y cumple con lo autorizado en el numeral 1 del artículo tercero de la Resolución 2102 del 28 de noviembre de 2008, en la cual se autoriza un vertimiento máximo de 562,5 m³/h. Ahora bien, teniendo en cuenta lo anterior, se espera que el funcionamiento simultáneo de las plantas de crudo de la Refinería, las cuales generarán un incremento en la capacidad de carga llevándola a 245 KBPD, no incremente de manera tal que pueda significar un exceso o incumplimiento con el caudal de vertimiento autorizado, razón por la cual se prevé que el sistema de tratamiento existente está en capacidad de tratar el volumen de agua generado más el excedente generado por la nueva capacidad de carga, manteniéndose dentro de los límites permitidos por la norma.</p> <p>Por lo anterior se puede concluir que el sistema de tratamiento de aguas (U-143) garantizará que las características fisicoquímicas del agua vertida estarán dentro de los límites permitidos por la normatividad ambiental, lo cual se traduce en una eficacia superior al 80% previniendo la alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del medio receptor.</p>	
TIEMPO DE RECUPERACIÓN ESPERADO	4. Corto plazo (Menor a 1 mes)
El tiempo de recuperación se considera de corto plazo, ya que los efectos ocasionados en el medio receptor pueden ser asimilados a través de procesos de dilución. Así mismo no se requiere del uso o aplicación de tecnologías adicionales para la recuperación del medio.	
ÍNDICE DE IMPORTANCIA AMBIENTAL NETA CON MEDIDA DE MANEJO	1. Leve
SIGNIFICANCIA AMBIENTAL CON MEDIDA DE MANEJO	Muy Baja

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Por su parte, el impacto “Modificación de la calidad del hábitat acuático” es atendido por medio de la ficha “OP-MB-5 manejo del recurso hidrobiológico que presenta medidas de prevención”, que incluye la capacitación en temas ambientales de todo el personal involucrado en el proyecto y la señalización de los sitios donde se pueda generar alguna alteración sobre la Bahía de Cartagena, no obstante, la alteración de la calidad del agua superficial ocasiona la disminución de las condiciones óptimas de hábitat acuático, afectando sus poblaciones; por lo tanto se considera que este impacto no es internalizado con la aplicación de las medidas de manejo ambiental.

Tabla 5-5 Análisis de residualidad para el impacto Modificación de la calidad del hábitat acuático

ANÁLISIS DE RESIDUALIDAD			
IMPACTO: Modificación de la calidad del hábitat acuático			
ACTIVIDAD	NIVEL DE IMPORTANCIA	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	SIGNIFICANCIA AMBIENTAL DEL IMPACTO
Destilación de Combinada, Atmosférico y Vacío	3. Localizado	B. Poco probable que ocurra	Baja

ANÁLISIS DE RESIDUALIDAD			
Almacenamiento, medición, mezcla, despacho, productos intermedios, productos terminados	3. Localizado	B. Poco probable que ocurra	Baja
Desintegración catalítica y térmica	3. Localizado	B. Poco probable que ocurra	Baja
Generación de agua desmineralizada, energía y producción de vapor	3. Localizado	B. Poco probable que ocurra	Baja
Recuperación de azufre	3. Localizado	B. Poco probable que ocurra	Baja
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS MEDIDAS DE MANEJO			
MEDIDA	FICHA	TIPO DE MEDIDA	INDICADOR MEDIDA
Capacitaciones ambientales	OP-MB-5	1.Prevenición	$X = \frac{N_{jrv}}{N_{jp}} \times 100$ <p><i>N_{jrv}: Número de jornadas realizadas</i> <i>N_{jp}: Número de jornadas programadas</i></p>
Señalización	OP-MB-5	1.Prevenición	$X = \frac{N_{su}}{N_{sph}} \times 100$ <p><i>N_{su}: Número de señales ubicadas</i> <i>N_{sph}: Número de señales propuestas en fuentes hídricas en áreas próximas a intervención</i></p>
% EFECTIVIDAD DE LA MEDIDA DE MANEJO			
<p>El manejo del recurso hidrobiológico, son medidas de tipo preventivo con una eficacia de manejo muy baja cercana al 26,68 %. Este resultado obedece a que, aunque las medidas propuestas se integran con las medidas establecidas para el manejo del recurso hídrico (desde el componente abiótico), pensar en recuperar el ecosistema acuático de la Bahía de Cartagena, no es posible. La bahía, es un ecosistema complejo, cuya dinámica está influenciada por los pulsos de inundación, que determinan la carga de sedimentación y mayor o menor salinidad. Adicionalmente, su estado actual de contaminación es el resultado de las actividades conjuntas de la zona industrial del Puerto de Mamonal, junto con vertimientos de centros poblados cercanos.</p> <p>En este contexto, la dinámica existente entre las variables bióticas, abióticas y por el desarrollo de actividades antropogénicas, es de tipo sinérgica. En este sentido, cualquier medida de manejo establecida, a menos que sea para toda la bahía de Cartagena, no generará una recuperación del ecosistema. En este sentido, las medidas establecidas visan a “mantener” los niveles actuales y no sobrepasar los límites permitidos de contaminación, para no afectar en mayor proporción las comunidades hidrobiológicas.</p>			
TIEMPO DE RECUPERACIÓN ESPERADO			
<p>EJEMPLO: No es posible establecer un tiempo específico, teniendo en cuenta que no se conseguirá en realidad una recuperación del ecosistema. Las medias buscan mantener las condiciones actuales y no aumentar la carga de contaminantes permitidos. No obstante, podría entonces referirse, cualitativamente, que la recuperabilidad sería lenta (mayor a 50 años), si las actividades totales de la zona industrial se detuvieran por completo.</p>			
ÍNDICE DE IMPORTANCIA AMBIENTAL NETA CON MEDIDA DE MANEJO	2. Menor		
SIGNIFICANCIA AMBIENTAL CON MEDIDA DE MANEJO	Baja		

Fuente: Concol by WSP, 2019.

5.2.3 Impactos Internalizables

Como impactos internalizables, se seleccionaron aquellos impactos que de acuerdo con el análisis residualidad, se pueden prevenir o corregir, con una efectividad cercana al 100%, es decir, aquellos impactos que puedan ser internalizados, y valorados por medio de los costos incurridos en la implementación de las medidas de manejo ambiental.

Para la identificación de los impactos internalizados, se utiliza la metodología de residualidad propuesta por Martínez Prada (Martínez Prada, 2010), la cual se basa en la medición de la eficacia de las medidas de manejo para prevenir, mitigar, corregir y compensar el elemento afectado; en donde a partir de dichas medidas se reevalúa el Índice de Importancia Ambiental y se identifica que impactos fueron prevenidos y/o corregidos, hasta el punto de registrar una nivel de importancia neta igual a leve. A continuación, se desarrolla la internalización de los impactos.

5.2.3.1 Cambio en la concentración de gases

Por la operación futura planeada para la Refinería se van a generar emisiones atmosféricas. El impacto se genera en las etapas de operación en actividades de Destilación combinada (atmosférica y al vacío), generación de vapor y energía, Desintegración catalítica y térmica, Generación de Hidrógeno, Recuperación de azufre, tratamiento de Nafta e tratamiento de Diesel, que afecta la calidad del aire. Es calificado como acumulativo, con un nivel de importancia “localizado”, con una probabilidad de ocurrencia “D” y un nivel de significancia ambiental “media”.

Como se evidencia en el análisis de residualidad (5.2.2) aplicando la ficha “OP-MA-4 Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental”, se da una calificación a la eficacia de la medida de manejo de “20” o muy alta y un tiempo de recuperación de “4” recuperable a corto plazo, lo que permite obtener una nueva calificación de nivel de importancia “Leve”, probabilidad de ocurrencia “D” y un nivel de significancia ambiental “baja”, donde se puede inferir que el impacto es internalizado por medio de los costos del proyecto, a través en las inversiones de la aplicación de la medida de manejo ambiental.

Es de resaltar que las nuevas tecnologías industriales para la refinación de hidrocarburos han alcanzado un nivel muy alto con relación a la eficiencia energética y control de la contaminación. Los adelantos tecnológicos han permitido optimizar procesos de refinación, reduciendo los tiempos de inactividad, los costos de mantenimiento, reducción de los tiempos de procesamiento, incrementando la eficiencia de los recursos y el control de emisiones.

Respecto a los sistemas y procesos de control de la contaminación se resaltan los procesos de recuperación de vapor (recuperación de energía), tecnologías de post combustión (captura de carbono), captura y separación de solventes después de la combustión, Membranas de postcombustión, lavado de azufre con gas combustible, entre otros.

En este contexto, se considera que los procesos optimizados de refinación en conjunto con los sistemas de control de emisiones internalizan los costes de contaminación, no obstante, no es fácil discriminar de la inversión total los costos específicos relativos a los sistemas de

control y reducción de contaminación, en tal sentido, la evaluación de internalización no registran estos valores, y por tanto el análisis se centra en la inversiones operativas de los sistemas de control los cuales se presentan en la ficha “OP-MA-4 Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental”.

i. Servicios ecosistémicos

La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio en 2005, define los servicios ecosistémicos como los beneficios que los seres humanos obtienen de los ecosistemas sean económicos o culturales. En términos de la biodiversidad soporta una gran variedad de ellos, que pueden ser de aprovisionamiento de bienes y servicios, regulación, soporte y beneficios no tangibles como los culturales (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005 citado por (Humboldt, 2018).

La modificación de licencia tiene como objetivo ampliar la capacidad de carga de 165 KBPD⁴ hasta un máximo de 245 KBPD, este incremento causa un aumento en la emisión de gases a la atmosfera (Inferior a la normatividad vigente) afectando las calidad del aire del área de influencia, hasta el punto de incidir sobre el servicio ecosistémico de regulación de la calidad del aire que es atribuido a las plantas y los árboles, dado que Investigaciones recientes asocian a los organismos fotosintéticos como el enlace pivotal entre la regulación climática, el agua y el oxígeno de nuestro planeta. (TEEB, 2014., citado por (Saada de Lima et al, 2017)).

También se puede asociar la calidad del aire a la salud. Según Garay Salamanca et al, en 2013 citado por (Saada de Lima et al, 2017), en América Latina y el Caribe la contaminación del aire afecta la salud de más de 80 millones de habitantes y causa anualmente la pérdida de alrededor de 65 millones de jornadas de trabajo, unos 2,3 millones de casos de insuficiencia respiratoria crónica en niños y más de 100.000 casos de bronquitis crónica en adultos.

ii. Cuantificación del impacto

En la operación de la refinería se llevan a cabo actividades de combustión y transformación química, que producen gases que posteriormente son descargados en la atmósfera. En estos procesos se emiten gases como Dióxido de nitrógeno-NO₂, Dióxido de azufre-SO₂ en concentraciones que cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la normatividad ambiental vigente.

Con el fin de determinar la concentración de contaminantes en aire ambiente que resultan de las emisiones de las fuentes fijas existentes al interior de la Refinería de Cartagena, se realizó la simulación de dispersión de contaminantes, teniendo en cuenta el escenario de operación actual (165 KBPD) y el escenario de operación futura (245 KBPD) (Gráficos presentados en el capítulo 4, 4.7 Emisiones Atmosféricas). Los contaminantes gaseosos que se tuvieron en cuenta para la modelación fueron:

⁴ KBPD: Kilo barril por día.

- a. Dióxido de azufre (SO₂)
- b. Óxidos de nitrógeno (NO₂)

Los resultados del modelo de dispersión de contaminantes desarrollado considerando un escenario de producción actual (máxima carga de 165 KBPD), determinan las concentraciones máximas actuales en el área de influencia de los gases Dióxido de nitrógeno (NO₂) y Dióxido de azufre (SO₂) para los tiempos de exposición correspondientes a cada contaminante según la normatividad vigente. Para el Dióxido de nitrógeno (NO₂) se simuló la concentración promedio anual y la concentración máxima de 1 hora y para el Dióxido de azufre (SO₂) se simuló las concentraciones máximas de una (1) hora y 24 horas, ver Tabla 5-6.

Tabla 5-6 Concentración máxima de gases en el dominio de simulación en el escenario actual (Capacidad de carga de 165 KBPD)

CONCENTRACIÓN DE GASES EN LA ATMÓSFERA	UNIDAD	CONCENTRACIÓN ESCENARIO ACTUAL
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	µg/m ³ / (concentración máxima horaria)	222,6
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	µg/m ³ / (concentración promedio anual)	13,6
Dióxido de azufre (SO ₂)	µg/m ³ / (concentración máxima horaria)	173,5
Dióxido de azufre (SO ₂)	µg/m ³ / (concentración máxima de 24 horas)	23,9

Fuente: Concol by WSP, 2019. Con base en resultados de Hernández A., 2019., Modelo de dispersión de contaminantes.

Para el escenario de operación futura, correspondiente a una carga máxima de 245 KBPD, los resultados del modelo de dispersión de contaminantes permiten establecer las concentraciones máximas en el área de influencia de los gases Dióxido de nitrógeno (NO₂) y Dióxido de azufre (SO₂) para los tiempos de exposición correspondientes a cada contaminante según la normatividad vigente. Para el Dióxido de nitrógeno (NO₂) se simuló la concentración promedio anual y la concentración máxima de 1 hora, y para Dióxido de azufre (SO₂) se simuló las concentraciones máximas de una (1) hora y 24 horas (ver Tabla 5-7).

Tabla 5-7 Concentración de gases en el dominio de simulación en el escenario futuro (Capacidad de carga de 245 KBPD)

CONCENTRACIÓN DE GASES EN LA ATMÓSFERA	UNIDAD	CONCENTRACIÓN ESCENARIO FUTURO
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	µg/m ³ (concentración máxima horaria)	263,7
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	µg/m ³ (concentración promedio anual)	15,4
Dióxido de azufre (SO ₂)	µg/m ³ (concentración máxima horaria)	207,5
Dióxido de azufre (SO ₂)	µg/m ³ (concentración máxima de 24 horas)	28,0

Fuente: Concol by WSP, 2019., Con base en resultados de Hernández A., 2019., (Modelo de dispersión de contaminantes).

Para el análisis, se comparan los resultados de los modelos de dispersión de contaminantes para el escenario de operación actual (165 KBPD) y el escenario de operación futura (245 KBPD), con el fin de establecer el cambio en las concentraciones de contaminantes en aire ambiente, y determinar el cumplimiento de la normatividad ambiental, estableciendo el margen con respecto a los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 2254 de 2017. Cabe resaltar, que para el presente análisis de internalización se emplearon los niveles máximos de concentración de gases contaminantes registrados en el área de influencia del proyecto.

De esta manera, el modelo de dispersión de contaminantes futuro (producción de 245 KBPD) en comparación con el modelo de emisión de contaminantes a una producción de 165 KBPD, registra un aumento en la concentración de Dióxido de nitrógeno (NO₂) en 41,1 µg/m³ en una hora y 1,8 µg/m³ en un periodo anual, por su parte, el Dióxido de azufre (SO₂) presenta un aumento de 34 µg/m³ en una (1) hora y un cambio de 4,1 µg/m³ en un periodo de 24 horas (ver Tabla 5-8).

Tabla 5-8 Cambio en la concentración de gases en el dominio de simulación

CONCENTRACIÓN DE GASES EN LA ATMÓSFERA	UNIDAD	CONCENTRACIÓN ESCENARIO ACTUAL	CONCENTRACIÓN ESCENARIO FUTURO	CAMBIO EN LA CONCENTRACIÓN
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	µg/m ³ (concentración máxima horaria)	222,6	263,7	41,1
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	µg/m ³ (concentración promedio anual)	13,6	15,4	1,8
Dióxido de azufre (SO ₂)	µg/m ³ (concentración máxima horaria)	173,5	207,5	34
Dióxido de azufre (SO ₂)	µg/m ³ (concentración máxima de 24 horas)	23,9	28	4,1

Fuente: Concol by WSP, 2019., Con base en resultados de Hernández A., 2019., (Modelo de dispersión de contaminantes).

La Tabla 5.10 presenta las concentraciones máximas obtenidas en el modelo de dispersión de contaminantes respecto a los límites máximos permisibles establecidos en la resolución 2254 de 2017. Los resultados, muestran el cumplimiento de la normatividad vigente para el gas Dióxido de nitrógeno (NO₂) en periodos anuales y el Dióxido de azufre (SO₂) en periodos diarios.

