
**MANUAL PARA EL CONTEO Y
VALORACIÓN DEL RECURSO
PESQUERO**

AUTORIDAD NACIONAL DE
LICENCIAS AMBIENTALES –
ANLA – Subdirección de
Instrumentos Permisos y Trámites
Ambientales - SIPTA

Elaboró:

Hernán Yanguatin Botina
Jehisson Fernando Rivera
Alba Ruth Olmos
Martha del Pilar Moreno
Angela Clemencia Nuñez
Alejandra Neira

Revisó y Aprobó:

Carlos Alonso Rodriguez
María Saralux Valbuena
Julian David Benitez

Rodrigo Suarez Castaño
Director General

Fecha: NOVIEMBRE 2021

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	2
2.	OBJETIVO	3
3.	ALCANCE	3
4.	DEFINICIONES	3
5.	NORMATIVA	7
6.	DESARROLLO	8
6.1	Marco Institucional	10
6.2	Metodología para estimar las pérdidas generadas por afectaciones sobre el recurso pesquero.....	12
6.3	Procedimientos e información previa a la ocurrencia de la contingencia	12
6.3.1	Caracterización en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA)	13
6.3.2	Plan de Manejo	15
6.3.3	Plan de contingencia	16
6.3.3.1	Conocimiento del riesgo	16
6.3.3.2	Reducción del riesgo sobre el recurso pesquero.....	24
6.3.3.3	Manejo de la Contingencia	25
6.4	Procedimientos durante la ocurrencia de la contingencia.....	26
6.4.1	Notificación y reporte de la contingencia.....	26
6.4.2	Seguimiento y control.....	27
6.4.3	Acciones de investigación	27
6.4.3.1	Reporte de la investigación.....	27
6.4.3.2	Muestreo de la mortandad.....	28
6.4.3.3	Toma y análisis de muestras de laboratorio.....	32
6.5	Procedimientos después de la ocurrencia de la contingencia	33
6.5.1	Estimación total de la mortandad del recurso pesquero	33
6.5.1.1	Métodos para la estimación de la mortandad total	33
6.5.1.2	Aproximación al error estándar	34
6.5.2	Recuperación ambiental	39
6.5.2.1	Evaluación de las pérdidas.....	39
6.5.3	Costo y valoración económica de la afectación al recurso pesquero	40
6.5.4	Evaluación de criterios.....	43
6.6	Prueba Piloto.....	44
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUCCIÓN

El trámite de licenciamiento ambiental hace parte de un procedimiento administrativo de carácter técnico y legal, a través del cual, los proyectos, obras o actividades que por su naturaleza se clasifican como generadores de impactos significativos y que según lo determinado por la Ley, requieren de una autorización previa por parte del Estado para su ejecución, son objeto de una evaluación por parte de las autoridades ambientales, para que, a partir de la información presentada en el Estudio de Impacto Ambiental, pueda establecerse su viabilidad.

Para ello, a través de los diferentes instrumentos, desarrollados por las Autoridades Ambientales y acogidos dentro del marco regulatorio ambiental, se han establecido no solo los lineamientos metodológicos para la elaboración y presentación de estudios ambientales, sino que además se han definido las medidas y acciones necesarias que se deben formular para reducir los riesgos asociados al desarrollo de los proyectos, obras o actividades licenciados y/o dar respuesta a las posibles contingencias que se presentan en ese mismo escenario.

De igual modo, a nivel normativo también se encuentra establecida la responsabilidad que tienen los titulares de los proyectos, obras o actividades, de reportar todo evento de contingencia, incluyendo las medidas implementadas para prevenir, corregir y mitigar, así como las tendientes a recuperar ambientalmente el área afectada. En dichas normas se señala de forma específica que cuando se presenten eventos que impliquen una mortandad del recurso pesquero, entendidos como la repentina y significativa¹ muerte de animales acuáticos no mamíferos y definidos también como la aparición masiva y repentina de peces muertos en un ambiente acuático, durante un corto periodo de tiempo (Commonwealth of Australia 2007), (Commonwealth of Australia 2007), es importante determinar sus causas y magnitud por qué pueden indicar problemas ambientales o de contaminación, o una potencial fuente de riesgo para la salud humana (Volpedo et al. 2019).

En ese sentido, de acuerdo con los reportes consolidados por el Grupo de Contingencias de la Subdirección de Evaluación de Licencias Ambientales, entre los años 2016 - 2020 se reportaron 4670 contingencias ambientales originadas por proyectos, obras o actividades viabilizados por Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA, de las cuales un 20% reportó afectaciones sobre el componente hídrico; de estas, un 21% presentó afectaciones sobre la flora y un 3% sobre la fauna. Respecto a las contingencias con afectaciones sobre el recurso pesquero, fueron reportados 24 eventos en un periodo de 16 años (1990 – 2016); mientras que 17 eventos fueron reportados solamente durante los años 2017 – 2020. Es evidente entonces, particularmente para

¹ Cualquier ocurrencia inusual en términos de números o tipos (tamaño, especies) de animales acuáticos

los proyectos, obras o actividades que identifiquen el recurso pesquero como un elemento expuesto² dentro del Plan de contingencia, la necesidad de unos criterios estandarizados para estimar las pérdidas generadas por las afectaciones sobre el recurso pesquero, y que, a su vez, contribuya a la formulación de una adecuada estrategia de recuperación ambiental.

2. OBJETIVO

Definir criterios metodológicos estandarizados para la estimación de las pérdidas generadas por las afectaciones sobre el recurso pesquero, derivadas de las contingencias ambientales³ asociadas al desarrollo de un proyecto, obra o actividad sujeto a licenciamiento ambiental, que permita formular una adecuada estrategia de recuperación ambiental.

3. ALCANCE

Esta Manual orienta a los responsables de la atención de las contingencias ambientales asociadas al desarrollo de proyectos, obras o actividades viabilizados por la ANLA, en el uso e implementación de una metodología estandarizada para estimar las pérdidas generadas por afectaciones sobre el recurso pesquero, considerando la estructura de la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales-MGEPEA vigente y la Resolución 1767 de 2016 o la norma que la modifique y/o sustituya.

4. DEFINICIONES

Afectación ambiental: Grado de alteración favorable o desfavorable, en el medio ambiente o en alguno de los componentes del mismo, producida por una acción o actividad (ANLA 2020b) .

² Es decir, un servicio ambiental que por su localización puede ser afectado por la manifestación de una amenaza, según el Artículo 4° de la Ley 1523 de 2012

³ Artículo 2.2.2.3.9.3. del Decreto 1076 de 2015: Contingencias ambientales. “Si durante la ejecución de los proyectos obras, o actividades sujetos a licenciamiento ambiental o plan de manejo ambiental ocurriesen incendios, derrames, escapes, parámetros de emisión y/o vertimientos por fuera de los límites permitidos o cualquier otra contingencia ambiental, el titular deberá ejecutar todas las acciones necesarias con el fin de hacer cesar la contingencia ambiental e informar a la autoridad ambiental competente en un término no mayor a veinticuatro (24) horas.

La autoridad ambiental determinará la necesidad de verificar los hechos, las medidas ambientales implementadas para corregir la contingencia y podrá imponer medidas adicionales en caso de ser necesario.

Las contingencias generadas por derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas, se regirán además por lo dispuesto en el Decreto 321 de 1999 o la norma que lo modifique o sustituya.”

Amenaza: Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales (ANLA 2020b).

Área de afectación: Zona que puede estar impactada de forma negativa por la materialización de uno o varios eventos amenazantes (ANLA 2020b).

Área de estudio: Longitud total de una corriente, de la línea de costa de un lago, o área de un lago, donde ocurrió la mortandad de peces (Southwick and Loftus 2017).

Área de Muestreo: Área accesible para la recolección de muestras que puede ser dividida en partes menores o sitios de muestreo en el momento del evento (Southwick and Loftus 2017).

Causa: Acción que genera una contingencia, la que ocasionó un evento por fuera de las condiciones de construcción, operación, abandono o desmantelamiento, por razones operativas, acción antrópica o de terceros (voluntarios o no), o acción de la naturaleza (ANLA 2020b).

Derrame: Pérdida de contención accidental de una materia en estado líquido (ANLA 2020b).

Derrame de sustancias nocivas: Evento en el cual se liberan fuera del contenedor sustancias nocivas, en cantidades que representen peligro para las personas, la propiedad y/o el medio ambiente (ANLA 2020b).

Distancia entre sitios de muestreo: Este término indica la distancia adyacente entre los centros de dos sitios de muestreo. Una forma de estimar esta medida es tomando la longitud del área de estudio dividida por el número de sitios de muestro seleccionados (Southwick and Loftus 2017).

Disturbio: Cualquier evento no predecible relativamente discreto en el tiempo que interrumpa la estructura del ecosistema, la comunidad o la población y cambie los recursos, la disponibilidad del sustrato o el entorno físico (Pickett and White 1985). Se caracterizan de acuerdo con la intensidad, la severidad, frecuencia, previsibilidad y extensión espacial junto con las respuestas de los organismos (Rolls and Bond 2017).