Tabla 5-9 Concentración de gases en la atmósfera con respecto al límite establecido por la normatividad vigente

CONCENTRACIÓN DE GASES EN LA ATMÓSFERA	UNIDAD	RESOLUCIÓN 2254 DE 2017 - LIMITE ESTABLECIDO	CONCENTRACIÓN ESCENARIO ACTUAL	CONCENTRACIÓN ESCENARIO FUTURO
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	µg/m ³ (concentración máxima horaria)	200	222,6	263,7
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	µg/m ³ /año (concentración promedio anual)	60	13,6	15,4
Dióxido de azufre (SO ₂)	µg/m ³ (concentración máxima horaria)	100	173,5	207,5
Dióxido de azufre (SO ₂)	µg/m ³ (concentración máxima de 24 horas)	50	23,9	28

Fuente: Concol by WSP, 2019., Con base en resultados de Hernández A., 2019., (Modelo de dispersión de contaminantes).

i. Análisis gas contaminante - Dióxido de nitrógeno (NO₂)

La concentración promedio anual del contaminante Dióxido de nitrógeno (NO₂), en los dos (2) escenarios se encuentra por debajo del valor máximo permisible de 60 µg/m³ establecido en la Resolución 2254 de 2017.

El modelo predice concentraciones máximas horarias de dióxido de nitrógeno (NO₂) que superan los límites normativos (200 µg/m³), tanto para el escenario de operación actual (165 KBPD) como para el escenario de operación futura (245 KBPD). Sin embargo, esta condición de concentraciones horarias mayores a 200 µg/m³ se presentó solo para cuatro (4) horas (no continuas) (ver Tabla 5-10) durante todo el periodo de simulación que incluyó 26.280 horas (3 años), por lo cual no corresponde a una condición representativa del impacto de las emisiones de la Refinería, y está relacionada con unas condiciones meteorológicas específicas. Adicionalmente, es importante resaltar que es ampliamente reconocido que este tipo de modelos de dispersión son más confiables para estimar concentraciones de tiempos de exposición largos que para tiempos de exposición cortos (Barratt, 2001).

Tabla 5-10 Fecha de ocurrencia de las concentraciones máximas de 1 hora de NO₂

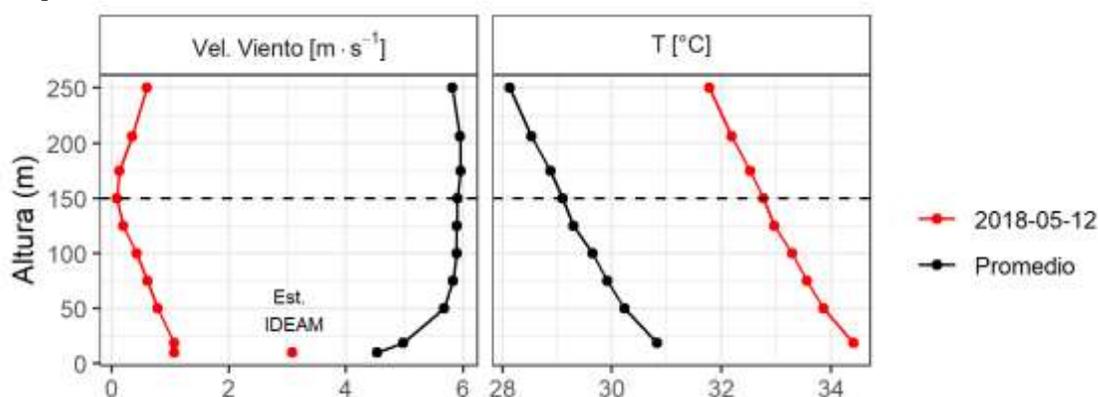
Máximo	Operación actual (165 KBPD)		Operación futura (245 KBPD)	
	Concentración máxima de 1 hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha	Concentración máxima de 1 hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Fecha
Primer máximo	222,6	12/05/2018 14:00	263,7	12/05/2018 14:00
Segundo máximo	197,6	26/02/2016 10:00	232,8	19/12/2016 11:00
Tercer máximo	195,2	26/02/2016 10:00	232,2	26/02/2016 10:00
Cuarto máximo	183,4	24/03/2017 11:00	217,6	24/03/2017 11:00

Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Las condiciones meteorológicas bajo las cuales el modelo predijo las máximas concentraciones horarias de Dióxido de nitrógeno (NO₂), están relacionadas con una disminución en la velocidad del viento con la altura, que está asociado con un cambio en la dirección de viento.

En general, la condición promedio del viento muestra que cerca de la superficie la velocidad del viento aumenta con la altura (comportamiento típico de la variable), mientras que para la hora en la que se presentó la máxima concentración horaria, la velocidad en la capa superficial disminuye con la altura hasta alcanzar un valor cercano a cero alrededor de los 150 m. Adicionalmente, la velocidad en superficie es muy baja ($< 1\text{ m/s}$) comparada con las velocidades promedio de esa hora del mes y también con respecto la velocidad medida por la estación IDEAM para esa hora de ese día específico la (Ver Figura 5.1), por lo cual puede corresponder a una subestimación de la velocidad simulada del viento (mediante el modelo meteorológico WRF) para ese día específico.

Figura 5.1 Perfiles de velocidad del viento y temperatura para la hora de máxima concentración horaria (2018-05-12 14:00) y perfil promedio de la hora 14:00 durante mayo de 2018.



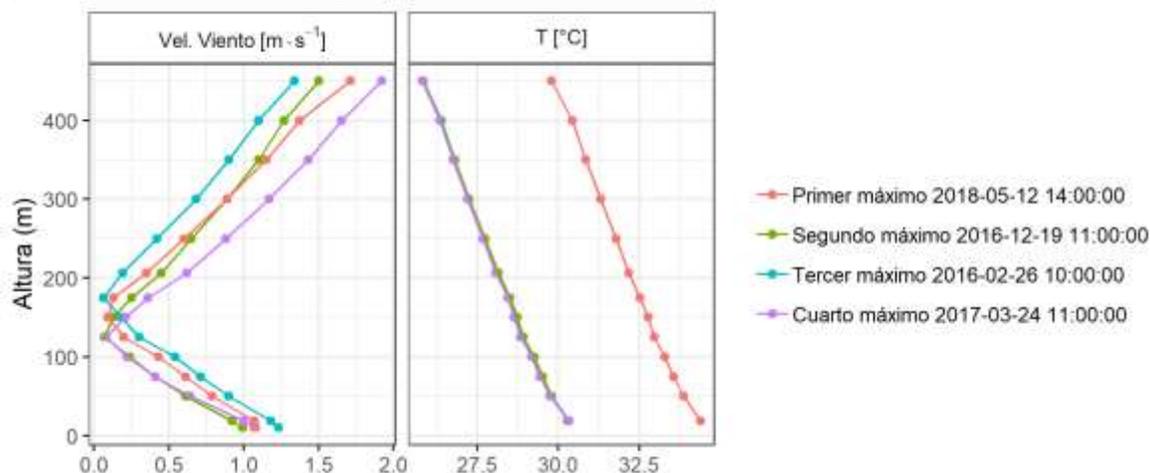
Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Esta condición de velocidades de viento que disminuyen con la altura, es común en las cuatro (4) horas con máximos registros de concentración horaria, como se puede observar en la Figura 5.1, y corresponde a una condición atípica que predijo el modelo meteorológico

WRF.

Los resultados, indican que en estas condiciones meteorológicas particulares se disminuye la capacidad de dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Es importante resaltar que, según los registros meteorológicos simulados, estas condiciones específicas que llevaron a predecir excedencias a la norma horaria son atípicas, pues solo se presentaron en 4 horas no continuas durante todo el periodo de simulación (26.280 horas).

Figura 5.2 Perfiles de velocidad del viento y temperatura para los máximos horarios que exceden los límites permisibles



Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

La Figura 5.3 y Figura 5.4, presentan las isopletas de concentración máxima de 1 hora de Dióxido de nitrógeno (NO₂), las cuales evidencian que para el escenario actual y futuro la concentración máxima horaria simulada corresponde, espacialmente a un punto de la Refinería de Cartagena situado junto a la fuente de la unidad de generación de vapor y energía (FE 19 - 130 PSG-GTGEN-001/130-PSG-HRSG-001).

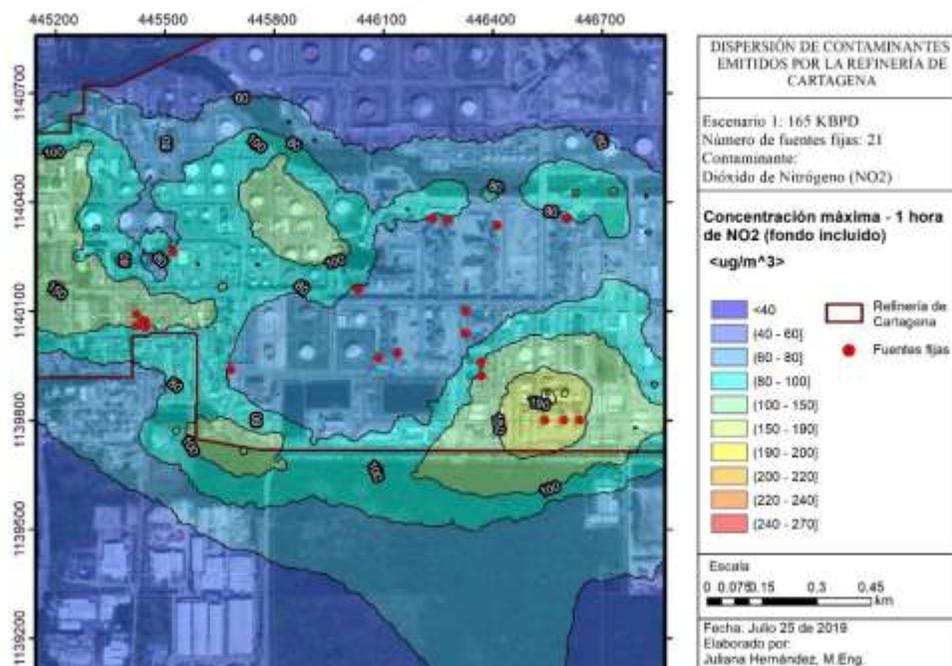
Adicionalmente, se observa que los máximos niveles de concentración horaria, se registran dentro de la Refinería, ya que por fuera de sus límites todos los valores se encuentran por debajo del valor máximo permisible de 200 µg/m³ establecido en la Resolución 2254 de 2017. La Tabla 5-11 presenta los niveles de concentración del Dióxido de nitrógeno (NO₂) en los receptores aledaños a la Refinería.

Tabla 5-11 Concentraciones máximas de NO₂ potenciales receptores aledaños a la Refinería de Cartagena

ESCENARIO	CONTAMINANTE	HORA
NORMATIVIDAD VIGENTE	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE (RESOLUCIÓN 2254 DE 2017)	200
Operación actual (165KBPD)	Receptores aledaños a la Refinería	167,6
	Pasacaballos	32,8
	Membrillal	33,2
	Turbaná	38,3
Operación futura (245 KBPD)	Receptores aledaños a la Refinería	182,5
	Pasacaballos	38,1
	Membrillal	41,7
	Turbaná	55,5

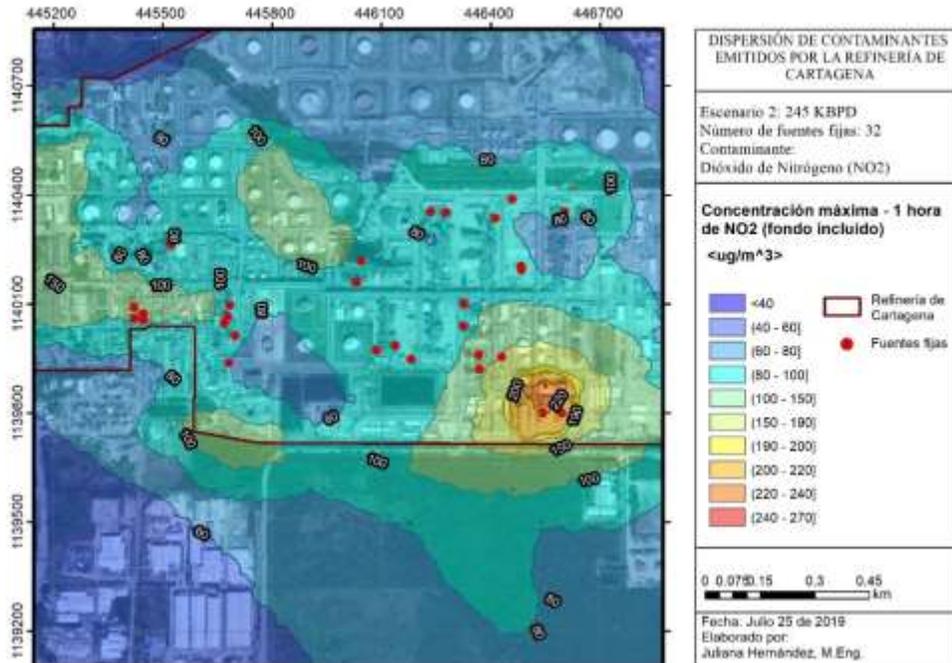
Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Figura 5.3 Isopletas de concentración máxima de 1 hora de NO₂ (fondo incluido) para el escenario de operación actual (165 KBPD)



Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Figura 5.4 Isopletas de concentración máxima de 1 hora de NO₂ (fondo incluido) para el escenario de operación futura (245 KBPD)



Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Teniendo en cuenta los resultados del modelo de dispersión de contaminantes, se puede establecer que las concentraciones Dióxido de nitrógeno (NO₂) registradas en los corregimientos Membrillal, Pasacaballos, Turbaná y receptores aledaños, son muy bajas encontrándose por debajo del límite máximo permisible por la norma (Resolución 2254 de 2017), por lo cual no representan un riesgo para la salud de sus habitantes.

i. Análisis gas contaminante - Dióxido de azufre (SO₂)

La concentración máxima de 24 horas del contaminante Dióxido de azufre (SO₂), en los dos (2) escenarios se encuentra por debajo del valor máximo permisible de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido en la Resolución 2254 de 2017.

El modelo predice concentraciones máximas horarias de dióxido de azufre (SO₂) que superan los límites normativos (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), tanto para el escenario de operación actual (165 KBPD) como para el escenario de operación futura (245 KBPD). Sin embargo, esta condición de concentraciones horarias mayores a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se presentó solo para seis (6) horas (no continuas) (ver Tabla 5-12) durante todo el periodo de simulación que incluyó 26.280 horas (3 años), por lo cual no corresponde a una condición representativa del impacto de las emisiones de la Refinería, y está relacionada con unas condiciones meteorológicas específicas. Adicionalmente, es importante resaltar que es ampliamente reconocido que este tipo de modelos de dispersión son más confiables para estimar concentraciones de tiempos de exposición largos que para tiempos de exposición cortos (Barratt, 2001).

Tabla 5-12 Fecha de ocurrencia de las concentraciones máximas de 1 hora de SO₂

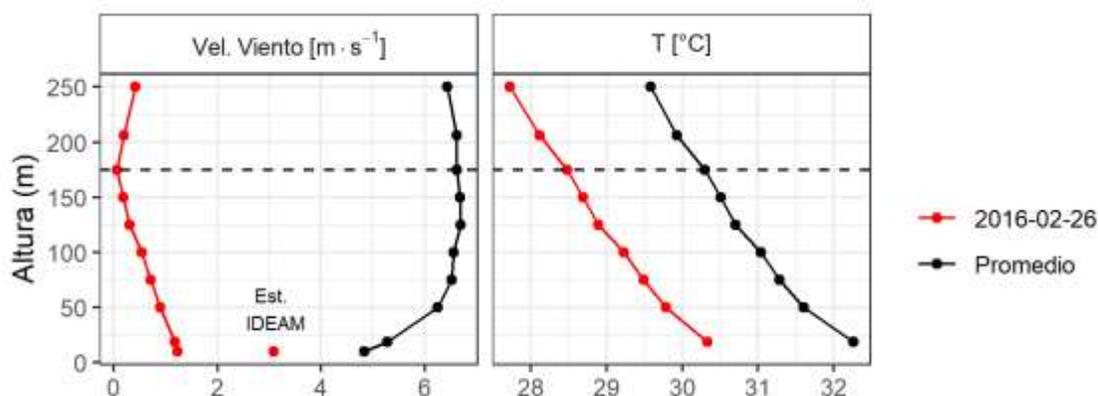
MÁXIMO	OPERACIÓN ACTUAL (165 KBPD)		OPERACIÓN FUTURA (245 KBPD)	
	CONCENTRACION MÁXIMA DE 1 HORA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FECHA	CONCENTRACION MÁXIMA DE 1 HORA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FECHA
Primer máximo	173,46	26/02/2016 10:00	207,46	26/02/2016 10:00
Segundo máximo	156,06	12/05/2018 14:00	186,76	12/05/2018 14:00
Tercer máximo	109,16	19/01/2016 10:00	130,96	19/01/2016 10:00
Cuarto máximo	99,66	12/03/2016 11:00	119,36	12/03/2016 11:00
Quinto máximo	93,76	19/01/2017 10:00	112,46	19/01/2017 10:00
Sexto máximo	90,96	6/01/2016 13:00	109,26	6/01/2016 13:00

Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Las condiciones meteorológicas bajo las cuales el modelo predijo las máximas concentraciones horarias de Dióxido de azufre (SO₂), están relacionadas con una disminución en la velocidad del viento con la altura, que está asociado con un cambio en la dirección de viento.

En general, la condición promedio del viento muestra que cerca de la superficie la velocidad del viento aumenta con la altura (comportamiento típico de la variable), mientras que para la hora en la que se presentó la máxima concentración horaria, la velocidad en la capa superficial disminuye con la altura hasta alcanzar un valor cercano a cero alrededor de los 175 m. Adicionalmente, la velocidad en superficie es muy baja (< 1 m/s) comparada con las velocidades promedio de esa hora del mes y también con respecto la velocidad medida por la estación IDEAM para esa hora de ese día específico (ver Figura 5.5), por lo cual puede corresponder a una subestimación de la velocidad simulada del viento (mediante el modelo meteorológico WRF) para ese día específico.

Figura 5.5 Perfiles de velocidad del viento y temperatura para la hora de máxima concentración horaria (2016-02-26 10:00) y perfil promedio de la hora 10:00 durante febrero de 2016.

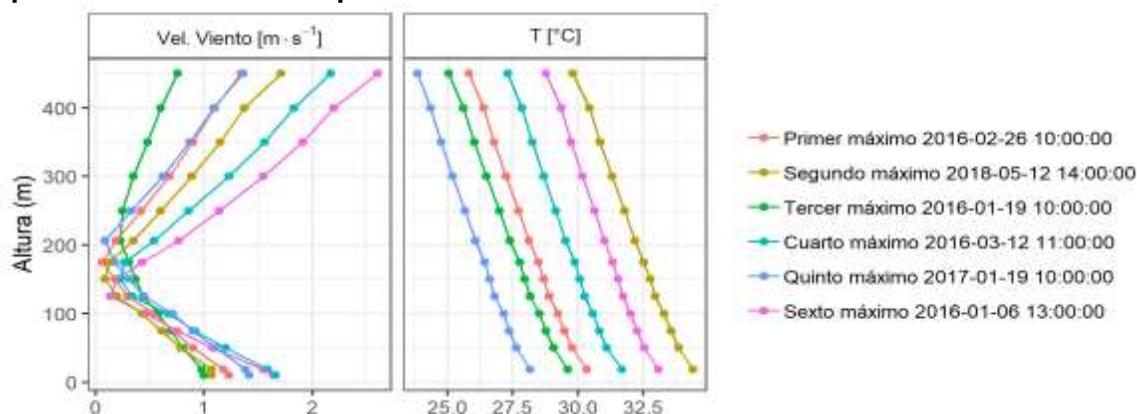


Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Esta condición de velocidades de viento que disminuyen con la altura es común en las seis (6) horas con máximos registros de concentración horaria, como se puede observar en la Figura 5.6, y corresponde a una condición atípica que predijo el modelo meteorológico

WRF.

Figura 5.6 Perfiles de velocidad del viento y temperatura para los máximos horarios que exceden los límites permisibles



Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

La Figura 5.3 y Figura 5.4, presentan las isopletras de concentración máxima en 1 hora, las cuales evidencian que para el escenario actual y futuro la concentración máxima horaria simulada se ubica espacialmente en un punto de la Refinería de Cartagena situado junto a la fuente de máxima emisión FE22 (chimenea del regenerador de la unidad de craqueo catalítico).

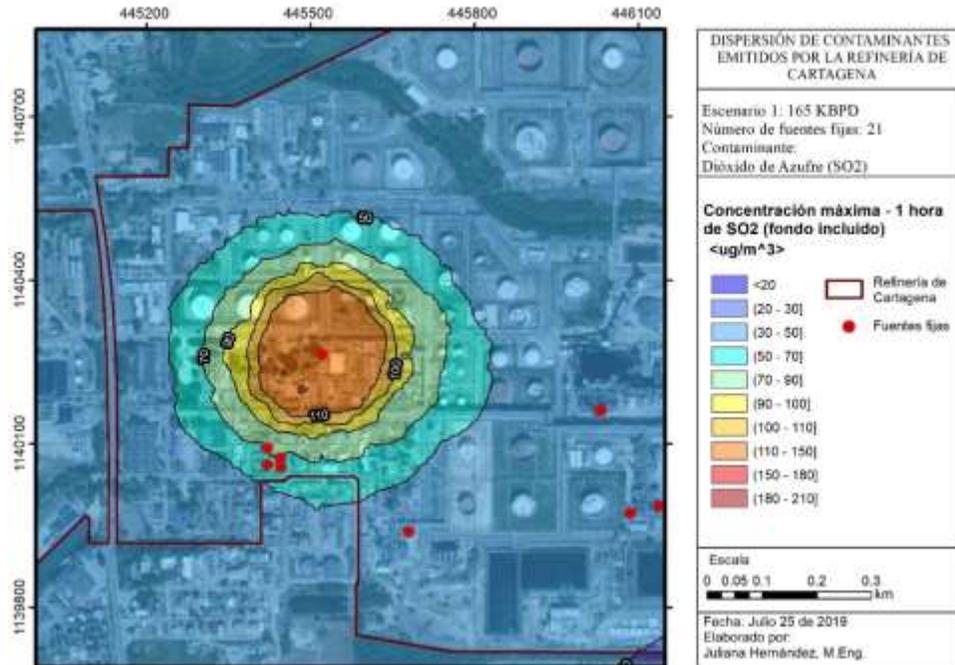
Fuera de los límites de la refinería de Cartagena, las concentraciones de Dióxido de azufre (SO₂) se encuentran por debajo del valor máximo permisible de 100 µg/m³ establecido en la Resolución 2254 de 2017. La Tabla 5-13 presenta los niveles de concentración del Dióxido de azufre (SO₂) en los receptores aledaños a la Refinería.

Tabla 5-13 Concentraciones máximas de SO₂ en los potenciales receptores aledaños a la Refinería

ESCENARIO	CONTAMINANTE	HORA
NORMATIVIDAD VIGENTE	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE (RESOLUCIÓN 2254 DE 2017)	100
Operación actual (165KBPD)	Receptores aledaños a la Refinería	56,1
	Pasacaballos	24,6
	Membrillal	22,6
	Turbaná	21,9
Operación futura (245 KBPD)	Receptores aledaños a la Refinería	68,4
	Pasacaballos	27,7
	Membrillal	26,0
	Turbaná	25,2

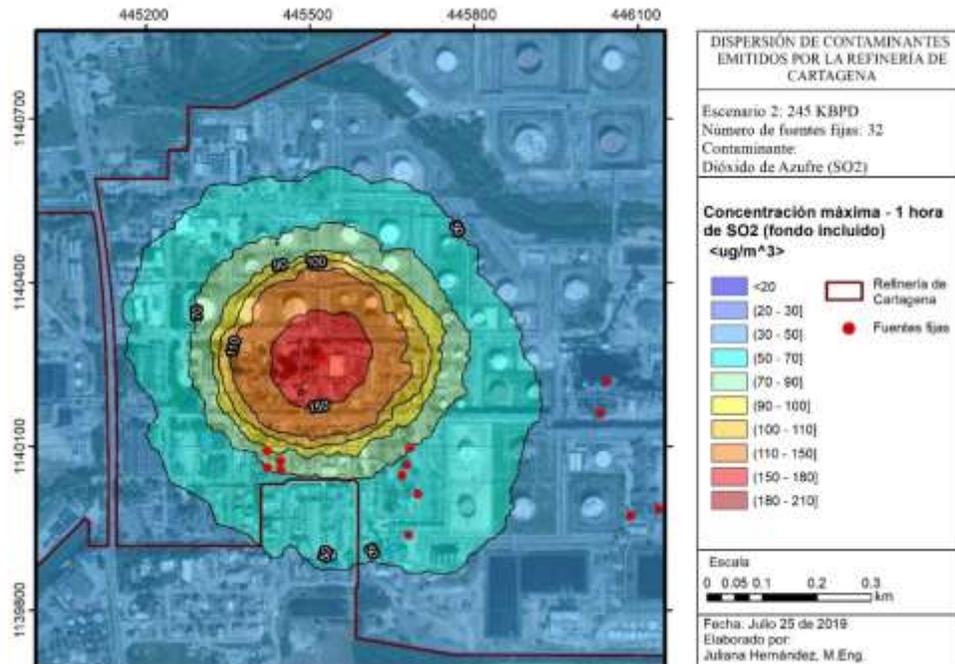
Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Figura 5.7 Isopletas de concentración máxima de 1 hora de SO₂ (fondo incluido) para el escenario de operación actual (165 KBPD)



Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Figura 5.8 Isopletas de concentración máxima de 1 hora de SO₂ (fondo incluido) para el escenario de operación futura (245 KBPD)



Fuente: Hernández A., 2019. (Modelo de dispersión de contaminantes).

Teniendo en cuenta los resultados del modelo de dispersión de contaminantes, se puede establecer que las concentraciones Dióxido de azufre SO₂ registradas en los corregimientos Membrillal, Pasacaballos, Turbaná y receptores aledaños, son muy bajas encontrándose por debajo del límite máximo permisible por la norma (Resolución 2254 de 2017), por lo cual no representan un riesgo para la salud de sus habitantes.

- Consideraciones en la internalización del impacto

En cuanto al cumplimiento de los niveles de inmisión establecidos en la Resolución 2254 de 2017, el contaminante NO₂ se verificó el cumplimiento normativo de las concentraciones promedio anuales en todos los puntos del dominio y el cumplimiento de la concentración máxima horaria para todos los puntos del dominio por fuera de la Refinería.

Para el contaminante SO₂, las concentraciones máximas de 24 horas cumplen con los límites de inmisión para todos los puntos del dominio y para la concentración máxima de 1 hora cumplen con los límites establecidos en todos los puntos del dominio por fuera de la Refinería.

Dado que para ninguno de los contaminantes considerados se presentaron isopletras de aporte de las emisiones a la concentración promedio anual que excedan los límites OMS (criterios definidos para delimitar el área de influencia), se concluye que los impactos no trascienden a zonas aledañas a la Refinería, por lo cual el área de influencia del componente atmosférico se define como el área de intervención directa, es decir el polígono de la Refinería (impacto puntual en el área donde se producen las emisiones de la Refinería).

Este resultado es consistente con las características de la Refinería, ya que sus unidades cuentan con equipos de control de última generación y opera con combustible gaseoso generando una emisión muy baja de partículas.

- iii. Medida de manejo ambiental: OP-MA-4 Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental

Como se indicó anteriormente, el “Cambio en la concentración de gases” es controlado en su totalidad por el correcto desarrollo de la medida de mitigación y corrección ficha “OP-MA-4 Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental” e internalizado a través del monto de sus inversiones de implementación. De esta manera, como medidas de prevención en las actividades de mantenimiento y adecuación, se plantean las siguientes medidas:

- a. En la operación de maquinaria, equipo de construcción y vehículos, deben contar y presentar su certificación de revisión técnico-mecánica, incluyendo su certificado de emisión de gases, presentar la planilla y el programa de mantenimiento de estos, no transportar por encima de su capacidad cubriendo debidamente su carga, como lo establece la Resolución 541 de 1994 del Ministerio de Ambiente y la velocidad de desplazamiento de maquinaria, equipos y vehículos no puede ser superior a 20 km/h.

Diferentes equipos y maquinarias utilizados en operación funcionan a partir de combustión externa que genera emisiones de gases contaminantes. Para la disminución en la concentración de los gases emitidos a la atmosfera, se proponen medidas como: sistemas de control, aprovechamiento de gases, sistemas de monitoreo, entre otras, todas encaminadas a la disminución en la concentración de los gases emitidos a la atmosfera. De esta manera, para el control de emisiones se instalarán y adoptarán los siguientes equipos y acciones, como medidas de manejo:

- a. Control de emisiones generadas por equipos (Incineradores) presentes en la unidad Recuperadora de Azufre, que incluye tratamiento de gas de cola para el Sulfuro de hidrogeno y el amoniaco, sistema de venteo de gases (H_2S y SO_2), si se decide solidificar del azufre recuperado, este debe ser almacenado y rociado prevenir la emisión de material particulado y la ocurrencia de incendios.
- b. Control de emisiones de los equipos de combustión externa (Hornos y Calderas de la Refinería de Cartagena). El combustible utilizado en los hornos y calderas será una mezcla del gas combustible generado en la Refinería, adicionalmente, será completada con gas natural provisto por PROMIGAS, que es un combustible compuesto en su mayoría por metano (>90% volumen).
- c. Los hornos de las diferentes unidades de proceso tendrán quemadores estándar, quemadores bajo NO_x e igualmente se tienen disponibles las facilidades necesarias para realizar las mediciones isocinéticas de estas chimeneas.

La creciente preocupación social por el deterioro del ambiente, y exigencias legales, están generando conciencia en las empresas respecto a la problemática ambiental, considerando al medio ambiente como un nuevo factor estratégico la hora de planificar sus acciones, creando diseños ecológicos, organizando sus materiales, funciones y procesos, en procura de mantener un ambiente sostenible (Pousa, 2006 citado por (Ortiz, 2016)). De esta manera la Refinería de Cartagena en su compromiso con el medio ambiente y la optimización de sus procesos plantea las siguientes medidas:

- a. Optimización del uso de hidrogeno generado en las unidades de reformado catalítico, unidad de hidrogeno, unidad de hidrodeshulfuración. Se propone la purificación y el recirculando de las concentraciones de hidrogeno mayores a 85%, adicionalmente, las corrientes provenientes de la unidad de reformado catalítico continuo y el excedente emitido por la unidad de hidrogeno (venteo), así como las corrientes menores de purga y vapor de las unidades de hidrodeshulfuración del destilado medio (USLD 1/2), serán tratadas en la unidad de purificación de hidrogeno (PSA).
- b. Aprovechamiento del gas acido generado en las unidades de craqueo catalítico, unidad de coquización, unidad de hidrodeshulfuración, unidad de hidrocraqueo.
- c. Control de emisiones de amoniaco, removiéndolo del petróleo crudo durante el proceso de refinación.
- d. Optimización del uso del fluoruro de hidrogeno. Para el gas residual con contenido de HF se posee un sistema de depuración de gases antes de ser enviados a la TEA ácida que permite el control de este contaminante.
- e. Aprovechamiento del gas de proceso, que presente una concentración de hidrogeno y de fracciones livianas, será aprovechado como gas combustible interno en la refinería.

Adicionalmente, se proponen programas de gestión donde se destaca un programa de mantenimiento preventivo de los equipos y procesos que por su naturaleza generen emisiones y procedimientos de seguimiento y control de las órdenes de trabajo en las unidades de procesos.

La aplicación de las medidas mencionadas permitirá la disminución en la concentración de los contaminantes emitidos a la atmosfera, garantizando el cumplimiento de los límites permitidos por la normatividad ambiental vigente para los parámetros de interés monitoreados Dióxido de Azufre (SO₂) y Dióxidos de Nitrógeno (Dióxido de nitrógeno NO₂). Adicionalmente, los efectos ocasionados pueden ser asimilados por el medio a través de procesos de dispersión y transporte de las emisiones, tal como se puede observar en el modelo de dispersión de contaminantes realizado.

iv. Indicador asociado a la medida de manejo ambiental

El indicador mide la eficacia de la medida de manejo ambiental relaciona el número de parámetros que cumplen con la normatividad vigente sobre el total de parámetros monitoreados (según la Res.2254 de 2017 Norma de calidad de aire ambiente) expresando el resultado en porcentaje (%).

Ecuación 1 Indicador asociado a la medida de manejo ambiental

$$X = \left(\frac{P_{cum}}{P_{mon}} \right) X 100$$

Dónde:

P_{cum}: Parámetros que cumplen con la norma: Estandares máximos permisibles (Res. 2254 de 2017)

P_{mon}: Parámetros monitoreados según la Res. 2254 de 2017

Con base en los resultados obtenidos en el modelo de dispersión de gases bajo un escenario operación futura (máxima carga de 245 KBPD), se considera que el impacto es internalizado con la aplicación de la medida de manejo OP-MA-4 Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental que enmarca una serie de acciones, sistemas de control, tecnologías, optimización de procesos, aprovechamiento de gases, sistemas de monitoreo y entre otros propuestos, que propician el cumplimiento de la normatividad vigente (Resolución 2254 de 2017).

Cabe aclarar, que fuera de los límites de la Refinería de Cartagena las concentraciones de Dióxido de nitrógeno (NO₂) con predicciones de una (1) hora y anuales y el gas Dióxido de azufre (SO₂) con predicciones de (1) hora y de 24 horas cumplen en su totalidad la Resolución 2254 de 2017, en cuanto a los niveles de concentración máximos permisibles.