Evaluación de Daños, Riesgos Asociados y Análisis de Necesidades (EDRAN): Es una función de respuesta que busca levantar, consolidar y analizar la información sobre la magnitud de los daños, la afectación ambiental, social y sobre la infraestructura, identificando nuevas condiciones de riesgo derivadas del evento y los daños ya ocurridos. Incluye la identificación y cuantificación de

necesidades inmediatas y futuras, con el fin de activar o suspender servicios y funciones de respuesta. La función de EDRAN puede ser requerida en diferentes momentos y niveles de detalle: información aproximada para necesidades inmediatas y detalladas para necesidades futuras. (Adaptación. IDIGER. 2017).

Equipo Técnico de Apoyo: Personal técnico de diferentes áreas, que se reúnen para apoyar el seguimiento a contingencias desde sus funciones (ANLA 2020b).

Estrato: Subdivisión del área del estudio en dos o más zonas que son muestreadas de forma independiente dado sus condiciones intrínsecas (hábitat, número de especies, hidro geomorfología, etc.). A menudo, cada área requiere diferente esfuerzo de muestreo, lo que ocasiona heterogeneidad en la definición de áreas y sitios de muestro al igual que en los factores de expansión para cada estrato (Southwick and Loftus 2017).

Factor de Expansión: Número que es multiplicado por el número de peces recolectados (muertos) en el área de influencia para estimar el número total aproximado de peces afectados (Southwick and Loftus 2017).

Fuga: Pérdida de contención accidental de un material en estado gaseoso o vapor (UNGRD 2017).

Línea de muestreo: Línea vertical recta que mide la longitud del área de estudio. Esta línea es perpendicular a los transectos y/o paralela a los segmentos que cubre toda el área de muestreo (Southwick and Loftus 2017).

Mortandad de peces: Repentina y significativa muerte de animales acuáticos no mamíferos. Aparición masiva y repentina de peces muertos en un ambiente acuático, durante un corto periodo de tiempo (Commonwealth of Australia 2007).

Pérdidas: Son las afectaciones que inciden sobre la calidad o la cantidad de los servicios ambientales, cuyos niveles y flujos de producción y de productividad disminuyen, se encarecen o se modifican (CEPAL 2014)

Prioridades de protección: En caso de contingencia se debe preservar la vida humana y minimizar los daños ambientales, los cuales tendrán prioridad sobre las demás actividades del titular responsable de coordinar el combate del evento (Adaptado del Decreto 321 de 1999).

Recursos hidrobiológicos: Todos los organismos pertenecientes a los reinos animal y vegetal que tienen su ciclo de vida dentro del medio acuático (Ley 13 de 1990, n.d.).

Recurso pesquero: Parte de los recursos hidrobiológicos susceptibles de ser extraída o efectivamente extraída, sin que se afecte su capacidad de renovación con fines de consumo, procesamiento, estudio u obtención de cualquier otro beneficio (Ley 13 de 1990, n.d.).

Recuperación: Son las acciones para el restablecimiento de las condiciones normales de vida mediante la rehabilitación, reparación o reconstrucción del área afectada, los bienes y servicios interrumpidos o deteriorados y el restablecimiento e impulso del desarrollo económico y social de la comunidad. La recuperación tiene como propósito central evitar la reproducción de las condiciones de riesgo preexistentes en el área o sector afectado. (Ley 1523 de 2012, n.d.)

Reporte inicial: Registro en el Formato Único para el reporte de Contingencias ambientales, el cual debe ser presentado dentro de las veinticuatro (24) horas siguientes a la ocurrencia o conocimiento de la contingencia ambiental (Resolución 1767 de 2016).

Reporte parcial / final: Registro en el formato único para el reporte de contingencias ambientales, el cual debe ser presentado dentro de los veinte (20) días siguientes a la ocurrencia o conocimiento de la contingencia ambiental, hasta su finalización (Resolución 1767 de 2016).

Reporte recuperación: Registro en el formato único para el reporte de contingencias ambientales el cual debe ser presentado cada tres (3) meses, una vez se ha realizado el reporte final, hasta su finalización (Resolución 1767 de 2016).

Respuesta: Ejecución de las actividades necesarias para la atención de la contingencia como accesibilidad y transporte, telecomunicaciones, evaluación de daños y análisis de necesidades, salud y saneamiento básico, búsqueda y rescate, extinción de incendios y manejo de materiales peligrosos, albergues y alimentación, servicios públicos, seguridad y convivencia, aspectos financieros y legales, información pública y el manejo general de la respuesta, entre otros. La efectividad de la respuesta depende de la calidad de preparación (ANLA 2020b).

Segmentos: Sitios de muestreo dispuestos en forma lineal a lo largo de una corriente o línea de costa que se encuentra dentro del área de muestreo y son paralelas a la línea de muestreo. El ancho de estas áreas puede ser constante o variable dependiendo de las características del cuerpo de agua. Si las condiciones del cauce lo permiten los segmentos pueden ser uniformes en longitud, pero esta condición no es requisito para la medición (Southwick and Loftus 2017).

Sitios de muestreo: Áreas al interior del área de muestreo en donde los peces muertos son recolectados, contados y estudiados, pueden ser segmentos o transectos (Southwick and Loftus 2017).

Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastre (SNGRD): Creado a partir de la Ley 1523 de 2012 por sanción presidencial, es el conjunto de entidades nacionales del orden público, privado y comunitario que, articuladas con las políticas, normas y recursos, tiene como objetivo llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en todo el territorio nacional en busca de mejorar la calidad de vida, la seguridad y el bienestar de todas las comunidades colombianas.

Tamaño de muestra: Área o distancia y número de los sitios de muestreo definidos dentro del área de estudio (Southwick and Loftus 2017).

Transectos: Líneas paralelas de igual ancho que fraccionan horizontalmente el área de muestreo y son perpendiculares a la línea de muestro. Normalmente el ancho de los transectos se estima teniendo en cuenta el alcance de las redes de pesca o recolección de las embarcaciones. Dadas las condiciones no uniformes de cuerpos de agua es normal que los transectos varían en longitud por lo que su área es heterogénea (Southwick and Loftus 2017).

5. NORMATIVA

Tipo	Número	Fecha	Epígrafe
Constitución	1	20/07/1991	Constitución Política de Colombia
Ley	257	15/01/1996	\\"Por medio de la cual se aprueba el \\"Convenio Internacional de Constitución de un Fondo Internacional de Indemnización de Daños Causados por la Contaminación de Hidrocarburos\\", suscrito en Bruselas el 18 de diciembre de 1971 y su Protocolo Modificatorio del 19 de noviembre de 1976.\\"
Ley	1333	21/07/2010	\\"Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones\\"
Ley	1523	24/04/2012	\\"Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.\\"
Decreto	93	13/01/1998	\\"Por el cual se adopta el Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres.\\"
Decreto	321	17/02/1999	\\"Por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas en aguas marinas, fluviales y lacustres.\\"
Decreto	4147	3/11/2011	\\"Por el cual se crea la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, se establece su objeto y estructura\\"

Decreto	1076	26/05/2015	\\"Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible\\"
Decreto	2157	20/12/2017	\\"Por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la Ley 1523 de 2012\\"
Decreto	50	16/01/2018	\\"Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible en relación con los Consejos Ambientales Regionales de la Macrocuencas (CARMAC), el Ordenamiento del Recurso Hídrico y Vertimientos y se dictan otras disposiciones\\"
Resolución	1767	27/10/2016	\\"Por el cual se adopta el formato único para el reporte de las contingencias y se adoptan otras determinaciones\\"
Resolución	1209	20/06/2018	\\"Por el cual se adoptan los términos de referencia únicos para la elaboración de los planes de contingencia para el transporte de hidrocarburos, derivados o sustancias nocivas de que trata el artículo 2.2.3.3.4.14. del Decreto 1076 de 2015 y se toman otras determinaciones.\\"
Resolución	77	16/01/2019	"Por el cual se establecen fechas para la presentación de Informes de Cumplimiento Ambiental en el marco del proceso de seguimiento ambiental de proyectos de competencia de la ANLA y se dictan otras disposiciones\\"