Por su parte, al interior de la Refinería el modelo predice seis (6) concentraciones horarias de Dióxido de azufre (SO₂) y cuatro (4) de Dióxido de nitrógeno (NO₂) que exceden la normatividad vigente. Sin embargo, estas concentraciones no son representativas del impacto de la Refinería, ya que corresponden a horas no continuas del total empleado en la simulación (26.280 horas) y el modelo meteorológico empleado subestima

significativamente la velocidad del viento en superficie y predice un perfil de velocidades que disminuye con la altura, lo cual hace que la emisión no se disperse y se concentre en puntos cercanos a la fuente de mayor emisión, siendo contrario al comportamiento típico esperado de esta variable meteorológica.

v. Costos de la medida de manejo ambiental

La internalización del impacto “Cambio en la concentración de gases” se da en términos de las inversiones proyectadas en la implementación de la medida de manejo ficha “OP-MA-4 Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental” las cuales al ejecutarse contribuyen a prevenir y corregir el impacto causado sobre el medio. A continuación, se relacionan los costos incurridos en la internalización del impacto, donde los costos de operación se estiman en \$ 120.477.646 pesos y costos de personal en \$ 20.656.622 pesos anuales (ver Tabla 5-14).

Tabla 5-14 Costos incurridos en la implementación de la medida de manejo

COSTOS AMBIENTALES ANUALES			
NOMBRE	CTi	COi	CPI
OP-MA-4 Programa manejo del recurso del aire	\$ 0,00	\$ 120.477.646	\$ 20.656.622

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Adicionalmente, se realiza una proyección temporal para un horizonte de análisis de treinta (30) años, tiempo estimado para que se realice una ampliación de la capacidad productiva de la refinería de Cartagena. Cabe resaltar que esta proyección está basada en los costos anuales estimados en la implementación de la medida de manejo ambiental aplicando una Tasa Social de Descuento-TDS del 12% anual, la proyección temporal y la VPN se muestran en la Tabla 5-15. Con el fin de dar cumplimiento al requerimiento No 6 “ajustar el flujo de costos y beneficios, los indicadores económicos y el análisis de sensibilidad para la presente modificación de acuerdo con la temporalidad de las obras y de los efectos sobre el ambiente y la sociedad”, presentado por la autoridad ambiental, se inicia la proyección temporal y estimación del valor presente neto VPN de los costos desde el año cero.

Tabla 5-15 Proyección temporal y estimación del Valor Presente Neto-VPN de los costos

IMPACTO NEGATIVO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Cambio en la concentración de gases	\$ 0	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268
	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268
	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19
	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268
	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24
	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268
	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29
	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268	\$ 141.134.268
	Año 30	VPN			

IMPACTO NEGATIVO	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
	\$ 141.134.268		\$ 1.136.862.493		

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Es importante mencionar que las inversiones estimadas en la implementación de la medida de manejo “ficha OP-MA-4 Manejo de las emisiones atmosféricas y ruido ambiental”, atiende los impactos “Cambio en la concentración de gases y Cambio en la concentración de material particulado”, donde se obtuvo que el Valor Presente Neto-VPN de estas inversiones para un horizonte de treinta (30) años es \$ 1.136.862.493 pesos.

5.2.3.2 Alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial

Con las actividades de la operación de la Refinería de Cartagena, se generan aguas residuales domésticas e industriales, las cuales de acuerdo con sus características fisicoquímicas son rigurosamente tratadas en la U-143 Unidad de Tratamientos Ambientales, para posteriormente ser vertidas en la bahía de Cartagena. Dicho vertimiento se encuentra autorizado en el artículo tercero de la resolución 2102 del 28 de noviembre de 2008 y es la única actividad que podría generar alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua.

El impacto es generado en la etapa de operación de la refinería⁵, afectando las características de las aguas superficiales. Es calificado como acumulativo, con un nivel de importancia “localizado” y con una probabilidad de ocurrencia “B”, que conllevan a un nivel de significancia ambiental “baja”.

El análisis de residualidad (5.2.4) se realizó aplicando la ficha “OP-MA-3 Manejo de aguas residuales industriales y domésticas”, donde se da una calificación a la eficacia de la medida de manejo de “20” o muy alta y un tiempo de recuperación de “4” recuperable a corto plazo, y se obtuvo una nueva calificación de nivel de importancia “Leve”, una probabilidad de ocurrencia “D” y un nivel de significancia ambiental “baja”, de esta manera, se puede inferir que el impacto es internalizado por medio de los costos del proyecto, a través en las inversiones de la aplicación de la medida de manejo.

i. Servicios ecosistémicos afectados

El aumento en la capacidad de carga máxima de 165 KBPD hasta una capacidad de carga máxima de 245 KBPD, incrementa los residuos líquidos generados y vertidos actualmente. Cabe resaltar, que se realiza un tratamiento en la unidad U-143 (Unidad de tratamiento de aguas residuales) permitiendo que los residuos líquidos resultantes cumplan con los parámetros establecidos por la normatividad vigente (Resolución 0631 de 2015), no obstante, se considera que el vertimiento aporta⁶ al cambio de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del área, afectando las condiciones óptimas del hábitat para

⁵ Destilación de Combinada, Atmosférico y Vacío; desintegración catalítica y térmica, Generación de agua desmineralizada, energía y producción de vapor y Recuperación de azufre

⁶ El sistema hídrico se ve polucionado por múltiples actividades generadoras de vertimientos, es decir se considera como un impacto acumulativo en el cual el aporte de la refinería es marginal.

las especies acuáticas de la bahía de Cartagena.

Los servicios ecosistémicos de soporte, son considerados como los servicios y procesos ecológicos necesarios para el aprovisionamiento y la existencia de los demás servicios ecosistémicos; estos servicios presentan unas escalas de tiempo y espacio mucho más amplias que los demás, ya que incluyen procesos como la producción primaria, la formación del suelo, la provisión de hábitat para especies, el ciclado de nutrientes, entre otros (MADS & ANLA, 2017).

Con base en lo anterior, el vertimiento de residuos líquidos afecta el servicio ecosistémico de soporte por la disminución en la calidad de hábitat para las especies acuáticas de la bahía de Cartagena; este servicio ecosistémico de soporte permite el desarrollo de bancos de peces, que sirven como fuente de alimento a nivel regional y la dinamización de la economía local.

ii. Cuantificación del impacto

La alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial está dada por el aporte de agentes exógenos, como microorganismos, productos químicos, residuos (líquidos y sólidos) industriales y domésticos vertidos sobre la bahía de Cartagena.

En la operación actual de la refinería realiza un vertimiento anual de 2.648.834,9 m³ a una producción de 165 KBD, no obstante, en el escenario futuro de producción de 245 KBD se estima un vertimiento máximo de 4.665.600 m³ anuales o 540 m³/hora.

Tabla 5-16 Volumen de vertimiento anual

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR ANUAL	UNIDAD	VALOR
Vertimiento anual (producción 165 KBPD)	m ³	2.648.834,90	m ³ /hora	306,58
Vertimiento anual (producción 245 KBPD)	m ³	4.665.600	m ³ /hora	540

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Con los resultados obtenidos en el año 2017 de los registros fisicoquímicos del punto de vertimiento final, se puede concluir que las concentraciones de grasas y aceites al igual que los hidrocarburos totales, los DBO y los SST, se evidencia que dichos índices son inferiores a los límites permisibles establecidos en el artículo 11 de Resolución 0631 de 2015, permitiendo establecer que el agua en el punto de vertimiento presenta condiciones óptimas en lo que refiere a estos parámetros, y descartando además la alteración del ecosistema marino a causa del vertimiento de las aguas residuales producidas en la Refinería de Cartagena.

Para el caso puntual de los PAH's y BTEX, estuvieron por debajo de los límites permitidos por la norma, descartando contaminación por dichos compuestos en el cuerpo receptor. Los resultados obtenidos se exponen en la Tabla 5-17.

Tabla 5-17 Parámetros fisicoquímicos vertimiento final

PARÁMETRO	ABRIL DE 2017
Temperatura	33,7
pH	7,4
Sólidos Suspendidos Totales	27

PARÁMETRO	ABRIL DE 2017
Demanda Bioquímica de Oxígeno	20,8
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HAP,S)	<0,0003
Aceites y Grasas	3
Hidrocarburos Totales	<1,4
BTEX	<0,05

Fuente: Refinería de Cartagena, 2019.

- iii. Medida de manejo ambiental: OP-MA-3 Manejo de aguas residuales industriales y domésticas

Las acciones generales que se deben considerar durante el desarrollo de las actividades que se lleven a cabo dentro de la Refinería de Cartagena y que internalizan en impacto por medio de las inversiones de su implementación, son las siguientes:

Se revisarán los sistemas de drenaje y los acoples de las tuberías, para detectar posibles fallas o fugas (considerando la ficha técnica) y se prohibirá el lavado de la maquinaria y equipos sobre el suelo o cuerpos de agua, para evitar la contaminación del recurso suelo por infiltración.

Las aguas residuales industriales y domésticas generadas en la Refinería de Cartagena son recolectadas y tratadas en la U-143 - Unidad de tratamiento de aguas residuales, para posteriormente realizar el vertimiento final sobre la Bahía de Cartagena. La Resolución 2102 del 2008 expedida por el entonces Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) otorga un permiso de vertimiento máximo de 562,5 m³/h sobre la bahía de Cartagena.

La planta fue diseñada para dos escenarios uno para escenario para temporada seca para manejar 814 gal/min y para época de agua lluvia 1716 gal/min, manejando un valor límite de 150 ppm, y controla las grasas, los aceites, sólidos suspendidos totales, fenoles y coliformes.

La unidad (U-143) incluye un tratamiento primario, que consiste en realizar el tratamiento de los efluentes residuales mediante separación física por gravedad que provienen de las diferentes unidades de proceso. En el tratamiento primario se tratan las siguientes secciones:

- a. Canal de desviación y Sistema de agua en Exceso 1 y 2
- b. Separación API
- c. Proceso de clarificación (Coagulación y Floculación)
- d. Flotación por Nitrógeno Disuelto (DNF).
- e. Filtración de Gases de Venteo.
- f. Canal de desviación y Sistema de agua en Exceso 1 y 2

Además, la unidad incluye un tratamiento secundario utilizando procesos de homogenización y de reacción biológica. Es decir, se realiza la separación de los sólidos disueltos, donde debe salir con un valor de sólidos igual o menor a 30 ppm, dentro de los cuales se incluyen hidrocarburos y contaminantes que no se separan fácilmente.

El Proceso de filtración y vertimiento es un mecanismo por el cual se retiran los últimos sólidos en suspensión durante los tratamientos primario y secundario del agua tratada antes de su vertimiento a la bahía.

Para el manejo y direccionamiento de Aguas Lluvias, se realiza un proceso básico de recolección, tratamiento y posterior descarga.

Por su parte, el tratamiento de aguas sanitarias realiza el proceso de desinfección y descontaminación de las aguas domesticas provenientes de los cuartos de control, comedores y edificios de administración de la refinería, para su posterior vertimiento. Las etapas del tratamiento de la planta son las siguientes: Carga, Homogenización, Reacción Biológica, tratamiento de lodos y filtración.

Adicionalmente se propone un programa de ahorro y uso eficiente de agua Refinería de Cartagena, con el fin de realizar la reutilización y recirculación de aguas, que consiste en usar nuevamente el recurso que ya ha sido utilizado previamente en un proceso productivo o proveniente de la salida de la unidad 143 (agua residual tratada), reincorporándolo a una etapa del mismo proceso (recirculación) o utilizándolo en otro proceso distinto (reutilización), antes de ser descargado al ambiente.

Como se menciona anteriormente, la principal medida de manejo ambiental para controlar la alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial es el sistema de tratamiento de aguas residuales (U-143), cuyo propósito es tratar los efluentes provenientes de las unidades de proceso (aguas industriales), aguas domésticas y aguas lluvias potencialmente contaminadas, con una capacidad para manejar 814 gal/min en época seca y 1716 gal/min en época de lluvia.

Actualmente la Refinería de Cartagena S.A., realiza un vertimiento anual de 2.648.834,9 m³ producto de las actividades desarrolladas al interior de la misma. Dicho vertimiento es de flujo continuo, cumple con lo autorizado en el numeral 1 del artículo tercero de la Resolución 2102 del 28 de noviembre de 2008, en la cual se autoriza un vertimiento máximo de 562,5 m³/h. Ahora bien, teniendo en cuenta lo anterior, se espera que el funcionamiento simultáneo de las plantas de crudo de la Refinería, las cuales generarán un incremento en la producción llevándola a 245 KBPD, donde se estima un vertimiento máximo de 4.665.600 m³ anuales o 540 m³/hora, cumpliendo con el caudal de vertimiento autorizado.

i. Indicador asociado a la medida de manejo ambiental

El indicador que mide el cumplimiento de la medida de manejo ambiental (ver Ecuación 2) relaciona el volumen vertido con respecto al volumen de vertimiento permitido por la Resolución 2102 de 2008.

Ecuación 2 Indicador asociado a la medida de manejo ambiental

$$X = \left(\frac{V_v}{V_{va}} \right) X 100$$

Dónde:

V_v : Volumen de residuos líquidos vertidos

V_{va} : Volumen máximo autorizado por la Resolución 2102 del 2008

Con base en lo anterior, se puede concluir que el sistema de tratamiento de aguas (U-143) garantiza que el volumen de residuos líquidos vertidos sobre la bahía de Cartagena no supera el vertimiento máximo autorizado y como resultado se obtiene un cumplimiento de 100% del indicador de medición propuesto. Además, las características fisicoquímicas del agua vertida estarán dentro de los límites permitidos por la normatividad ambiental, adicionalmente los efectos ocasionados en el medio receptor pueden ser asimilados de manera rápida a través de procesos de dilución, debido a la magnitud del medio receptor, en la Tabla 5-18 se evidencia el margen de cumplimiento de los volúmenes vertidos con respecto al volumen autorizado.

Tabla 5-18 Cumplimiento de la resolución 2102 de 2008.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR ANUAL	UNIDAD	VALOR
Vertimiento anual (producción 245 KBPD)	m3/año	4.665.600,00	m3/hora	540,00
Vertimiento autorizado resolución 2102 de 2008	m3/año	4.860.000,00	m3/hora	562,5
Margen de cumplimiento	m3/año	194.400,00	m3/hora	22,50

Fuente: Concol by WSP, 2019.

ii. Costos de la medida de manejo ambiental

La internalización del impacto “Alteración de las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial” se da en términos de las inversiones proyectadas de la implementación de la medida de manejo “OP-MA-3 Manejo de aguas residuales industriales y domésticas”, las cuales al ejecutarse contribuyen a prevenir y corregir el impacto causado sobre el medio. A continuación, se relacionan los costos incurridos en la internalización del impacto.

Tabla 5-19 Costos incurridos en la implementación de la medida de manejo

COSTOS AMBIENTALES ANUALES			
NOMBRE	CTi	COi	CPI
OP-MA-3 Manejo del recurso hídrico	\$ 0,00	\$ 2.803.982.212	\$ 4.454.039.578

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Adicionalmente, se realiza una proyección temporal para un horizonte de análisis de treinta (30) años, tiempo estimado para que se realice una ampliación de sus procesos operativos en la refinería de Cartagena. Cabe resaltar que esta proyección está basada en los costos anuales estimados en la implementación de la medida de manejo ambiental aplicando una Tasa Social de Descuento-TDS del 12% anual, donde se obtuvo que el Valor Presente Neto-VPN de las inversiones es de \$ 58.464.700.760 pesos, los resultados se evidencian en la Tabla 5-20.

Con el fin de dar cumplimiento al requerimiento No 6 “ajustar el flujo de costos y beneficios, los indicadores económicos y el análisis de sensibilidad para la presente modificación de acuerdo con la temporalidad de las obras y de los efectos sobre el ambiente y la sociedad”, presentado por la autoridad ambiental, se inicia la proyección temporal y estimación del valor presente neto VPN de los costos desde el año cero.

Tabla 5-20 Proyección temporal y estimación del Valor Presente Neto-VPN de los costos

Impacto negativo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
Alteración de las características físicoquímicas y bacteriológicas del agua superficial	\$ 0	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790
	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9
	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790
	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14
	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790
	Año 15	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19
	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790
	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24
	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790
	Año 25	Año 26	Año 27	Año 28	Año 29
	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790	\$ 7.258.021.790
	Año 30	VPN			
	\$ 7.258.021.790	\$ 58.464.700.760			

Fuente: Concol by WSP, 2019.

5.2.4 Impactos No Internalizables

Según Dixon y Pagiola (1998), citado por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) (MADS & ANLA, 2017), la evaluación ambiental de un proyecto, obra o actividad costa de dos etapas: la primera encaminada a identificar y conocer sus impactos ambientales significativos no internalizables, y la segunda orientada a estimar el valor de estos impactos, en términos monetarios, y así determinar su importancia económica relativa. Para determinar el método de valoración económica más adecuado para cada impacto se hace necesario analizar el contexto de la Refinería de Cartagena.