6. DESARROLLO

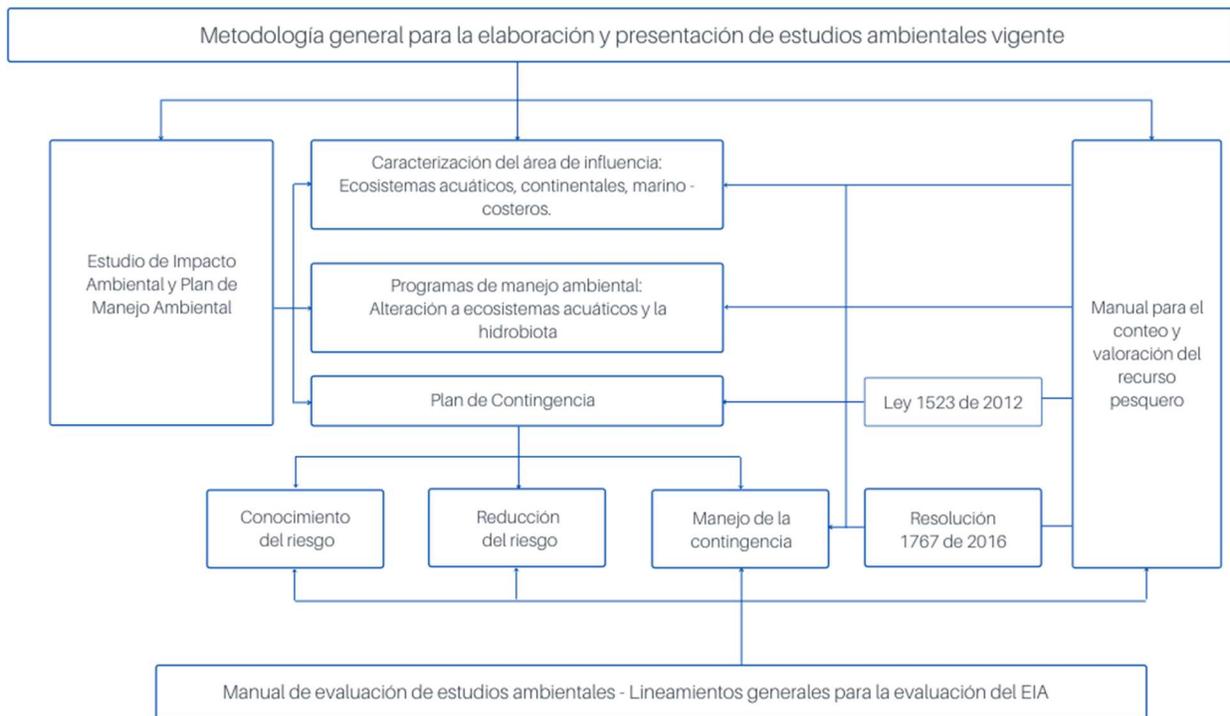
La estimación de las pérdidas cuando sucede una contingencia requiere distinguir las generadas por las afectaciones sobre el recurso pesquero, de las generadas por los efectos correspondientes a los impactos ambientales previos al evento. La caracterización reportada tanto en el EIA como en el PMA permitirán establecer las condiciones previas de los ecosistemas en el área, mientras que con la evaluación posterior al evento se puede establecer la magnitud de las pérdidas y las afectaciones socioambientales.

De acuerdo con la estructura de la MGEPEA vigente y la Resolución 1767 de 2016 o la norma que la modifique y/o sustituya, en este Manual se recomienda que los proyectos, obras o actividades que identifiquen al recurso pesquero como un elemento expuesto⁴ dentro del Plan de

⁴ Es decir, un servicio ambiental que por su localización puede ser afectado por la manifestación de una amenaza, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 4° de la Ley 1523 de 2012

contingencia, deberán considerar en la formulación del EIA los requerimientos mínimos para su caracterización y en el Plan de Manejo las medidas para el control integral tanto de su alteración como el de la hidrobiota, en el caso que la evaluación de estos impactos⁵ resulte significativa. De igual forma, y como parte de la formulación del Plan de contingencia, tomando como referencia las consideraciones previstas en la Ley 1523 de 2012, en el Decreto 2157 de 2017 y en la normativa sectorial específica, o en aquella que la modifique o sustituya; deberá considerarse el análisis y valoración de los riesgos sobre el recurso pesquero, las medidas de reducción y sus acciones de manejo.

Figura 1 Marco Normativo



Fuente: ANLA, 2021

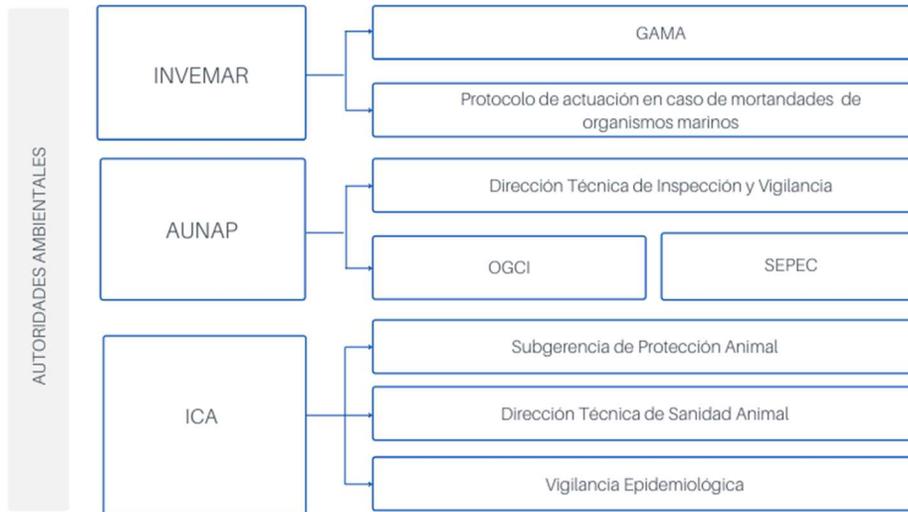
El manejo de la contingencia incluye la formulación e implementación de las medidas para el análisis y evaluación de los eventos asociados a mortandad del recurso pesquero, determinando a su vez la necesidad de aplicar instrumentos de evaluación de pérdidas y daños, que requieren la plena identificación de las causas y la estimación de la magnitud (Alosairi 2021). En tal sentido, se propone una estrategia de análisis y evaluación para las afectaciones del recurso pesquero a partir de una serie de acciones enmarcadas en tres fases: previa, durante y después.

⁵ Según el Artículo 2.2.2.3.1.1. del Decreto 1076 de 2015, cualquier alteración en el medio ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad.

6.1 Marco Institucional

En el país entidades como el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras INVEMAR, el Instituto Colombiano Agropecuario ICA y la Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca AUNAP, realizan junto con las autoridades ambientales respectivas, la coordinación interinstitucional requerida para la atención a las emergencias por mortandades de peces.

Figura 2 Marco institucional para la atención de emergencias por mortandades de peces



Fuente: ANLA, 2021

En INVEMAR la atención de este tipo emergencias se realiza a través del Grupo para la Atención de Emergencias Ambientales Marinas - GAMA, y que desde el año 2013 cuenta con el Protocolo de actuación en caso de mortandades de organismos marinos (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS - INVEMAR 2014), el cual proporciona los lineamientos a seguir para el reconocimiento del área y las especies afectadas, la identificación de las causas probables, el número de muestras y estaciones de muestreo y la recolección de muestras biológicas para identificación, análisis químicos y patológicos.

Por su parte, la AUNAP a través de la Dirección Técnica de Inspección y Vigilancia, de manera transversal a las Direcciones Regionales, en desarrollo de la facultad de implementar y aplicar las acciones de control que permitan verificar el cumplimiento de las disposiciones legales vigentes relacionadas con el ejercicio de las actividades de pesca y acuicultura en el país, aporta recomendaciones generales respecto al monitoreo de parámetros de calidad del agua, siembra de especies, caudales mínimos, activación de planes de contingencia e implementación de Buenas Prácticas de Producción Acuícolas (AUNAP 2021). De igual forma, la Oficina de Generación del

Conocimiento y la Información (OGCI)⁶ y el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano (SEPEC)⁷ presentan información correspondiente a pesca de consumo, ornamentales, biología pesquera y monitoreos participativos de distribución de peces en el territorio.

En cuanto a las notificaciones de mortandad masiva en explotaciones primarias del recurso pesca para consumo humano, desde la Subgerencia de Protección Animal del ICA, la Dirección Técnica de Sanidad Animal y la Dirección Técnica de Vigilancia Epidemiológica (ICA 2021) intervienen cuando son excedidos los parámetros de mortalidad esperada, aplicando el procedimiento con el que se cuenta para la atención de notificaciones, donde se señalan los lineamientos para la visita técnica, diligenciamiento de formatos, toma de muestras y análisis de laboratorio, entre otros.

Respecto a protocolos de actuación frente a eventos de mortandad masiva de peces en el ámbito internacional se encuentran, entre otros, el Manual de investigación y valores monetarios de mortandad de peces y moluscos de agua dulce de la American Fisheries Society (Southwick and Loftus 2017), donde se incluyen los procedimientos para la investigación, los principios de muestreo, lineamientos para la cuantificación de peces muertos y su correspondiente valoración económica.

En Australia desde el año 2007 se cuenta con el Protocolo para la investigación y el reporte de mortandad de peces (Commonwealth of Australia 2007), el cual incluye los lineamientos para desarrollar la coordinación interinstitucional, identificación de laboratorios, notificación del evento, determinación de responsabilidades, el proceso de investigación, el reporte y comunicación finales.

En Argentina desde el año 2019 se cuenta con el Protocolo de Acciones ante Mortandades de Peces (Volpedo et al. 2019), que establece entre otros, los materiales y equipamiento necesarios para la toma de muestras y manipulación de agua y sedimentos, así como la metodología para la estimación cuantitativa de mortandades y para la identificación, colecta y envío de muestras para estudios y análisis de laboratorio.

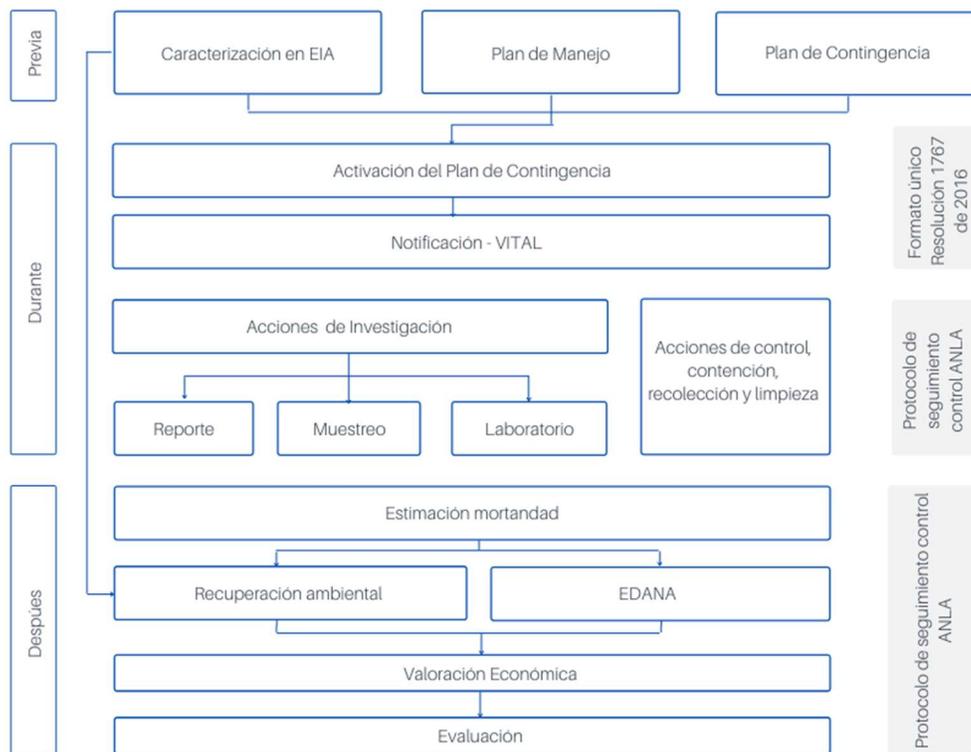
⁶ Encargada de formular las políticas, normas, conceptos y procedimientos sobre las líneas de investigación de los recursos pesqueros y acuícolas del país, así como de dirigir las investigaciones técnicas para el ordenamiento del recurso pesquero y acuícola

⁷ El SEPEC como parte de la competencia de la misión institucional de la AUNAP que está enmarcada en la Ley 13 de 1990, es la herramienta principal para generar la estadística pesquera nacional y el conjunto de indicadores pesqueros, biológicos y económicos que contribuyen al manejo y ordenación de los recursos pesqueros aprovechados en las aguas marinas y continentales de Colombia.

6.2 Metodología para estimar las pérdidas generadas por afectaciones sobre el recurso pesquero

En el marco del licenciamiento ambiental, para estimar las pérdidas generadas por las afectaciones sobre el recurso pesquero derivadas de la materialización de contingencias ambientales, se propone seguir los criterios y las acciones representadas en la Figura 3, articulados a las fases para la atención de este tipo de eventos: previa, durante y después.

Figura 3 Estimación de las pérdidas generadas por afectaciones sobre el recurso pesquero



Fuente: ANLA, 2021

La caracterización de línea base consolidada en la fase previa se constituye en el principal insumo para desarrollar las acciones correspondientes cuando se llegue a materializar el evento. De la misma manera, esta información consolidada será el insumo para adelantar las acciones correspondientes a la fase posterior.

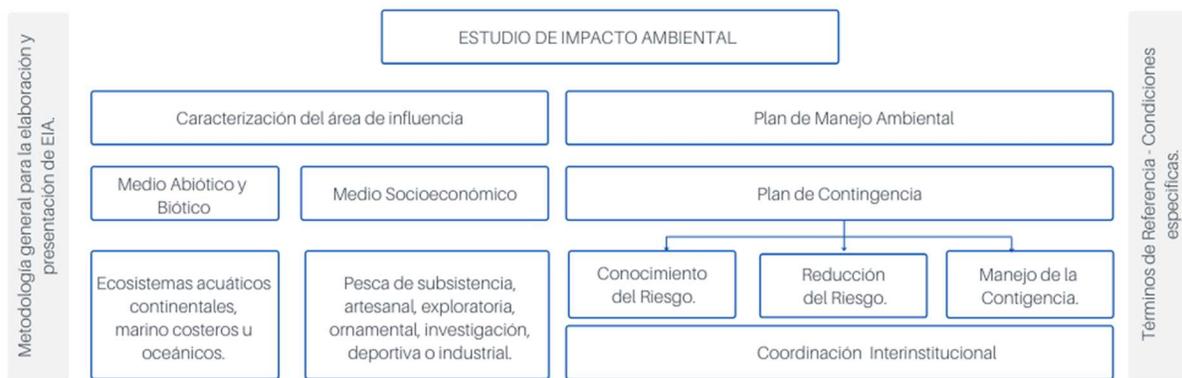
6.3 Procedimientos e información previa a la ocurrencia de la contingencia

Las actividades descritas en esta fase se recomiendan para alcanzar un nivel de alistamiento apropiado que facilite el desarrollo de las acciones que resulten necesarias durante la contingencia y para identificar las afectaciones generadas, que a su vez permitan formular una estrategia de recuperación ambiental adecuada. En ese sentido, y dado que resulta importante

identificar cuáles efectos corresponden a los impactos ambientales presentes y cuáles afectaciones corresponden a la contingencia; la caracterización reportada tanto en el EIA como en el PMA permitirá establecer las condiciones previas de los ecosistemas en el área.

Inicialmente, se requiere contar con información de línea base, cuya fuente principal corresponde a la caracterización presentada en el EIA por los proyectos, obras o actividades que identifiquen al recurso pesquero como un elemento expuesto dentro del Plan de contingencia; según lo establecido tanto en la Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales vigente, como en los Términos de referencia específicos (Figura 4).

Figura 4 Caracterización de línea base



Fuente: ANLA, 2021

Otra fuente de información de línea base corresponderá a la presentada en el Plan de Manejo Ambiental (PMA)⁸ que comprende los Programas de manejo, el Plan de seguimiento y monitoreo y el Plan de contingencia, principalmente relacionado con el proceso de conocimiento del riesgo.

6.3.1 Caracterización en el Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

La información de línea base requerida en la fase previa a la contingencia, se obtendrá a partir de la presentada en el EIA según las especificaciones técnicas establecidas en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales que se encuentre vigente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2018) tanto para el Estudio de Impacto Ambiental como para el Plan de Manejo Ambiental. Es importante identificar las condiciones físicas existentes en el área de influencia, particularmente relacionadas con la erosión o sedimentación en paisaje fluviales, la geomorfología costera, la calidad de sedimentos, la calidad del agua continental, en líneas de costa, zonas marino-costeras y oceánicas. En los casos en que aplique, será importante

⁸ Artículo 2.2.2.3.1.3. del Decreto 1076 de 2015

identificar también la definición del sistema de corrientes costeras, estudios de oleaje, mareas y marejadas.

Es necesario también conocer, y según lo establecido en la MGEPEA vigente, la caracterización cualitativa y cuantitativa de los ecosistemas acuáticos continentales, o marino costeros u oceánicos presentes en el área de influencia, incluyendo la composición y estructura de la flora y fauna existente; que exige la caracterización de las comunidades hidrobiológicas en sistemas lóticos, lénticos y marinos. Esta caracterización debería incluir un muestreo articulado espacial y temporalmente con los monitoreos de calidad de agua, la identificación o determinación taxonómica en laboratorio, la determinación de concentraciones de metales pesados en tejidos y la estructura de las poblaciones, tanto por sistema como por ensamble hidrobiológico⁹.

Además, debería ser posible identificar y caracterizar la fauna íctica de mayor importancia ecológica y económica asociada a los principales cuerpos de agua, así como las especies migratorias, en veda, endémicas y/o amenazadas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2018). En el mismo sentido, se deben considerar las especificaciones técnicas señaladas en los Términos de Referencia¹⁰ vigentes publicados por la autoridad ambiental, de acuerdo con las condiciones específicas del proyecto, obra o actividad, por ejemplo en cuanto a la caracterización de comunidades nectónicas se recomienda seguir los lineamientos vigentes para las actividades de perforación exploratoria de hidrocarburos costa afuera (ANLA 2020a).