La monetización de los impactos relevantes, se realiza dando especial énfasis a la consistencia a lo largo de todo el análisis de los impactos y teniendo en cuenta la temporalidad de dichos impactos; es importante precisar que según la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA (MADS & ANLA, 2017), en su documento titulado “*Criterios Técnicos para el uso de herramientas económicas en los proyectos, obras o actividades objeto de licenciamiento ambiental*”, los impactos no internalizables son todos aquellos impactos que no pueden controlarse en un 100% mediante las medidas de manejo de prevención o corrección.

Los resultados del análisis de residualidad (título 5.2.2) señalan un (1) impacto como no internalizable, presentado en la Tabla 5-21 estableciendo la metodología para su valoración económica o monetización.

Tabla 5-21 Metodologías propuestas para la valoración económica ambiental de impactos negativos residuales

IMPACTO	NATURALEZA DEL IMPACTO	VALOR DE USO DIRECTO	VALOR DE USO INDIRECTO	VALOR DE OPCIÓN	VALOR DE NO USO
Modificación de la calidad del hábitat acuático	NEGATIVO (-)	Cambios en la productividad	-	-	-

Fuente: Concol by WSP, 2019.

5.2.4.1 Valoración económica de los impactos negativos

Identificado el impacto socioambiental objeto de valoración económica, se procedió a estimar el valor económico del efecto causado en el medio. Para este alcance cada impacto es descrito, dimensionado, monetizado y proyectado temporalmente.

5.2.4.1.1 Modificación de la calidad del hábitat acuático

Teniendo presente que desde la evaluación ambiental el impacto es calificado como negativo, de nivel de importancia “localizado”, una probabilidad de ocurrencia “C” y una significancia ambiental “media”, y a su vez que en el proceso de evaluación de las medidas preventivas adoptadas para el manejo del recurso hídrico -evidenciado en el análisis de residualidad del ítem 5.2.2, con la capacitación y señalización no se logra disminuir, corregir o prevenir su afectación sobre los recursos hidrobiológicos y aguas superficiales, debido a que presentan un tiempo de recuperación después de la aplicación de la medida del largo plazo y una efectividad de la misma en un nivel bajo, por lo tanto, es un impacto objeto de valoración económica.

La generación y posterior manejo de las aguas residuales presenta un potencial impacto sobre la calidad del hábitat acuático, dado que dichas aguas se vierten sobre la bahía de Cartagena en su etapa final. La unidad de tratamiento de aguas residuales U-143, cuenta con una capacidad para manejar 814 gal/min en época seca y 1716 gal/min en época de lluvia, trata los efluentes provenientes de las unidades de proceso y las aguas lluvias potencialmente contaminadas, que constan de aguas residuales y aguas aceitosas. Estas aguas tratadas son vertidas a la bahía de Cartagena modificando los parámetros fisicoquímicos o los componentes biológicos afectando las poblaciones acuáticas presentes, por lo tanto, los servicios ambientales afectados se estiman partir de la reducción de poblaciones peces y crustáceos, importantes en las actividades económicas de las comunidades cercanas.

En escenario de capacidad de carga actual (165 KBPD) se realiza un vertimiento anual de 2.648.834,9 m³, no obstante, en el escenario futuro estimada para carga máxima de 245 KBPD se estima un vertimiento máximo de 4.665.600 m³ anuales o 540 m³/hora. La resolución 2102 del 28 de noviembre de 2008, autoriza un vertimiento máximo de 562,5 m³/h, por lo tanto, se puede concluir que el sistema de tratamiento de aguas (U-143) garantizará que las características fisicoquímicas del agua vertida estarán dentro de los límites permitidos por la normatividad ambiental.

Considerando el desarrollo de las actividades humanas y su efecto sobre la bahía de Cartagena, el escenario actual de los ecosistemas acuáticos no se encuentra en un estado “óptimo” de calidad del hábitat para la biota acuática. Cabe aclarar que dicha alteración no se presenta únicamente por la actividad de la refinería, ya que en los puntos que han sido objeto de monitoreo confluyen aguas de la actividad industrial de la zona de Mamonal en general.

i. Dimensionamiento del impacto

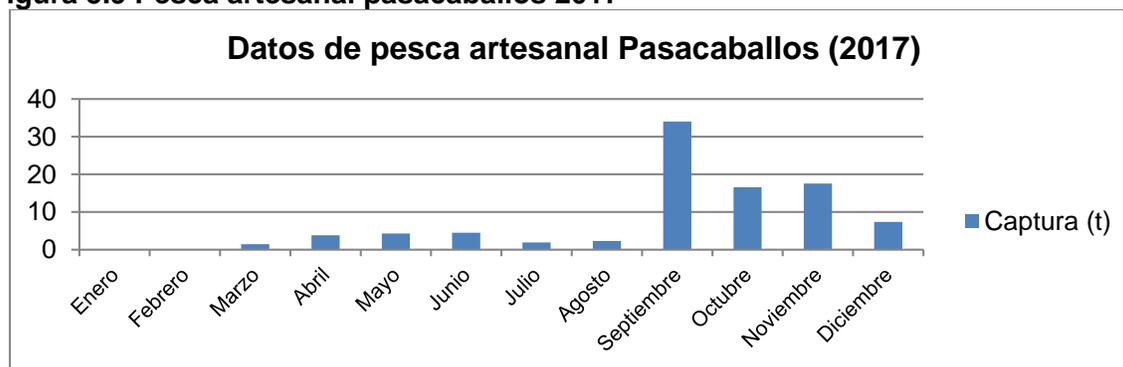
El vertimiento autorizado tiene un efecto acumulativo por su frecuencia y ocurrencia con otras actividades antrópicas que actualmente se desarrollan en el área de influencia, no obstante, considerando la baja calidad del recurso hídrico en la zona, este ecosistema estuarino y sus comunidades bióticas, son altamente vulnerables a las fluctuaciones y efectos generados por la contaminación de diversos orígenes (doméstico, industrial y comercial).

La calidad del hábitat para la biota acuática depende de la interacción entre las variables bióticas y abióticas. De este modo, cuando se produce una modificación ya sea en los parámetros fisicoquímicos del ecosistema, consecuentemente, se pueden generar cambios en la composición y estructura de los ensamblajes acuáticos, hasta el punto de generar una disminución en las poblaciones de peces y crustáceos de la bahía que afecta económicamente las actividades de sus pobladores.

ii. Peces

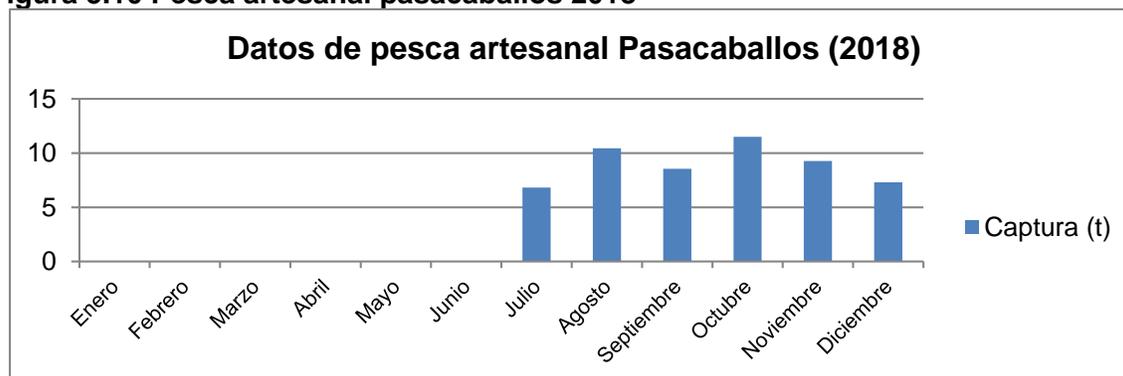
Con base en los datos registrados por el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano-SEPEC (MINAGRICULTURA), se obtiene la producción mensual en toneladas de la actividad pesquera de la bahía de Cartagena que desembarca en pasacaballos. Con estos datos, se estima la producción media mensual y a partir de ello, se determina la disminución en la productividad de la actividad pesquera, como un estimativo de la reducción en las poblaciones de peces en la bahía de Cartagena. La producción mensual se presenta en la Figura 5.9 y Figura 5.10.

Figura 5.9 Pesca artesanal pasacaballos 2017



Fuente: Fuente: Concol by WSP, 2019, con datos de (MINAGRICULTURA-SEPEC, 2018).

Figura 5.10 Pesca artesanal pasacaballos 2018



Fuente: Concol by WSP, 2019, con datos de (MINAGRICULTURA-SEPEC, 2018).

La producción mensual hace referencia a la pesca artesanal marina realizada en la ciudad de Cartagena con sitio de desembarco en pasacaballos. Para el año 2017, el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano-SEPEC (MINAGRICULTURA) cuenta con registros desde marzo hasta diciembre., a partir de ello, se estima una producción promedio mensual de 9,39 toneladas para el año 2017, adicionalmente, para el año 2018, se cuentan con registros desde julio hasta diciembre, sobre los cuales se promedia una producción de 8,99 toneladas. Los resultados indican que el año 2018 presenta una producción proporcional al 96% con respecto al año anterior, como se evidencia en la Tabla 5-22.

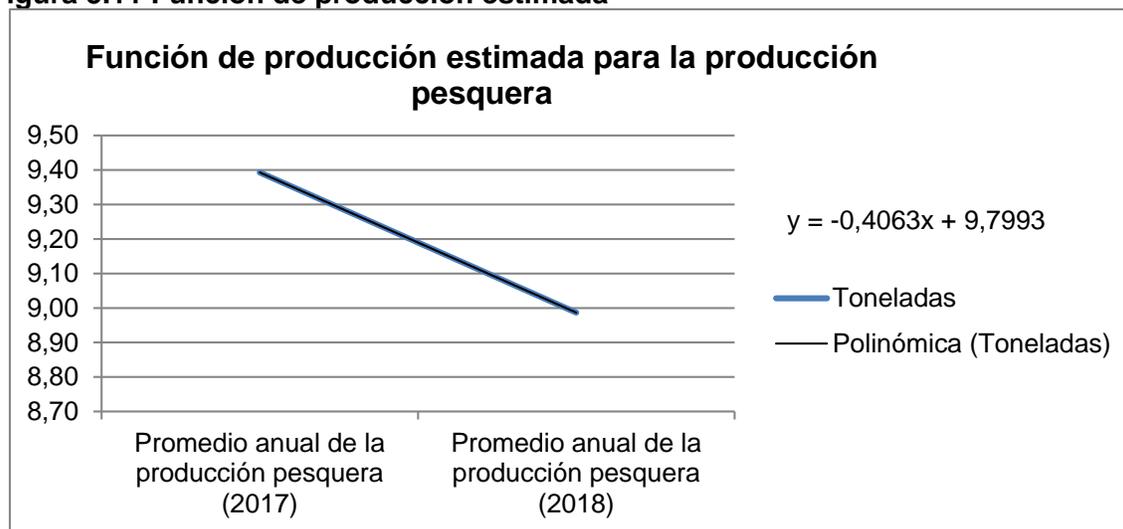
Tabla 5-22 Proporción de la pesca artesanal entre el 2015 y 2016

Descripción	Toneladas
Promedio anual de la producción pesquera (2017)	9,39
Promedio anual de la producción pesquera (2018)	8,99
Proporción en la producción del 2018 con respecto al 2017	96%
Reducción de la producción promedio de pescado	0,41

Fuente: Concol by WSP, 2019, con datos de (MINAGRICULTURA-SEPEC, 2018).

El cambio en la producción pesquera en la bahía de Cartagena está dado por la función $y = -0,4063x + 9,7993$ (función polinómica de grado 2), la cual, relaciona la disminución en la producción promedio anual, dados los cambios en las condiciones fisicoquímicas causadas por los vertimientos de residuos líquidos industriales (ver Figura 5.11).

Figura 5.11 Función de producción estimada



Fuente: Concol by WSP, 2019.

Para aproximar la producción promedio actual pesquera en la bahía de Cartagena, se emplea la función de producción. Sobre esta se proyecta la producción promedio mensual del año 2019, la cual, permite establecer producciones y determinar así diferencias anuales. De este modo, se calcula una producción aproximada de 8,58 toneladas, representando así una disminución de 0,41 toneladas para 2019. Los resultados se evidencian en la Tabla 5-23.

Tabla 5-23 Proyecciones de producción con la función de producción estimada

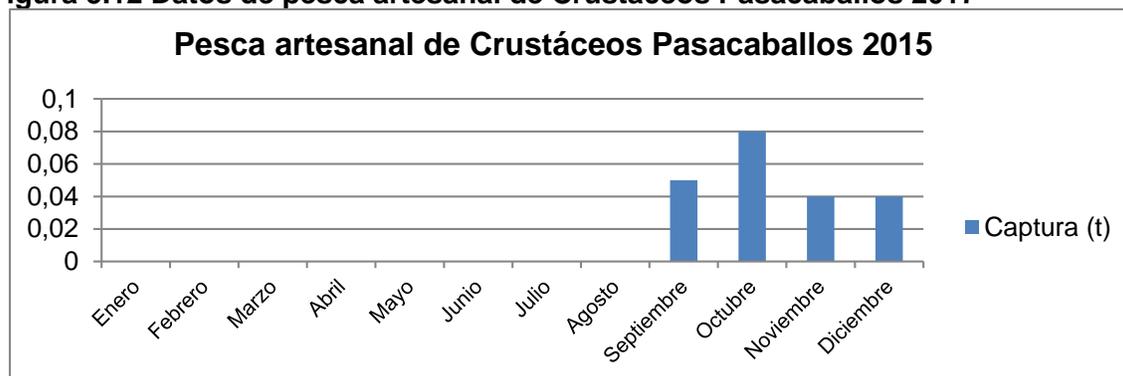
Descripción	Toneladas
Promedio anual de la producción pesquera (2018)	8,99
Promedio anual de la producción pesquera (2019)	8,58
Proporción en la producción año 2019	95%
Reducción de la producción promedio de pescado para el año 2019	0,41

Fuente: Concol by WSP, 2019.

iii. Crustáceos

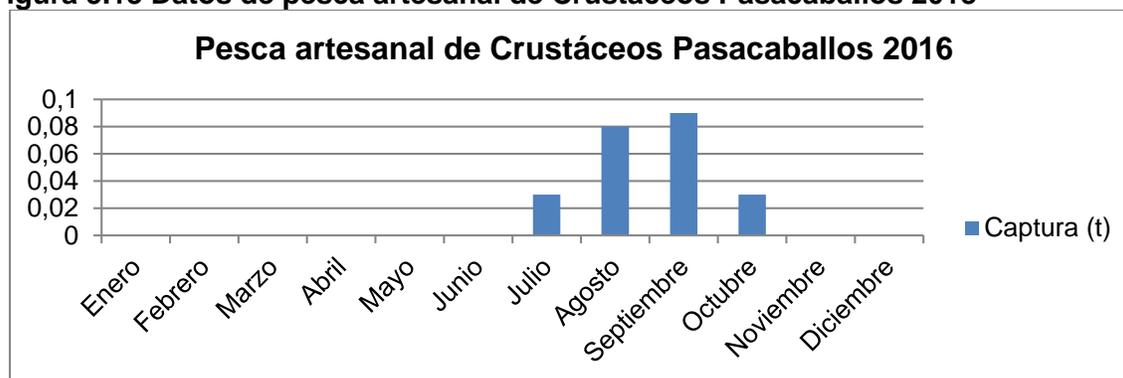
Igualmente, con base en los datos del Servicio Estadístico Pesquero Colombiano-SEPEC (MINAGRICULTURA), en los cuales se registra la producción de crustáceos (toneladas/mensuales) por pesca artesanal que desembarca en pasacaballos, se establece la tendencia en la producción anual, para los años 2017 y 2018 (MINAGRICULTURA-SEPEC, 2018). Los registros mensuales se observan en la Figura 5.12 y Figura 5.13.

Figura 5.12 Datos de pesca artesanal de Crustáceos Pasacaballos 2017



Fuente: Concol by WSP, 2019, con datos de (MINAGRICULTURA-SEPEC, 2018).

Figura 5.13 Datos de pesca artesanal de Crustáceos Pasacaballos 2018



Fuente: Concol by WSP, 2019, con datos de (MINAGRICULTURA-SEPEC, 2018).

Para el año 2017, el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano-SEPEC (MINAGRICULTURA) cuenta con registros desde septiembre hasta diciembre., a partir de ello, se estima una producción promedio mensual de 0,053 toneladas para el año 2017, ahora, para el año 2018, se cuentan con registros desde julio hasta diciembre, sobre los cuales se promedia una producción de 0,038 toneladas. De esta manera, se establece que la producción del año 2018 es el 73% con respecto al año anterior, tal como se evidencia en la Tabla 5-24.