Respecto a la caracterización del medio socioeconómico para proyectos, obras o actividades en áreas marino-costeras, la descripción de las actividades antrópicas presentes en el área de influencia del proyecto debería permitir identificar los actores vinculados a cada actividad (cantidad de personas, género, edad, escolaridad, residencia, nivel de educación, afiliación al sistema de salud, etc.), mano de obra y empleo, infraestructura y logística, estructuras asociativas y actividades económicas asociadas. Particularmente se debería conocer la caracterización de las actividades de pesca de subsistencia¹¹, pesca comercial artesanal¹², pesca exploratoria, ornamental, de investigación, deportiva o industrial, que se desarrollen en el área de influencia del proyecto, contemplando no sólo los pescadores que se encuentran en el sitio, sino también aquellos para los que el caladero de pesca o ruta de navegación se encuentre dentro del área, y demás grupos sociales que sustenten su economía en el aprovechamiento de recursos hidrobiológicos.

⁹ Peces, plancton, perifiton, macroinvertebrados bentónicos, plantas acuáticas o macrófitas y sus macroinvertebrados asociados

¹⁰ <https://www.anla.gov.co/normatividad/documentos-estrategicos/terminos-de-referencia>

¹¹ Según la Resolución 649 de 2019, la pesca de subsistencia es aquella que comprende la captura y extracción de recursos pesqueros en pequeños volúmenes, parte de los cuales podrán ser vendidos, con el fin de garantizar el mínimo vital para el pescador y su núcleo familiar.

¹² Según la Resolución 649 de 2019, la pesca comercial artesanal es la que realizan los pescadores, en forma individual u organizada, en empresas, cooperativas u otras asociaciones, con su trabajo personal independiente, con aparejos propios de una actividad productiva de pequeña escala y mediante sistemas, artes y métodos menores de pesca

Se recomienda que esta caracterización se desarrolle a partir de una metodología estándar tal como la establecida para las operaciones estadísticas del Servicio Estadístico Pesquero Colombiano - SEPEC de la AUNAP (AUNAP 2018), incluyendo la identificación de las Unidades Económicas de Pesca, los métodos de captura o artes de pesca usados y sus especificaciones técnicas, los costos de inversión y/o de operación para cada arte y faena, el número y características de embarcaciones empleadas, las especies capturadas por tipo de arte, el esfuerzo (duración de la faena) y captura por unidad de esfuerzo de pesca aplicado por arte, tallas promedio de captura por especie y por arte, sitios de desembarco, estacionalidad de las capturas, precios de comercialización por especie, ingresos totales y costos variables por faena y arte pesca, ubicación de zonas para crianza, reproducción y sustento de especies pesqueras marinas y continentales, presencia de caladeros y zonas de pesca representadas cartográficamente resaltando su potencial traslape con áreas de interés del proyecto en todas sus fases (antes y después) (ANLA 2020a).

De igual forma, estos análisis pueden apoyarse en fuentes de información secundaria oficiales disponibles para consulta como el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano - SEPEC de la AUNAP, la Dirección General Marítima - DIMAR, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el Instituto Humboldt, Corporaciones Ambientales Regionales, entre otras.

6.3.2 Plan de Manejo

También corresponde a la información de línea base requerida en la fase previa a la contingencia, la presentada en los Programas de manejo del recurso hídrico y del medio socioeconómico, de acuerdo con los lineamientos de la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales vigente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2018), donde se establecen las medidas correspondientes para el control de los impactos que pueden alterar el recurso pesquero y que a su vez generan cambios en el acceso y uso del recurso; incluyendo además el sistema de indicadores que permita hacer seguimiento a la efectividad en el manejo de tales impactos.

Por su parte, en el Plan de seguimiento y monitoreo a la calidad del medio, se puede identificar la caracterización del componente geomorfológico, hidrológico, oceanográfico, ecosistemas, fauna-hidrobiota y económico, así como las acciones planteadas para obtener la información y/o los datos para el cálculo de los indicadores propuestos y la frecuencia de medición. Este monitoreo facilitará la identificación tanto de los efectos correspondientes a los impactos ambientales como de las afectaciones correspondientes a la contingencia.

En este sentido, para el caso de proyectos hidroeléctricos, la Estrategia integral de monitoreo de los componentes hídricos, sedimentológico y de comunidades biológicas de los proyectos licenciados por ANLA (ANLA 2021), se constituye en una fuente de información de referencia; por cuanto contribuye al fortalecimiento de la línea base regional permitiendo identificar los efectos de impactos acumulativos en corrientes actualmente intervenidas por el sector hidroeléctrico y sobre las actividades económicas cercanas. Asimismo, apoya la toma de decisiones y el pronunciamiento de la autoridad ambiental frente a una contingencia que se llegase a presentar en algún proyecto de este sector.

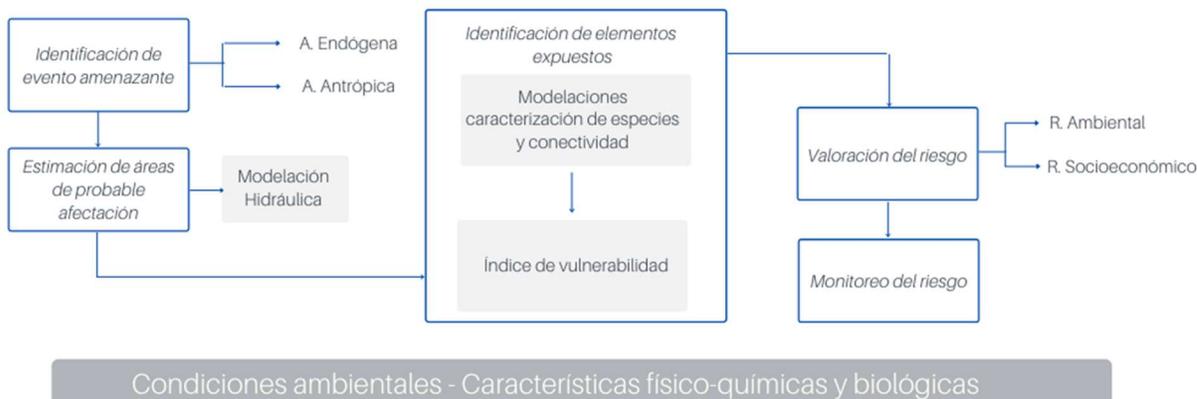
6.3.3 Plan de contingencia

El nivel de alistamiento en el desarrollo de las acciones que son necesarias durante la contingencia y durante la recuperación ambiental una vez suceda el evento, puede reconocerse a partir de los tres componentes esenciales: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de la contingencia, establecidos en la Ley 1523 de 2012, siguiendo los lineamientos descritos en el Decreto 1081 del 2015 adicionado por el Decreto 2157 de 2017 (artículo 2.3.1.5.2.8), además de los aspectos referidos a los riesgos que se podrían materializar sobre los ecosistemas acuáticos, continentales, marino costeros u oceánicos con afectación al recurso pesquero, descritos en el numeral 9º del artículo 2.2.2.3.5.1 y el artículo 2.2.2.3.9.3 del Decreto 1076 de 2015 o aquellos que los modifiquen o sustituyan.

6.3.3.1 Conocimiento del riesgo

En este componente es necesario conocer la valoración de los escenarios, la identificación de los peligros (causas de falla, frecuencia y probabilidad de los eventos), la estimación del área de afectación, la identificación de los elementos expuestos, y el análisis y evaluación del riesgo sobre el recurso pesquero.

Figura 5 Marco general para el conocimiento del riesgo por amenazas o interacción de amenazas.



Las condiciones ambientales, características fisicoquímicas y biológicas indicadas con la barra inferior muestran la influencia en todos los aspectos relacionados con este componente.

Fuente: ANLA, 2021

a) Identificación, caracterización, análisis y evaluación de eventos amenazantes

Es necesario identificar las acciones y/o actividades asociadas al proyecto, obra o actividad que generen eventos amenazantes para cualquier ecosistema acuático continental, marino costero u oceánico, y/o se establezcan hechos o consecuencias asociadas que se puedan presentar como siniestros y a su vez puedan causar la mortandad o afectación del recurso pesquero, la afectación de la integridad de sus hábitats y pérdidas económicas.

Los siguientes eventos amenazantes pueden estar considerados:

- Endógenos, operacionales asociados a los sectores de hidrocarburos (perforación exploratoria, áreas de desarrollo, líneas de transporte, refinerías y complejos petroquímicos), energía (Represas, Trasmases y Embalses Hidroeléctricas) y minería.
- Origen antrópico (intencionales y no intencionales), que puedan afectar el proyecto y generar afectación sobre el recurso pesquero.

Se deben identificar los siguientes elementos:

- Consecuencias finales (pérdida de contención de sustancias peligrosas, sedimentación, disminución en los niveles del agua, entre otras).
- Probables causas y frecuencias de falla (el análisis debe involucrar experiencias a nivel nacional e internacional en caso de no contar con información nacional, soportados con memorias de cálculo).

- Análisis de la probabilidad de ocurrencia para cada evento amenazante identificado.

b) Estimación de áreas de afectación por la materialización de eventos amenazantes

El conocimiento del riesgo debería permitir la determinación previa de las áreas probables de afectación, para los eventos amenazantes de origen endógeno y antrópico identificados en cada una de las fases del proyecto de manera espacial y temporal, dependiendo de las características de cada una de estas, definiendo y georreferenciando en dichas áreas los ecosistemas acuáticos continentales, marino costeros u oceánicos, según corresponda, para los diferentes escenarios de riesgo identificados, con base en la exposición del recurso pesquero.

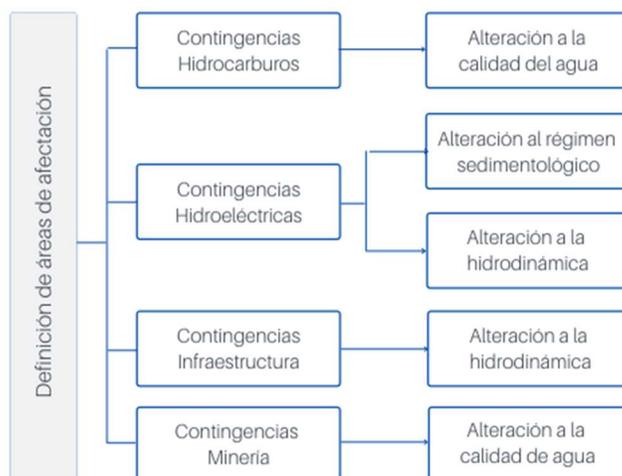
Los resultados de análisis deberán ser cartografiados en mapas de riesgos en los que integren los eventos amenazantes y la identificación de los elementos expuestos, a escala 1:10.000 o más detallada, según corresponda.

Modelación

La estimación de las áreas afectadas podrá incluir ejercicios de modelación, implementando métodos hidráulicos, que consisten en la medición de cambios de las variables hidráulicas con cambios de caudal, que permitan obtener curvas de respuesta del hábitat acuático al caudal.

Dado que los proyectos, obras o actividades de los diferentes sectores pueden presentar un riesgo para el recurso pesquero, la forma de identificar el área afectada en caso de materialización de un escenario de riesgo está determinada tanto por la ubicación como por el sector. El análisis de estos factores permite establecer la alteración a la calidad del agua, al régimen sedimentológico y a la hidrodinámica, como escenarios de riesgo en los sectores que han reportado el mayor número de eventos, según el grupo de contingencias de la ANLA (Figura 6).

Figura 6 Escenarios de riesgo para el recurso pesquero



Fuente: ANLA, 2021

En cada uno de los escenarios por sector se considera un determinado conjunto de variables para modelar la extensión y duración del evento.

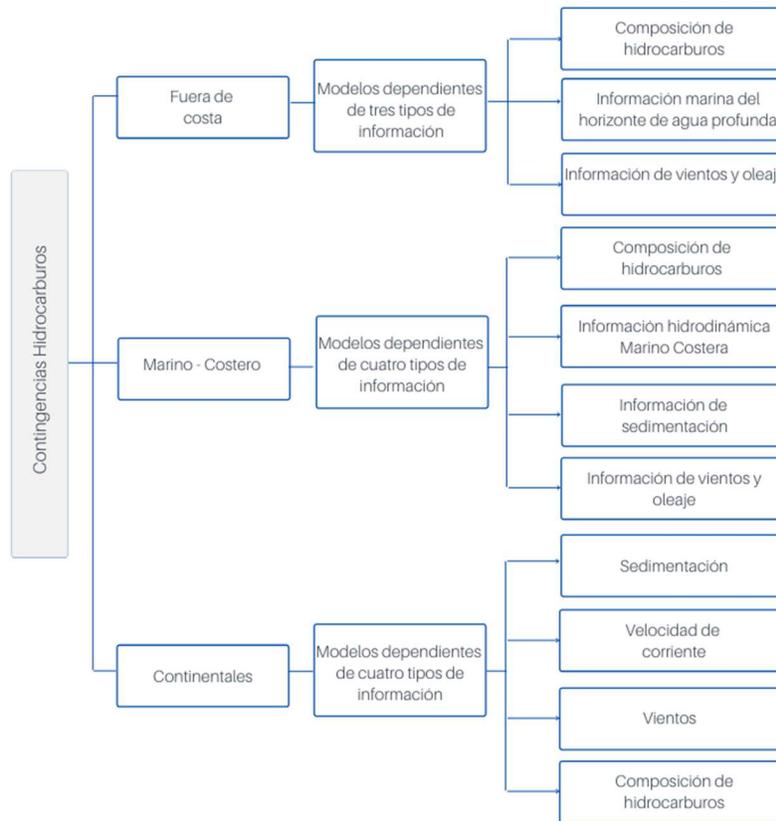
Contingencias de hidrocarburos:

Los derrames de petróleo son contingencias que pueden ocurrir en cualquier etapa del proyecto y dada su representatividad en términos de distribución en el territorio colombiano¹³, determinar el área de afectación de estos eventos es de vital importancia.

La modelación para determinar la extensión y duración del impacto del petróleo sobre cuerpos de agua ha sido adelantada por diferentes organismos a nivel mundial, tal como la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) que ha desarrollado diferentes herramientas para el monitoreo de los océanos (Spaulding 2017; Keramea et al. 2021). La información mínima requerida para desarrollar la modelación (Figura 7) se determina a partir de los tres escenarios expuestos y los diferentes modelos, en todos se considera la composición del hidrocarburo la variable más relevante, por cuanto determina el comportamiento del mismo en presencia de sedimentos dentro del cuerpo de agua.

¹³ La información del Sistema para el Análisis Geográfico de Información en el Licenciamiento Ambiental – AGIL, con respecto a la ubicación y área licenciada, muestra que el sector de hidrocarburos es el más extenso dentro del territorio continental colombiano. Además, según lo señalado por Jiménez-Segura and Lasso (2021) en *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*, el sector de hidrocarburos ha sido una fuente de contaminación del río Magdalena desde 1922.

Figura 7 Necesidades de información para modelos de derrames de petróleo por escenario.



Fuente: ANLA, 2021

Contingencias de energía e infraestructura:

La disminución repentina del volumen de agua y el aumento en los sedimentos suspendidos en el cauce del río, son algunos de los tipos de contingencias asociadas a proyectos hidroeléctricos que pueden llegar afectar el recurso pesquero¹⁴

La disminución repentina y prolongada del volumen de agua en un río representa un escenario en el que los ecosistemas acuáticos pueden ser afectados de manera sustancial, no solo por la pérdida de espacio vital, sino también por la vulnerabilidad a la sobrepesca que se puede presentar en los sitios donde los peces se encuentren empozados. La determinación de las áreas de afectación se realiza a través del análisis de la geomorfología del cauce a lo largo del río afectado, así como a través de análisis hidrodinámicos, que permitan analizar los cambios de caudal y detectar las áreas susceptibles al empozamiento.

¹⁴ Según lo señalado por Jiménez-Segura and Lasso (2021) en *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*, como parte del capítulo de conflictos ambientales y la modificación del hábitat que enfrentan los peces de la cuenca.

El aumento en sedimentos suspendidos puede tener impactos negativos en la calidad del agua superficial al igual que en los ciclos de vida juveniles de diferentes especies de hidrobiota. En el funcionamiento de proyectos hidroeléctricos la sedimentación resultante del proceso de depósito en los embalses genera no solo una acumulación de sedimentos producto de procesos erosivos naturales o antrópicos cuenca arriba, sino de acumulación de metales producto de actividades agrícolas o mineras cuenca arriba. Aunque todos los proyectos hidroeléctricos modernos tienen dentro de su operación actividades de manejo de estos sedimentos como parte de su mantenimiento, es posible que eventos extremos creen la necesidad de evacuación repentina tanto de agua como de sedimentos. Para la determinación de las áreas afectadas tanto por aumento de sedimentos en suspensión como depósitos a lo largo del cauce, se utiliza la información de hidrodinámica del cauce afectado para determinar la velocidad en que los sedimentos viajan a lo largo del cauce y el tiempo en que se depositan tanto en el lecho como en los meandros, ecosistemas rivereños y marino – costeros.

Contingencias mineras:

La determinación de áreas afectadas sobre cauces debe contemplar la dinámica correspondiente a un incremento de sedimentos en suspensión, dado que la dispersión y depósito de metales tiene un comportamiento similar a los de los sedimentos resultantes de procesos erosivos¹⁵. De igual manera, el seguimiento y monitoreo de calidad de agua, en especial la concentración de metales pesados en lechos y ecosistemas estratégicos dentro de las áreas de influencia hídrica del proyecto permite delimitar el alcance de la perturbación de manera completa.