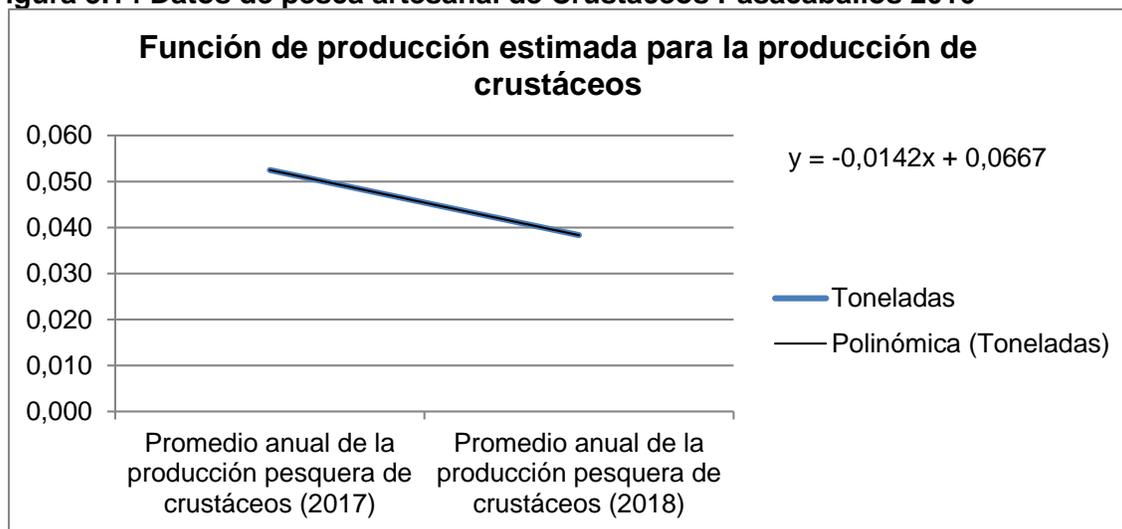
Tabla 5-24 Proporción de la pesca artesanal de crustáceos entre el 2015 y 2016

Descripción	Toneladas
Promedio anual de la producción pesquera de crustáceos (2017)	0,053
Promedio anual de la producción pesquera de crustáceos (2018)	0,038
Proporción en la producción de crustáceos del 2018 con respecto al 2017	73%
Reducción de la producción	0,014

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Función de producción está dada por $y = -0,0142x + 0,0667$ (función polinómica de grado 2), la cual, relaciona las disminuciones en la producción promedio de crustáceos, dados los cambios en las condiciones fisicoquímicas causadas por los vertimientos de residuos líquidos industriales (ver Figura 5.14).

Figura 5.14 Datos de pesca artesanal de Crustáceos Pasacaballos 2016



Fuente: Concol by WSP, 2019.

Para aproximar la producción actual de crustáceos en la bahía de Cartagena, se emplea la función de producción, sobre la cual se proyecta el año 2019, con el objetivo de establecer o predecir las producciones y así poder comparar las diferencias anuales. De esta manera, en el año 2019 se estima una producción de 0,024 toneladas promedio mensuales, que representan una disminución de 0,014 toneladas con respecto al año 2018. Los datos se presentan en la Tabla 5-25.

Tabla 5-25 Proyecciones de producción de crustáceos para el año 2018

Descripción	Toneladas
Promedio anual de la producción pesquera de crustáceos (2018)	0,038
Promedio anual de la producción de crustáceos (2019)	0,024
Proporción en la producción año 2019	63%
Reducción de la producción promedio de crustáceos para el año 2019	0,014

Fuente: Concol by WSP, 2019.

iv. Monetización del impacto

En la valoración económica de este impacto se emplea el método de precios de mercado por cambios en la productividad, el cual tiene como objetivo estimar el valor de la contaminación por vertimientos a la bahía de Cartagena, por medio de una relación entre el cambio en las características fisicoquímicas de la bahía y su repercusión en la producción pesquera con su incidencia sobre la biota acuática.

El Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto De Construcción y Operación de Plantas Nuevas en la Refinería de Cartagena por Adición del Terminal Portuario en 2010, indica que las jornadas de pesca con anzuelo oscilan entre 7 a 12 horas, obteniendo cada pescador un promedio de captura diaria de 5 kilos de pescado de las especies pargo rojo, cojinua, baracuda, cubia, entre otros.

v. Peces

Para realizar la monetización del impacto se emplearon los precios comerciales de la especie pargo rojo, dado que es una de las más representativa y la que tiene precios registrados por el DANE en su boletín semanal de precios mayoristas en la ciudad de Cartagena, más específicamente en la plaza de mercado de Bazurto, entre el 23 al 29 de marzo de 2019 (DANE-Boletín Semanal, 2019) (ver Tabla 5-26).

Tabla 5-26 Precios del pescado en la ciudad de Cartagena

Precios del pescado en la ciudad de Cartagena	Precio Kilógramo (2019)		
	Mínimo	Máximo	Medio
Pargo rojo	\$ 20.000,00	\$ 24.000	\$ 22.000,00

Fuente: Concol by WSP, 2019 con base en precios del (DANE-Boletín Semanal, 2019).

vi. Crustáceos

Por otra parte, los precios de comercialización de crustáceos se estiman en 35.962,02 pesos el kilógramo, según lo reportado por Indexmundi (Indexmundi, 2018), el cual registra los precios mensuales de lo corrido del año 2018 hasta el mes de Abril; presentando un valor promedio de 35.962,02 pesos, el cual fue actualizado a precios 2019 utilizando el IPC año corrido.

Tabla 5-27 Precio del Kilógramo de camarón

Mensual	Precio
ene. 2018	\$ 35.475,72
feb. 2018	\$ 36.412,33
mar. 2018	\$ 36.472,75
abr. 2018	\$ 35.487,27
Promedio 2018	\$ 35.962,02
Precio promedio 2019 proyectado	\$ 36.839,49

Fuente: (Indexmundi, 2018)

Con base en las reducciones de producción establecidas y los precios de mercado para peces y camarones para la bahía de Cartagena. Se obtiene un valor por el impacto en el cambio en la productividad pesquera \$107.254.400,00 pesos, considerando una disminución de 4.875,20⁷ kilogramos a un precio comercial de \$ 22.000 pesos el kilógramo. Por su parte, el valor del cambio en la producción de camarones se estima en 6.292.185,02 pesos, considerando una reducción de 170,80 kilogramos al año y un precio promedio de comercialización de 36.839,49⁸, por lo tanto se estima que la valoración económica de la modificación de la calidad del hábitat acuático alcanza una cuantía de \$113.546.585,02 pesos anuales, como se evidencia en la Tabla 5-28.

⁷ Resulta de la reducción en la producción de peces expresada en kilogramos.

⁸ Resultado de la reducción en la producción de crustáceos expresada en kilogramos.

Tabla 5-28 Monetización del impacto modificación de la calidad del hábitat acuático

Descripción	Unidad	Valor
Reducción de la producción promedio de pescado para el año 2019	Toneladas	0,41
Reducción de la producción promedio de pescado para el año 2019	Kilogramos	406,27
Reducción de la producción anual de pescado para el año 2019	Kilogramos	4.875,20
Precio promedio del pescado comercializado en la Ciudad de Cartagena	Pesos/Kilogramo	\$ 22.000
Valoración económica del cambio en la productividad de la producción de peces	Pesos/año	\$ 107.254.400
Reducción de la producción promedio de crustáceos para el año 2019	Toneladas	0,014
Reducción de la producción promedio de crustáceos para el año 2019	Kilogramos	14,23
Reducción de la producción anual de crustáceos para el año 2019	Kilogramos	170,80
Precio promedio de los crustáceos comercializados en la Ciudad de Cartagena año 2019	Pesos/Kilogramo	36.839,49
Valoración económica del cambio en la productividad de la producción de crustáceos	Pesos/año	6.292.185,02
Valoración económica del cambio en la productividad pesquera	Pesos/año	113.546.585,02

Fuente: Concol by WSP, 2019.

vii. Costo de oportunidad del empleo

La modificación en los parámetros fisicoquímicos del ecosistema acuático, consecuentemente, genera cambios en la composición y estructura de los ensamblajes acuáticos, afectando la economía de los pescadores locales que dependen de esta actividad como su principal fuente de ingresos.

Cabe resaltar, que, dada a la poca información y la incertidumbre de la misma, frente al mercado laboral, se tomó como referencia lo registrado en el Ministerio de Agricultura y desarrollo rural junto al INCODER – Instituto Colombiano de Desarrollo Rural de 344 pescadores en la ciudad de Cartagena en 2005.

Tabla 5-29 Número de pescadores en Cartagena según el Ministerio de Agricultura y desarrollo rural junto al INCODER – Instituto Colombiano de Desarrollo Rural

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Número de pescadores en Cartagena el Ministerio de Agricultura y desarrollo rural junto al INCODER – Instituto Colombiano de Desarrollo Rural	Unidad	344

Fuente: INCODER, 2005., citado en el Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Construcción y Operación de Plantas Nuevas en la Refinería de Cartagena por Adición del Terminal Portuario.

Los datos registrados por Araujo Ibarra & Asociados S.A en 2008 indican que en el área de la bahía de Cartagena realizan la actividad cuatro (4) pescadores, que se presume serían los afectados en su actividad económica por la disminución de la producción pesquera, como se evidencia en la Tabla 5-30.

Tabla 5-30 Área de pesca

NÚMERO DE PESCADORES	ÁREA DE PESCA
326	Mar caribe
7	Canal del dique
4	Isla fuerte
4	Bahía de Cartagena
3	Depresión momposina

Fuente: Araujo Ibarra & Asociados S.A., 2008. Estudio socioeconómico de la Bahía de Cartagena.

Para dar robustez y validar el dato anterior, se realizó una aproximación empleando la producción diaria por pescador registrada en el “Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Construcción y Operación de Plantas Nuevas en la Refinería de Cartagena por Adición del Terminal Portuario en 2010”, estimada en cinco (5) Kilogramos y la disminución en la producción mensual de peces y crustáceos estimada en kilogramos. Donde se obtiene un número aproximado de cuatro (4) pescadores, que se ven afectados ante una disminución de la producción.

Tabla 5-31 Pescadores afectados por la disminución en la población de peces y crustáceos

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Disminución en la producción anual total de peces y crustáceos	Kilogramo/año	5.046,00
Disminución en la producción mensual total de peces y crustáceos	Kilogramo/mes	420,50
Producción total por pescador mensual	Kilogramo/mes	100
Número de pescadores afectados por la disminución en la población de peces y crustáceos	Unidad	4,2

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Por otra parte, como base de cálculo se emplea el ingreso neto promedio de los pescadores locales bajo métodos artesanales, establecido en \$ 489.747,00 pesos por el INPA, 2005 citado en el “Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Construcción y Operación de Plantas Nuevas en la Refinería de Cartagena por Adición del Terminal Portuario, 2010”, o \$ 854.713,70 pesos actualmente, proyectado utilizando las variaciones anuales del IPC. Los resultados se evidencian en la Tabla 5-32.

Tabla 5-32 Ingreso diario promedio del pescador

INGRESO NETO PROMEDIO POR PESCADOR		
ARTE DE PESCA	DIARIO	MENSUAL
NYLON	\$ 7.591,00	\$ 151.828,00
ATARRAYA	\$ 37.436,00	\$ 748.720,00
TRASMAYO	\$ 15.152,00	\$ 303.040,00
ARPON	\$ 37.770,00	\$ 755.400,00
PROMEDIO 2005		489.747,00
PROMEDIO 2019		\$ 854.713,70

Fuente: Concol by WSP, 2019., con datos INPA, 2005 citados en el Estudio de Impacto Ambiental para la Modificación de la Licencia Ambiental del Proyecto de Construcción y Operación de Plantas Nuevas en la Refinería de Cartagena por Adición del Terminal Portuario, 2010.

Utilizando Ingreso neto promedio por pescador y el número de pescadores afectados por la

diminución en la población de peces y crustáceos, se estima que el costo de oportunidad por pérdida de empleo de los pescadores locales es de \$ 75.269.111,43 pesos. Los resultados se observan en la Tabla 5-33.

Tabla 5-33 Costo de oportunidad del empleo en la actividad pesquera

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Número de pescadores afectados por la disminución en la población de peces y crustáceos	Unidad	4
Ingreso neto por pescador	Pesos/mensuales	\$ 854.713,70
Costo de oportunidad del empleo mensual	Pesos/mensuales	\$ 3.594.071,10
Costo de oportunidad del empleo anual (2005)	Pesos/anuales	\$ 43.128.853,14
Costo de oportunidad del empleo en la actividad pesquera anual (2019)	Pesos/anuales	\$ 75.269.111,43

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Para establecer el valor económico del impacto “Modificación de la calidad del hábitat acuático” se realiza la suma de los valores obtenidos por el cambio en la productividad pesquera y el costo de oportunidad del empleo en la actividad pesquera local, donde se obtiene un valor consolidado de \$ 188.815.696,44 pesos, como se evidencia en la Tabla 5-34.

Tabla 5-34 Consolidado del valor económico de modificación de la calidad del hábitat acuático

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Valoración económica del cambio en la productividad pesquera	Pesos/año	\$ 113.546.585,02
Costo de oportunidad del empleo en la actividad pesquera anual (2019)	Pesos/año	\$ 75.269.111,43
Valor económico por el impacto Modificación de la calidad del hábitat acuático	Pesos/año	\$ 188.815.696,44

Fuente: Concol by WSP, 2019.

5.2.4.2 Valoración económica de impactos positivos

Los beneficios biofísicos y socioeconómicos son los que se pueden causar durante la ejecución del proyecto, considerando su efecto a escala local y regional; de esta manera el impacto positivo seleccionado para el análisis económico es "Cambio en la dinámica del empleo". En la Tabla 5-35 se plantea la metodología para su valoración económica o monetización.

Tabla 5-35 Metodologías propuestas para la valoración económica ambiental beneficios del proyecto

IMPACTO	NATURALEZA DEL IMPACTO	VALOR DE USO DIRECTO	VALOR DE USO INDIRECTO	VALOR DE OPCIÓN	VALOR DE NO USO
Cambio en la dinámica del empleo	POSITIVO (+)	Precios de mercado Costo de oportunidad	-	-	-

Fuente: Concol by WSP, 2019.

5.2.4.2.1 Cambio en la dinámica del empleo

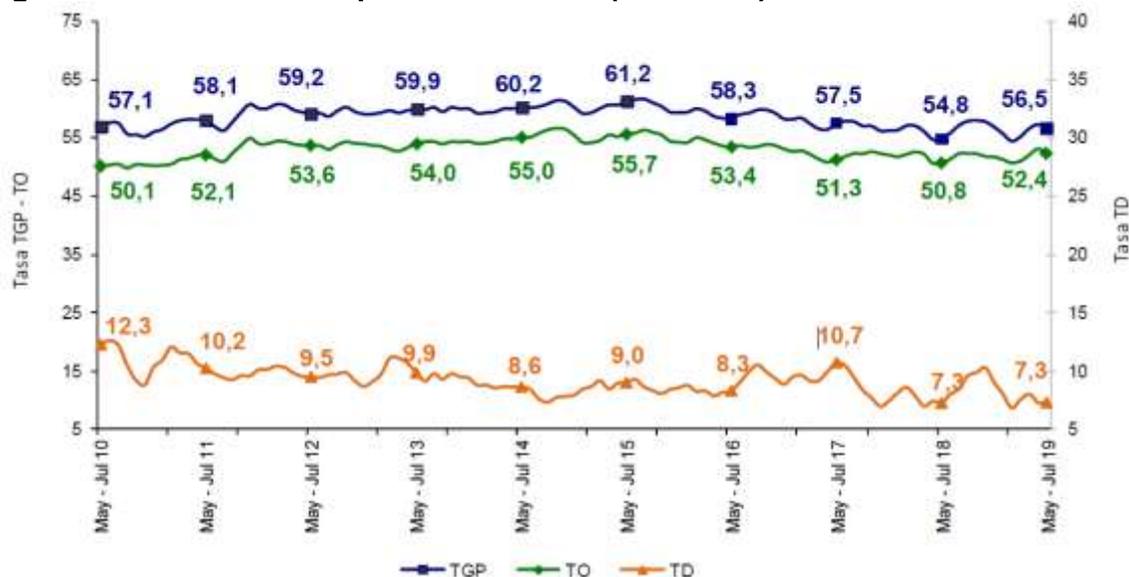
Este impacto positivo, se define para el escenario actual, como la generación de oportunidades laborales con ocasión de las necesidades de contratación de mano de obra para la ejecución de actividades administrativas y operación de los procesos productivos de la refinería de Cartagena, correspondiente a la construcción de las facilidades adicionales y el aumento de producción; siendo así evaluado como positivo y de significancia “baja”, debido a que presenta dentro de sus atributos una importancia ambiental de “localizado” asociado a una probabilidad de ocurrencia B (poco probable que ocurra de 21 a 40). Por otra parte, para el desarrollo de esta valoración económica se consideran los empleos generados y el costo de oportunidad que presenta la población local al migrar o acceder al empleo.