Requerimientos generales para modelar áreas de afectación

En términos generales, los requerimientos para determinar el área de afectación a través de modelos de dispersión de contaminantes en cuerpos de agua consideran los siguientes aspectos:

- Definición e intensidad de la dispersión de contaminantes: Tratándose de hidrocarburos, sobrecarga de sedimentos, metales pesados y otras sustancias químicas, la determinación de un área de afectación depende de la información respecto a la cantidad del contaminante, de esta manera los modelos pueden determinar de manera rápida su dispersión.
- Naturaleza del contaminante: La información precisa del tipo de contaminante es indispensable a la hora de modelar su dispersión. En el caso de los hidrocarburos, al tener la información exacta de su composición se pueden establecer los tiempos en que los

¹⁵ Según lo señalado por Jiménez-Segura and Lasso (2021) en *Peces de la cuenca del río Magdalena, Colombia: diversidad, conservación y uso sostenible*, como parte del capítulo de conflictos ambientales y la contaminación del agua de la cuenca.

diferentes componentes químicos se disuelven en el agua. En el caso de sustancias químicas y metales pesados, la modelación puede determinar cuánto tiempo están en suspensión o cuanto tiempo se demoran en disolver a niveles tolerables para la hidrobiota. Por otra parte, conocer la peligrosidad del contaminante, permitirá establecer su comportamiento en el agua, la forma en que se desnaturaliza, y el tiempo que tomaría restituir las características originales del ecosistema.

- Condiciones meteorológicas: La temperatura y el viento pueden alterar la manera en que un contaminante interactúa con el agua. En el caso de hidrocarburos, temperaturas altas pueden causar una mayor solubilidad mientras que temperaturas bajas pueden encapsular la sustancia. En cuanto al viento, con sustancias más densas que el agua, la dirección y velocidad del viento puede influenciar la dirección en la que los contaminantes se dispersan.
- Relación con otros elementos en el cuerpo de agua: La geomorfología de los cuerpos de agua tanto continentales como marino costeros muestra los patrones en los cuales se acumulan los sedimentos. En el caso de sustancias contaminantes, esta misma geomorfología permitiría predecir en donde podrían acumularse dichas sustancias, en especial aquellas con mayor densidad que el agua. A su vez, las partículas en suspensión junto con algunas sustancias como los hidrocarburos y metales pesados tienden a vincularse, generando una mayor permanencia en el cuerpo de agua.

c) Identificación, definición, análisis y evaluación de elementos expuestos

En el análisis presentado de la probable afectación del recurso pesquero, se debería identificar la ocurrencia de eventos extremos (máximos y mínimos) teniendo en cuenta los efectos de la variabilidad climática, la calidad fisicoquímica en los ecosistemas acuáticos continentales, marino costeros u oceánicos a intervenir, la infraestructura proyectada, así como la información definida en la caracterización de los medios abiótico, biótico y socioeconómico y la identificación de áreas sensibles a partir de la zonificación ambiental definida en el estudio de impacto ambiental.

A partir de la información disponible, se puede realizar la caracterización de especies, modelando la conectividad en cada uno de los escenarios de riesgo, relacionados con las actividades propias del proyecto (en sus etapas, fases y actividades), identificando como mínimo los siguientes elementos expuestos:

- Especies de ictiofauna (sensibles), sitios de desove, rutas migratorias.
- Ecosistemas críticos.
- Grupos locales y unidades económicas de pesca.

- Caladeros de pesca artesanal e industrial.
- Acuíferos.
- Áreas ambientalmente sensibles.
- Áreas declaradas de protección ambiental.
- Sitios de captación de agua.

La identificación de los elementos expuestos se debe presentar a la escala más detallada posible, según corresponda, en función de las áreas de probable afectación (eventos amenazantes de origen socionatural y endógeno) definidas, estableciendo además la evaluación de la vulnerabilidad¹⁶.

d) Análisis y valoración del riesgo

Una vez identificados los eventos amenazantes endógenos y antrópicos, y con el análisis de la probable afectación del recurso pesquero, pueden conocerse los riesgos ambiental y socioeconómico. Para estos escenarios de riesgo, se debería contar con la descripción detallada de las metodologías y criterios, incluyendo la justificación de su selección y tolerabilidad en el análisis solicitado, que permita determinar la valoración de riesgos asociados a la probabilidad de ocurrencia y la severidad de las consecuencias, considerando lo siguiente:

- Priorización del riesgo.
- Criterios de aceptabilidad del riesgo, consideraciones técnicas, sociales, legales, financieras, percepción del riesgo. (Se deben realizar experiencias y comparaciones con países que tengan definidas políticas o documentos en el tema de la exposición del recurso pesquero).
- Identificación de medidas para el tratamiento del riesgo.

Una vez obtenidos los resultados de los riesgos ambiental y socioeconómico, se deben presentar sus mapas, considerando las áreas de afectación probables definidas a la escala más detallada posible, según corresponda.

e) Monitoreo del riesgo

Es importante reconocer el comportamiento en el tiempo de los eventos amenazantes y la vulnerabilidad del recurso pesquero, para lo cual se puede recurrir a las actividades definidas de monitoreo, parámetros e indicadores para medir la tendencia de cada evento respecto al

¹⁶ Entendida como la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 4º de la Ley 1523 de 2012

desarrollo del proyecto, frecuencia, y niveles de alerta para los eventos amenazantes con mayor probabilidad de ocurrencia.

Para el caso de los ecosistemas acuáticos se debería contar con los aspectos metodológicos y de diseño de muestreo para los monitoreos de calidad de agua, que deberían estar articulados espacial y temporalmente con los muestreos del recurso pesquero. De igual forma, se recomienda se sigan los estándares del SEPEC para el monitoreo de las actividades de pesca de subsistencia, pesca comercial artesanal¹⁷, pesca exploratoria, ornamental, de investigación, deportiva o industrial, que se desarrollen en el área de influencia del proyecto.

Se debe contemplar como mínimo:

- Protocolos o procedimientos teniendo en cuenta el conocimiento e identificación de eventos amenazantes y pronóstico de eventos inminentes.
- La ocurrencia de eventos de contingencia de donde parta el análisis de las lecciones aprendidas.
- Selección de parámetros e indicadores de identificación temprana y oportuna de alertas.
- Protocolos o procedimientos de notificación previos a una situación de emergencia a las autoridades y población de acuerdo con los umbrales de los parámetros e indicadores identificados.
- Información para mejorar la valoración del riesgo.
- La identificación de riesgos futuros.

6.3.3.2 Reducción del riesgo sobre el recurso pesquero

Se deberían identificar las medidas que han sido planteadas en el proyecto para la reducción del riesgo, considerando las intervenciones correctivas y prospectivas, que a su vez permitan identificar las acciones a implementar para disminuir las condiciones de amenaza y la exposición del recurso pesquero. Estas medidas deberían estar formuladas en función de las afectaciones identificadas sobre los componentes geomorfológico, hidrológico, oceanográfico, ecosistemas, fauna-hidrobiota y económico cuando sea procedente y deberían estar incluidas en los programas de manejo ambiental del PMA.

¹⁷ Según la Resolución 649 de 2019, la pesca comercial artesanal es la que realizan los pescadores, en forma individual u organizada, en empresas, cooperativas u otras asociaciones, con su trabajo personal independiente, con aparejos propios de una actividad productiva de pequeña escala y mediante sistemas, artes y métodos menores de pesca

6.3.3.3 Manejo de la Contingencia

El Plan de contingencia debería incluir en el Plan operativo además de los elementos mínimos señalados en la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales vigente (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2018), los procedimientos básicos de la atención o plan de respuesta a las potenciales situaciones derivadas de la afectación al recurso pesquero, que a su vez debe contemplar el componente de preparación y ejecución para la respuesta, así como el de preparación y ejecución de la recuperación ambiental (rehabilitación y reconstrucción), en concordancia con lo establecido en el Decreto 2157 de 2017.

En este sentido, en el componente de preparación deberían estar definidos los formatos y plantillas para la recolección de información en campo, recurso humano, económico, materiales y equipamiento necesarios para desarrollar el reporte de investigación, cuantificar la mortandad, y para la toma de muestras de agua, sedimento, fitoplancton y peces. De igual forma, deberían estar identificados los laboratorios de referencia relevantes y considerada toda la logística necesaria para el almacenamiento, transporte y recepción de muestras, en particular de animales vivos.

En el componente de ejecución, dentro del protocolo general deberían estar identificadas las acciones de investigación a desarrollar: reporte de investigación, muestreo de la mortandad, toma y análisis de muestras, cuantificación total de la mortandad, evaluación de pérdidas y análisis de necesidades; así como la presentación de los resultados a la autoridad ambiental en los respectivos reportes inicial, parcial y final.