Sus efectos se manifiestan sobre el medio socioeconómico y cultural, en el elemento de procesos productivos, del componente de la dimensión económica, producto del desarrollo la demanda de empleo para realizar las actividades administrativas y productivas. Se considera un impacto socio-ambientalmente positivo, dado que tiene un efecto dinamizador en la economía local que mejora la condición de vida de las personas y familias en las cuales labora por lo menos uno de sus miembros.

En la valoración económica del impacto “cambio en la dinámica del empleo” se considera el empleo a generarse con la construcción y operación adicional de la refinería de Cartagena, la cual es el objeto de la presente solicitud de modificación de licencia. Lo anterior, considerando que dicho beneficio causado con el empleo es de gran importancia, dado que ocasiona un mejoramiento en la calidad de vida de sus empleados y dinamiza la economía a nivel regional. La presente modificación de licencia ambiental pretende aumentar la capacidad de carga máxima actual de 165 KBPD (escenario actual) hasta una carga máxima estimada de 245 KBPD (escenario futuro), que no implica cambios significativos ni actividades constructivas de gran envergadura.

Según Puello en 2009 la industria petroquímica aporta aproximadamente un 38% de la producción total y genera un 10% del total de puestos de trabajo de la ciudad (Puello, 2009), En este sentido (Acosta, 2012), menciona al sector petroquímico como uno de los principales dinamizadores del empleo con el 33%. Los datos anteriores toman importancia al revisar el contexto nacional colombiano, dado que se registra una tasa de desempleo cercana a 10,4% y para la ciudad de Cartagena del 8.1% para el primer trimestre de 2018. Dichas tasas de desempleo representan un reto para gobierno nacional debido a que debe garantizar empleo para toda la población activa. Para su reducción se hace importante el crecimiento y consolidación del sector privado, como eje fundamental de la generación de puestos de trabajo. En la Figura 5.15 se evidencia el histórico de las tasas de desempleo, mostrando una leve inclinación a su reducción, pasando de 12.3% en 2010 a un 7,3% en mayo de 2019, que revelan el compromiso constante del gobierno en su reducción.

Figura 5.15 Tasa de desempleo en Colombia (2010-2019)



Fuente: (DANE, 2019)

Con base en lo referenciado anteriormente, la refinería de Cartagena se convierte en una gran fuente de empleo regional, debido a su tamaño, capacidad productiva y su carácter dinamizador la economía, de tal manera, que al aumentar la capacidad adquisitiva de bienes y servicios de las familias impacta en otros sectores de la económica, como los servicios, agrícola, tecnología, etc.

viii. Dimensionamiento del impacto.

Considerando lo anterior y tomando como base la información suministrada por la refinería de Cartagena, se establece que los empleos a generarse con la presente modificación de licencia ascienden a 10 para profesionales, 46 para supervisores – técnicos y 320 para otros cargos, estos correspondiente a la mano de obra a requerir para la construcción de las facilidades adicionales a licenciar, con la presente modificación de licencia. No obstante, es de resaltar que dichas plazas laborales pueden tender a aumentar, dado que en este momento no se puede estimar el empleo a causar con la operación, debido a la incertidumbre que existe (ver Tabla 5-36).

Tabla 5-36 Personal a emplearse en la Refinería de Cartagena, con la modificación de licencia

TIPO DE CONTRATACIÓN	CARGO	NÚMERO TOTAL DE EMPLEADOS
Contratistas Ecopetrol	Profesionales	10
	Supervisores - técnicos	46
	Otros cargos	320

Fuente: (Refinería de Cartagena S.A.S, 2018); Concol by WSP, 2018.

Cabe resaltar que teniendo en cuenta que Criterios Técnicos para el Uso de Herramientas Económicas en los Proyectos, Obras O Actividades Objeto de Licenciamiento Ambiental considera los beneficios que se generan a nivel local, el Informe de gestión sostenible de

2016 y el reporte integrado de Gestión Sostenible 2017, establecen la relación de empleo y la procedencia de sus empleados, de esta manera, se obtuvo el porcentaje de empleados de la ciudad de Cartagena, Bolívar y la región Caribe, con el fin de establecer una relación porcentual precisa de la generación de empleo local (MADS & ANLA, 2017). Para el año 2016 se obtuvo una relación de 96% y para el año 2017 una relación de 93% de generación de empleo local, por lo tanto, para los cálculos de generación de empleo local se manejará un promedio de 95%, que afectan el total de empleo generado, los resultados se evidencian en la Tabla 5-37.

Tabla 5-37 Empleo para generado para la región

REGIÓN	TOTAL 2016	PORCENTAJE (%)	TOTAL 2017	PORCENTAJE (%)
Empleados de Cartagena	4153	88	2772	86
Empleados de Bolívar	324	7	133	4
Empleados de la Región Caribe	71	1	84	3
Empleo total anual	4741	96	3219	93

Fuente: Concol by WSP, 2018, con información de (Refinería de Cartagena S.A.S, 2016)& (Refinería de Cartagena S.A.S, 2017).

Con base en el empleo regional generado (95%) se establecen los empleos locales causados con la presente modificación de licencia, donde se determina que el empleo a otorgarse corresponde a 10 contratistas profesionales, 44 supervisores y técnicos y 304 en otros cargos (ver Tabla 5-38).

Tabla 5-38 Empleados locales a generarse en la Refinería de Cartagena, con la modificación de licencia

TIPO DE CONTRATACIÓN	CARGO	NÚMERO TOTAL DE EMPLEADOS	NÚMERO DE EMPLEADOS LOCALES (95%)
Contratistas Ecopetrol	Profesionales	10	10
	Supervisores - técnicos	46	44
	Otros cargos	320	304
TOTAL		376	357

Fuente: (Refinería de Cartagena S.A.S, 2018); Concol by WSP, 2019.

ix. Monetización del impacto.

Para su valoración se aplicó el método de precios de mercado y costo de oportunidad del empleo; utilizando así los precios de mercado de los salarios de la refinería y contratistas locales, con los cuales se considera a su vez la población empleada y desempleada de la región. Los salarios empleados para el cálculo del beneficio se estiman con base en la información suministrada por el departamento de HSE de la Refinería de Cartagena, la cual indica los cargos, número de personas y salarios mensuales. De este modo, con dicha información se establecieron tres (3) grupos salariales, esto por medio de criterios como nivel educativo y cargo desempeñado (Contratistas profesionales, supervisores - técnicos y otros cargos), con el fin de consolidar el gran volumen de información. La descripción de cada grupo se presenta a continuación.

Contratistas Profesionales: Son los que desempeñan labores que requieren formación educativa universitaria o con posgrado, tienen un alto grado de responsabilidad y devengan un mejor salario. Entre estos se destacan, profesional, profesional en entrenamiento, junior profesional pleno.

Contratistas Supervisores – técnicos: Son los que cuentan con una formación académica media como técnicos o tecnólogos, en muchos casos pueden estar cursando educación universitaria, generalmente, tienen un nivel jerárquico medio, entre estos se destacan supervisores, técnicos y analistas.

Contratistas Otros cargos: Son los que requieren un nivel de formación académica menor, generalmente, realizan actividades mecánicas o labores más sencillas y presentan un salario más bajo. Entre los cargos se destacan, radioperador, auxiliares, apoyos, cocineros, conductor, escolta, mensajero y vigilante.

De esta manera, se establece que para el año 2018 en la refinería de Cartagena, Ecopetrol S.A. como operadora, contaba con contratistas profesionales que devengaban un promedio salarial anual de \$ 63.283.564,60 pesos; supervisores y técnicos con un promedio salarial anual de \$ 32.790.219,21 pesos y en otros cargos que devengan un promedio salarial anual de \$ 19.929.865,55 pesos.

En el Informe de Gestión Sostenible del 2016, de la refinería de Cartagena, se resalta que se han venido implementando políticas y procedimientos asegurando la calidad de vida de los empleados y sus familias, con ingresos competitivos frente al mercado referente, de esta manera, se ha plasmado cuatro niveles de referencia: Alta gerencia, gerencia media, profesional de soporte y operativo, donde se observa una relación que corresponde a 2.7 veces de distancia salarial fija, exceptuando el nivel operativo que presenta una distancia de 4 veces el promedio del profesional de soporte. (Refinería de Cartagena S.A.S, 2016).

En este sentido, con base en los empleos generados con las obras de construcción de la refinería, las cuales son objeto de la presente modificación de licencia, se proyectó el presupuesto en salarios totales, este desarrollado en función del número de empleados por cargo y el salario anual promedio devengado. Lo anterior, generando un monto en beneficios anuales brutos de \$ 8.092.805.571,10 pesos (ver Tabla 5-39).

Tabla 5-39 Beneficios anuales brutos por generación de empleo

TIPO DE CONTRATACIÓN	CARGO	NÚMERO DE EMPLEADOS	SALARIO PROMEDIO ANUAL	BENEFICIOS ANUALES BRUTOS
Contratistas Ecopetrol S.A.	Profesionales	10	\$ 63.283.564,60	\$ 601.193.863,67
	Supervisores - técnicos	44	\$ 32.790.219,21	\$ 1.432.932.579,66
	Otros cargos	304	\$ 19.929.865,55	\$ 6.058.679.127,76
Estimación bruta del empleo generado				\$ 8.092.805.571,10

Fuente: (Refinería de Cartagena S.A.S, 2018); Concol by WSP, 2019.

No obstante, comprendiendo la dinámica del mercado laboral en el país, se realizó un análisis en el cual se contempla el costo de oportunidad en el que incurre a la hora de tomar dicho empleo generado por el proyecto: modificación a la licencia ambiental de Refinería de Cartagena S.A.S, De esta manera partiendo del benéfico bruto generado por el empleo,

el cual alcanzo \$ 8.092.805.571,10 de pesos (ver Tabla 5-39).

Dicho costo de oportunidad se enmarca en el desarrollo de la aplicabilidad tasas diferenciales, las cuales se contrastan en la dependencia de qué tipo de mano de obra se contrata – que para efectos de este estudio es considerada para contratistas como mano de obra calificada o formada los profesionales y supervisores - técnicos y no calificada o no formada los otros cargos.

El costo de oportunidad está orientada en el diferencial que deja la aplicabilidad de la mediana de las tasas de desempleo regional que influyen en el área de influencia, estas con el fin de establecer el nivel de personas que no incurrirían en algún costo de oportunidad (Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, 2018), de esta manera se emplea la Tasa de Desempleo-TD estimada por el DANE para la Ciudad de Cartagena establecida Mayo de 2019 en 7,3% (DANE-Mercado laboral, 2019), para determinar la población empleada y desempleada a nivel local.

En este sentido, dicho costo de oportunidad está enmarcado igualmente en un margen de preferencia de las personas a la hora de cambiar de empleo, en el cual se contempla la base porcentual que cada individuo estaría dispuesto aceptar por un cambio sustancial en su dinámica laboral. En donde, dado el factor de aumento del bienestar, este estaría fluctuando en un 20% (LÓPEZ, s.f.), el cual es establecido con base a bibliografía tomada en el razonamiento de la economía del bienestar.

En este orden, dicho porcentaje es aplicado a la base salarial que quedo en cada uno de los cargos de mano de obra calificada o formada, después de habersele descontado el monto salarial de las personas que estaban desempleadas (TDS 7,3%), dado que dichas personas que estaban desempleadas no incurren en algún costo de oportunidad.

Dejando como resultado que el beneficio obtenido en cada uno de los grupos de contratistas profesionales y supervisores – técnicos, son producto de la aplicabilidad del 20% en cada uno de los montos de salario con desempleo descontado. Dado que esta cuantía sería el verdadero bienestar obtenido por las personas en cada uno de los cargos de mano de obra calificada o formada.

Por otra parte, en cuanto a la mano de obra no calificada o no formada (Contratistas del grupo de otros cargos) se estableció el costo de oportunidad de las personas que se encontraban previamente laborando. En donde para el caso de los empleos del grupo contratistas en “otros cargos” se establecen montos salariales con base al Salario Mínimo Legal Vigente-SMLV del año 2018 (828.116 pesos decreto 2451 de 2018). En la Tabla 5-40 y Tabla 5-41 se presentan los resultados, de los empleos causados con la ejecución del proyecto.

Tabla 5-40 Estimación del beneficio generado a personas que se encontraban anteriormente laborando – Contemplándose costo de oportunidad

Tipo de contratación	Cargo	Trabajadores con empleo previo	Salario promedio anual descontado	Costo de Oportunidad generado a personas que estaba laborando	Beneficio promedio por persona que laboró anteriormente laborando	Beneficio generado a personas que estaba anteriormente laborando
Contratistas Ecopetrol	Profesionales	9	\$ 63.283.564,60	\$ 50.626.851,68	\$ 12.656.712,92	\$ 110.499.432,14
	Supervisores - técnicos	40	\$ 32.790.219,21	\$ 26.232.175,37	\$ 6.558.043,84	\$ 263.373.008,14
	Otros cargos	279	\$ 9.937.392,00	\$ 7.949.913,60	\$ 11.979.951,95	\$ 3.346.911.056,50
Beneficios generados por empleo a personas que estaban laborando						\$ 3.720.783.496,79

Fuente: (Refinería de Cartagena S.A.S, 2018); Concol by WSP, 2019.

En la Tabla 5-41 se presentan los empleos considerados en los grupos de mano de obra calificada (contratistas profesionales y supervisores – técnicos) y no calificada o formada (grupo de contratistas “otros cargos”) que no incurren en un costo de oportunidad, esto porque estaban desempleadas.

Tabla 5-41 Estimación del beneficio generado a personas que se encontraban anteriormente desempleadas

TIPO DE CONTRATACIÓN	CARGO	TRABAJADORES SIN EMPLEO PREVIO	SALARIO PROMEDIO POR EL EMPLEO A PERSONAS QUE ESTABAN DESEMPLEADAS	BENEFICIO GENERADO POR EL EMPLEO A PERSONAS QUE ESTABAN DESEMPLEADAS
Contratistas Ecopetrol S.A.	Profesionales	1	\$ 63.283.564,60	\$ 48.696.702,96
	Supervisores - técnicos	4	\$ 32.790.219,21	\$ 116.067.538,95
	Otros cargos	25	\$ 19.929.865,55	\$ 490.753.009,35
Beneficios generados por empleo a personas que estaban desempleadas				\$ 655.517.251,26

Fuente: (Refinería de Cartagena S.A.S, 2018); Concol by WSP, 2018.

En síntesis, los beneficios de empleo total, generado a las personas que incurrieron en algún costo de oportunidad alcanzaron los \$ 3.720.783.496,79 pesos y los generados al personal contratado, que previamente se encontraba desempleado, fueron de \$655.517.251,26 pesos (Ver Tabla 5-40 y Tabla 5-41). Lo anterior sumando un beneficio total por generación de empleo de \$ 4.376.300.748,04 pesos, como se observa en la Tabla 5-42.

Tabla 5-42 Beneficios por generación de empleo en la Región

Descripción	Beneficio total generado con el empleo
Beneficio generado a personas que estaba anteriormente laborando	\$ 3.720.783.496,79
Beneficio generado por el empleo a personas que estaban desempleadas	\$ 655.517.251,26
Beneficios generados por cambio en la dinámica de empleo	\$ 4.376.300.748,04

Fuente: Concol by WSP, 2019.

5.2.5 Flujo Económico, Análisis Costo Beneficio-ACB y Relación Beneficio Costo-RBC

Se realizó el ajuste de flujo de beneficios, costos y el análisis de sensibilidad para la Refinería de Cartagena, a partir de los valores económicos de los impactos significativos horizonte de 30 años. Utilizando una Tasa Social de Descuento del 12% efectiva anual, como la establece el DNP, en su documento “manual conceptual de la Metodología General Ajustada (MGA)” que indica que en Colombia se ha calculado la Tasa Social de Descuento en el 12%, es decir que la rentabilidad social esperada por un proyecto de inversión pública no puede ser inferior a este valor (DNP, 2015), y lo ratifica el Banco Interamericano de Desarrollo-BID en 2016, concluyendo que en los países de América Latina y el Caribe las tasas de descuento son relativamente altas, generalmente del 12% (Powers, 1981) citado por (BID, 2016).

En este sentido, con el desarrollo del proyecto la sociedad experimentaría un bienestar de \$ 2.672.842.152,77 de pesos (flujo de caja descontado positivo la tasa de descuento social del 12% planteada para Colombia por el DNP en 2014), el cual es apalancado por el beneficio generado con el empleo, dado que causan el 100% de los beneficios del proyecto.

Una vez valorados los costos y beneficios ambientales se proceden a realizar este análisis y verificar si el proyecto es viable en dichos términos de acuerdo con los parámetros establecidos anteriormente.

$$RBC = \frac{\$ 3.907.411.382,18}{\$ 1.520.945.174,35} = 2,57$$

Al obtener una Relación Beneficio Costo (RBC) superior a uno, se determina que el proyecto es viable ambientalmente en cualquiera de los escenarios, puesto que el valor presente de los beneficios es mayor que el de los costos.

En la Tabla 5-43 se muestra el flujo económico durante la vida útil del proyecto y la RBC estimada, los datos se encuentran calculados en el Anexo 5. Evaluación ambiental y económica, 5.2 Calculos de evaluación económica.

Tabla 5-43 flujo económico de los impactos para un horizonte de análisis de 30 años

IMPACTO NEGATIVOS	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3
Valoración económica de la modificación de la calidad del hábitat acuático	\$ 0.00	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
Total costos	\$ 0.00	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
IMPACTOS POSITIVOS	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3
Beneficios generados por cambio en la dinámica de empleo	\$ 0.00	\$ 4.376.300.748,04		
Total beneficios	\$ 0.00	\$ 4.376.300.748,04		
Beneficios- Costos (VPN)				
Relación Beneficio/Costo (RBC)				

IMPACTO NEGATIVOS	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7
Valoración económica de la modificación de la calidad del hábitat acuático	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
Total costos	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
IMPACTOS POSITIVOS	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Beneficios generados por cambio en la dinámica de empleo				
Total beneficios				
Beneficios- Costos (VPN)				
Relación Beneficio/Costo (RBC)				

IMPACTO NEGATIVOS	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11
Valoración económica de la modificación de la calidad del hábitat acuático	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
Total costos	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
IMPACTOS POSITIVOS	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11
Beneficios generados por cambio en la dinámica de empleo				
Total beneficios				
Beneficios- Costos (VPN)				
Relación Beneficio/Costo (RBC)				

IMPACTO NEGATIVOS	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15
<i>Valoración económica de la modificación de la calidad del hábitat acuático</i>	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
<i>Total costos</i>	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
IMPACTOS POSITIVOS	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
<i>Beneficios generados por cambio en la dinámica de empleo</i>				
<i>Total beneficios</i>				
<i>Beneficios- Costos (VPN)</i>				
<i>Relación Beneficio/Costo (RBC)</i>				

IMPACTO NEGATIVOS	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19
<i>Valoración económica de la modificación de la calidad del hábitat acuático</i>	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
<i>Total costos</i>	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
IMPACTOS POSITIVOS	Año 16	Año 17	Año 18	Año 19
<i>Beneficios generados por cambio en la dinámica de empleo</i>				
<i>Total beneficios</i>				
<i>Beneficios- Costos (VPN)</i>				
<i>Relación Beneficio/Costo (RBC)</i>				

IMPACTO NEGATIVOS	AÑO 20	AÑO 21	AÑO 22	AÑO 23
<i>Valoración económica de la modificación de la calidad del hábitat acuático</i>	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
<i>Total costos</i>	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
IMPACTOS POSITIVOS	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23
<i>Beneficios generados por cambio en la dinámica de empleo</i>				
<i>Total beneficios</i>				
<i>Beneficios- Costos (VPN)</i>				
<i>Relación Beneficio/Costo (RBC)</i>				

IMPACTO NEGATIVOS	AÑO 24	AÑO 25	AÑO 26	AÑO 27
Valoración económica de la modificación de la calidad del hábitat acuático	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
Total costos	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88
IMPACTOS POSITIVOS	Año 24	Año 25	Año 26	Año 27
Beneficios generados por cambio en la dinámica de empleo				
Total beneficios				
Beneficios- Costos (VPN)				
Relación Beneficio/Costo (RBC)				

IMPACTO NEGATIVOS	AÑO 28	AÑO 29	AÑO 30	VPN
Valoración económica de la modificación de la calidad del hábitat acuático	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88		\$ 1.520.945.174,35
Total costos	\$ 188.815.696,88	\$ 188.815.696,88		\$ 1.520.945.174,35
IMPACTOS POSITIVOS	Año 28	Año 29	AÑO 30	VPN
Beneficios generados por cambio en la dinámica de empleo				\$ 3.907.411.382,18
Total beneficios				\$ 3.907.411.382,18
Beneficios- Costos (VPN)				\$ 2.386.466.207,83
Relación Beneficio/Costo (RBC)				\$ 2,57

Fuente: Concol by WSP, 2019.

5.2.5.1 Análisis de sensibilidad

La valoración económica de los impactos ambientales del “Estudio de impacto ambiental para la modificación a la licencia ambiental de refinería de Cartagena” se realiza bajo supuestos que pretenden predecir el comportamiento de los impactos durante las diferentes etapas del proyecto. Sin embargo, para garantizar la estabilidad de los resultados ante cambios imprevistos, es necesario tener en cuenta dentro del proceso, la incertidumbre posible que puede generar el desconocimiento exacto de los escenarios futuros y los cambios en los supuestos considerados en el análisis.

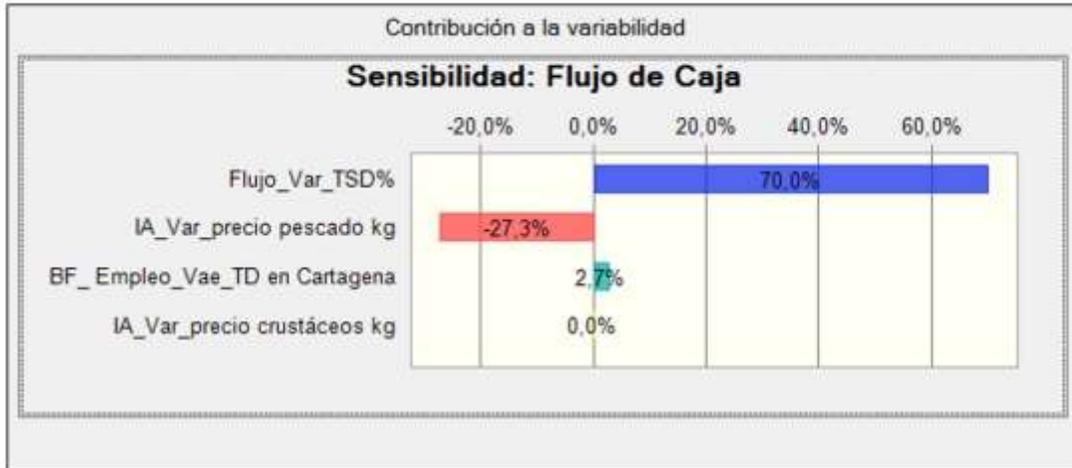
El análisis de sensibilidad se lleva a cabo con el fin de determinar cómo las modificaciones en las variables que no son estáticas y no se pueden predecir desde el inicio afectan la rentabilidad y la relación beneficio / costo del proyecto. Utilizando el programa CrystalBall, se ejecutaron una serie de simulaciones que permitieron mostrar, de manera más práctica, el impacto de las diferentes variables en el resultado de la evaluación del proyecto. Para el modelo de simulación se han asumido una serie de supuestos para realizar la variación de cada una de las variables identificadas las cuales se pueden observar en el Anexo 05 Ev. Ambiental Económica Hoja de Excel Supuestos.

A partir de los modelos utilizados en la monetización de los costos y beneficios del proyecto, se construye un modelo estocástico que permite estimar los cambios en el flujo de fondos, asociados a cada valor que tomen las variables modeladas. Esto permite identificar las variables que contribuyen, en mayor medida, a la variación del VPN. Para esta estimación, el software simula cambios en las variables dentro de los valores mínimos y máximos especificados, para luego estimar el VPN asociado a este nuevo valor.

En este contexto los resultados del modelo muestran que el flujo de caja responde esencialmente a las variaciones de la tasa social de descuento -TSD⁹-, con un aporte del 70% de la variación del VPN. En segundo lugar, se aprecia la variación del precio de pescado en la bahía de Cartagena (utilizada del impacto de Modificación de Hábitat Acuático) con el 27,3% de la variación del flujo, y en tercer lugar la variable de variación de la Tasa de desempleo (2,7% de la variación del VPN) que se utilizó en la modelación del beneficio de Generación del empleo del proyecto (Ver Figura 5.16).

⁹ La TSD representa un coste de oportunidad, mientras más baja implica que las generaciones actuales deberán costearlo y los beneficios permanecerán para las futuras, mientras que, con tasas más altas, se traslada la inversión para las generaciones futuras (BID, 2016)

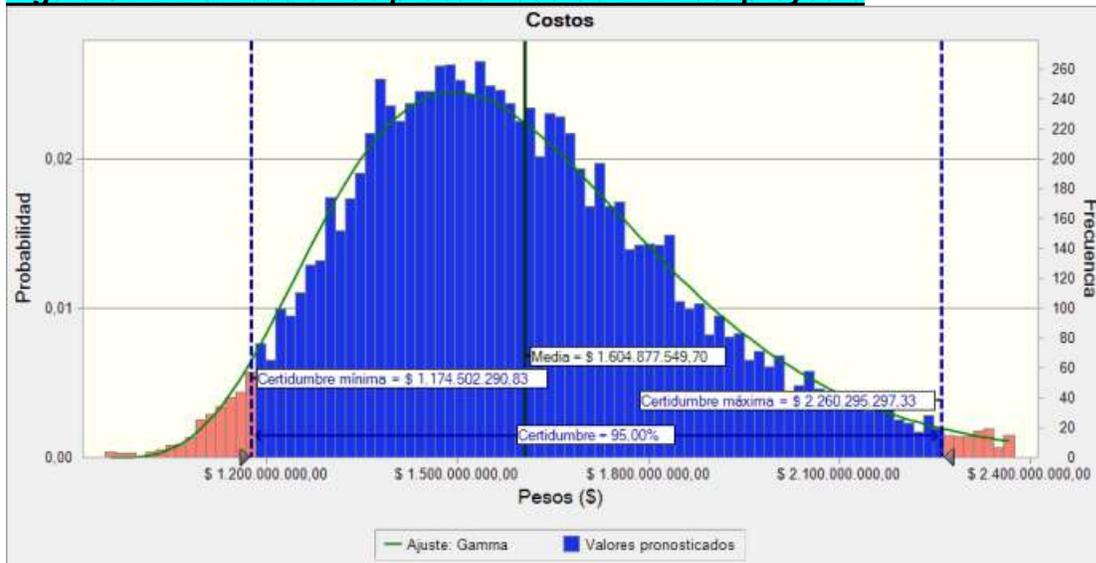
Figura 5.16 Grafico de sensibilidad del VAN



Fuente: Concol by WSP, 2019. Resultados modelo de sensibilidad programa CrystalBall Oracle 2010

Para el análisis de riesgo se realiza simulaciones Monte Carlo, en la cual Crystal Ball calcula automáticamente 10 mil iteraciones considerando todas las variables que generan incertidumbre al VPN. En el eje horizontal se muestra los posibles valores del VPN, mientras que, en el eje vertical se muestra la probabilidad asociada a las variaciones del VPN, al experimentarse cambios en las variables que generan incertidumbre respecto del valor del VPN.

Figura 5.17 Distribución de probabilidad del VPN del proyecto



Fuente: Concol by WSP, 2019. Resultados modelo de sensibilidad programa CrystalBall Oracle 2010

La distribución de probabilidad estadística que más se ajusta a los datos es la distribución de Gamma. Con esta Distribución se evidencia que el valor de la VPNE va a ser positivo (VPNE>0) con un 95% de confianza (El rango de certidumbre está entre \$ 1.174.502.290,83

y \$ 2.260.295.297,33), con media esperada de beneficios de \$ 1.604.877.549 pesos, lo cual ratifica el valor positivo obtenido en la evaluación determinista (\$ 2.386.466.207,83). Asimismo, se muestra que existe posibilidad de un VPN menor a cero.

Se considera en el análisis cambios (aumento y disminución) en el nivel de inversión, para ello se consideró un rango de variación de -30% hasta 30% del valor obtenido en el flujo económico, configurándose 25 contextos de variación de los costos y beneficios ambientales del proyecto. En estos escenarios sobresale un escenario crítico en el que los costos se aumentan en un 30% y los benéficos se reducen en igual proporción, para el cual se obtuvo un beneficio-costo de \$ 757.959.241 manteniendo un comportamiento positivo, evidenciando la viabilidad socioambiental del proyecto.

Tabla 5-44 Comportamiento del VPNA en función de cambios porcentuales en los beneficios y costos del proyecto

Beneficios	Valor	Costos	Valor	VPN	RBC
30%	\$ 5.079.634.797	-30%	\$ 1.064.661.622	\$ 4.014.973.175	4,77
30%	\$ 5.079.634.797	-15%	\$ 1.292.803.398	\$ 3.786.831.399	3,93
30%	\$ 5.079.634.797	0%	\$ 1.520.945.174	\$ 3.558.689.622	3,34
30%	\$ 5.079.634.797	15%	\$ 1.749.086.951	\$ 3.330.547.846	2,90
30%	\$ 5.079.634.797	30%	\$ 1.977.228.727	\$ 3.102.406.070	2,57
15%	\$ 4.493.523.090	-30%	\$ 1.064.661.622	\$ 3.428.861.467	4,22
15%	\$ 4.493.523.090	-15%	\$ 1.292.803.398	\$ 3.200.719.691	3,48
15%	\$ 4.493.523.090	0%	\$ 1.520.945.174	\$ 2.972.577.915	2,95
15%	\$ 4.493.523.090	15%	\$ 1.749.086.951	\$ 2.744.436.139	2,57
15%	\$ 4.493.523.090	30%	\$ 1.977.228.727	\$ 2.516.294.363	2,27
0,0%	\$ 3.907.411.382	-30%	\$ 1.064.661.622	\$ 2.842.749.760	3,67
0,0%	\$ 3.907.411.382	-15%	\$ 1.292.803.398	\$ 2.614.607.984	3,02
0,0%	\$ 3.907.411.382	0%	\$ 1.520.945.174	\$ 2.386.466.208	2,57
0,0%	\$ 3.907.411.382	15%	\$ 1.749.086.951	\$ 2.158.324.432	2,23
0,0%	\$ 3.907.411.382	30%	\$ 1.977.228.727	\$ 1.930.182.656	1,98
-15,0%	\$ 3.321.299.675	-30%	\$ 1.064.661.622	\$ 2.256.638.053	3,12
-15,0%	\$ 3.321.299.675	-15%	\$ 1.292.803.398	\$ 2.028.496.277	2,57
-15,0%	\$ 3.321.299.675	0%	\$ 1.520.945.174	\$ 1.800.354.501	2,18
-15,0%	\$ 3.321.299.675	15%	\$ 1.749.086.951	\$ 1.572.212.724	1,90
-15,0%	\$ 3.321.299.675	30%	\$ 1.977.228.727	\$ 1.344.070.948	1,68
-30,0%	\$ 2.735.187.968	-30%	\$ 1.064.661.622	\$ 1.670.526.345	2,57
-30,0%	\$ 2.735.187.968	-15%	\$ 1.292.803.398	\$ 1.442.384.569	2,12
-30,0%	\$ 2.735.187.968	0%	\$ 1.520.945.174	\$ 1.214.242.793	1,80
-30,0%	\$ 2.735.187.968	15%	\$ 1.749.086.951	\$ 986.101.017	1,56
-30,0%	\$ 2.735.187.968	30%	\$ 1.977.228.727	\$ 757.959.241	1,38

Fuente: Concol by WSP, 2019.

Finalmente, de acuerdo con la estructura del arreglo de datos que configura el ACB propuesto, se concluye que los beneficios pueden compensar los potenciales efectos negativos o impactos asociados a la ampliación de la Refinería y por tanto se considera ambientalmente viable.

5.2.6 Conclusiones del proyecto

- i. El análisis del beneficio-costo en VPN con una TDS del 12%, da como resultado que los beneficios del proyecto son mayores a sus costos, condición que demuestra el buen manejo ambiental planteado para el desarrollo del proyecto.
- ii. La relación beneficio/costo del proyecto resulta ser favorable al obtener un índice mayor a 1, congruente con los resultados obtenidos para la estimación del VPN.
- iii. El proyecto muestra un comportamiento positivo ante una disminución en beneficios del 30% y un aumento en los costos de 15%, sin embargo, en un escenario crítico en el que los costos se aumentan en un 30% y los benéficos se reducen en igual proporción, se obtuvo una relación costo/beneficio de negativa. Es importante precisar, que el proyecto muestra una sensibilidad favorable ante cambios en los costos y beneficios ambientales.