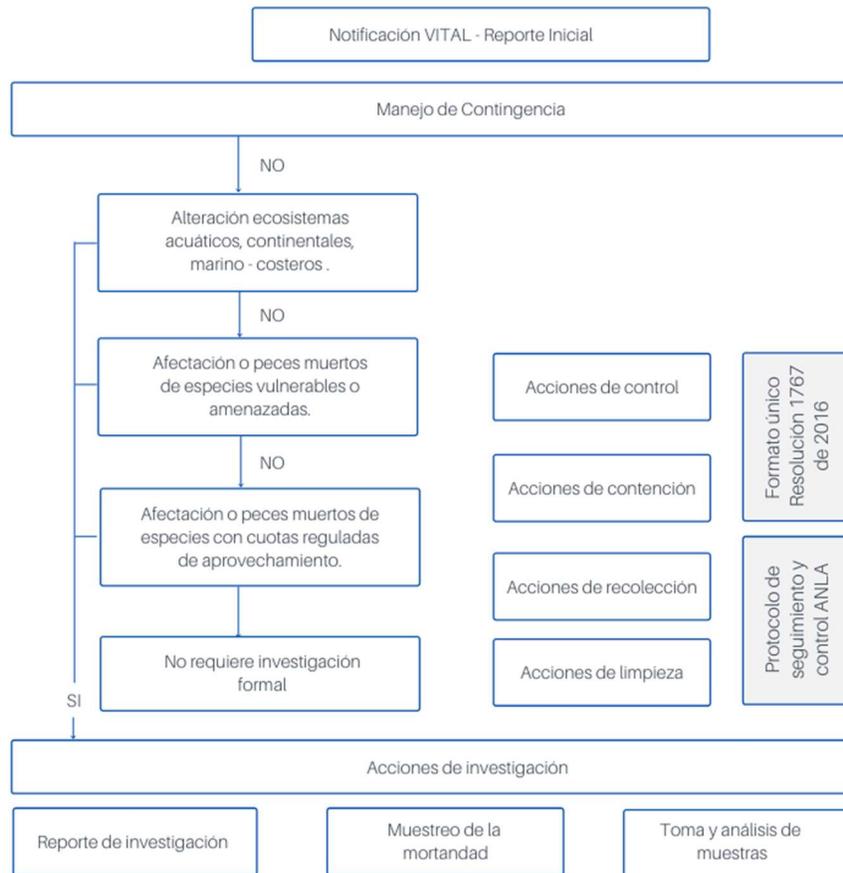
En el componente de la preparación y ejecución de la recuperación ambiental debería estar identificada la estrategia para la rehabilitación, reparación o reconstrucción del área afectada, los bienes y servicios interrumpidos o deteriorados y el restablecimiento e impulso del desarrollo económico y social de la comunidad (Ley 1523 de 2012, n.d.), a partir del establecimiento de las condiciones previas de los ecosistemas, la estimación de las pérdidas y el monitoreo de los componentes ambientales afectados, identificando nuevas condiciones de riesgo derivadas del evento y los daños ya ocurridos.

Finalmente, también es posible obtener la información respecto a la articulación con los planes de contingencia municipal, departamental y regional, y respecto a la capacidad de respuesta, propia y de las entidades de atención de emergencias en la región.

6.4 Procedimientos durante la ocurrencia de la contingencia

Cuando se materialice un riesgo que afecte el recurso pesquero, a partir de su notificación se deben desarrollar las acciones de control, contención, recolección, limpieza e investigación correspondientes, de acuerdo con el Plan de contingencia y las acciones establecidas en el componente de ejecución de la respuesta.

Figura 8 Acciones para la atención de contingencias sobre el recurso pesquero



Fuente: ANLA, 2021

6.4.1 Notificación y reporte de la contingencia

El titular o responsable del proyecto, obra o actividad debe reportar todo evento de contingencia en el Formato Único para el Reporte de Contingencias de la Ventanilla Integral de Trámites Ambientales en Línea – VITAL, dando cumplimiento a la Resolución 1767 de 2016. En el caso en que la autoridad ambiental reciba comunicaciones de contingencias a través de otros medios como: quejas de usuarios, correspondencia, solicitudes directas de otras autoridades u otro medio de comunicación (que deberá ser transcrita como soporte de la gestión a adelantar), se

procederá a verificar si corresponde a eventos reportados previamente por el titular del proyecto (ANLA 2020b).

De igual forma, se deberán reportar las medidas implementadas para prevenir, corregir, mitigar la contingencia, así como las tendientes a recuperar ambientalmente el área afectada considerando los plazos y condiciones establecidas para el envío de la información.

6.4.2 Seguimiento y control

El seguimiento y control a la atención de la contingencia está orientado por el *Protocolo de Seguimiento y Control a la atención ante contingencias ambientales*, realizada por los titulares de proyectos obras o actividades, viabilizados por la ANLA(ANLA 2020b), el cual parte del reporte inicial de la contingencia.

Una vez reportada la contingencia, la autoridad ambiental determina el nivel de emergencia para planear el seguimiento correspondiente a los informes parciales y de finalización que darán cuenta de las acciones de control, contención, recolección, limpieza e investigación, reportadas por el usuario, así como las correspondientes a la recuperación ambiental.

6.4.3 Acciones de investigación

Durante la ocurrencia del evento, en el marco de la Resolución 1767 de 2016 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que adopta el Formato Único para el reporte de las contingencias ambientales y las medidas implementadas para prevenir, corregir, mitigar la contingencia, así como las tendientes a recuperar ambientalmente el área afectada en los proyectos, obras o actividades sujetos a licenciamiento ambiental, y de la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y la formulación del Plan de contingencia para dar respuesta a los riesgos que se materialicen; se recomienda desarrollar las siguientes acciones de investigación, que permitan estimar las pérdidas generadas sobre el recurso pesquero.

6.4.3.1 Reporte de la investigación

Se debe establecer la localización, el momento y duración de la ocurrencia exactos para estimar el área afectada bien sea a partir de mediciones directas (cinta métrica, teodolito, GPS), o bien a partir de los ejercicios de modelación desarrollados en el conocimiento del riesgo y su correspondiente ajuste a las características encontradas en la inspección del cuerpo de agua.

Para las zonas o puntos críticos georreferenciados donde se encuentran los peces muertos o moribundos y aquellas definidas en la modelación, se deberían observar y registrar como mínimo:

los caudales y cambios en el nivel del agua, el estado del cuerpo de agua (oleaje, intensidad), la dirección de la corriente, condiciones meteorológicas previas y actuales (vientos, lluvias, temperaturas, nubosidad), y parámetros fisicoquímicos del agua (temperatura, oxígeno disuelto, pH, amonio total y salinidad en caso de un ambiente estuarial, marino o salobre) tanto en la orilla y el centro del cuerpo de agua como en la superficie y a profundidad.

Los formatos para la recolección de estos datos en campo serán los establecidos en el Plan de contingencia, en el componente de preparación de la respuesta. Estos pueden ser elaborados o adaptados a partir del manual *Investigation and Monetary Values of Fish and Freshwater Mollusk Kills* (Southwick and Loftus 2017) y/o la metodología para el muestreo del Protocolo de acciones ante mortandades de peces del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Volpedo et al. 2019), siempre y cuando se consolide la información mínima establecida.

6.4.3.2 Muestreo de la mortandad

A partir del conteo total, puede establecerse el número de peces muertos en un área determinada, sin embargo, no resulta viable cuando el número de peces es muy grande y el área demasiado extensa; por tanto, debe utilizarse una metodología de muestreo apropiada para obtener una muestra representativa y estadísticamente viable del área impactada (Southwick and Loftus 2017).

Aunque la magnitud de afectación al recurso pesquero depende en gran medida de la especificidad del evento, la definición del área y el diseño muestral para la recolección son las principales variables para realizar conteos de peces muertos. En este sentido, puede desarrollarse alguno de los métodos sugeridos en el manual *Investigation and Monetary Values of Fish and Freshwater Mollusk Kills* (Southwick and Loftus 2017) y/o la metodología para el muestreo del Protocolo de acciones ante mortandades de peces del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Volpedo et al. 2019).

Cabe resaltar que, dada la diversidad en las tasas de mortandad inducida de peces, todo muestreo de recolección de una afectación íctica subestima el total de individuos afectados, por lo que los datos calculados con estas técnicas deben entenderse como límites inferiores del total de mortandad.

a) Definición de áreas de muestreo

La escogencia del área de muestreo depende entre otras variables de la capacidad de los responsables para dedicar personal, invertir tiempo, maquinaria y otras variables que pueden robustecer el conteo de peces muertos. El objetivo principal de la definición de áreas de muestreo

es lograr que la muestra de los individuos recolectados represente con significancia estadística el total de la población afectada. Para ello, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos (Southwick and Loftus 2017):

1. Sitios de Muestreo: El muestreo más válido estadísticamente es aquel que presenta una mínima introducción de sesgo, por tanto, los sitios de muestreo deben seleccionarse aleatoriamente, lo cual implica que cada sitio de muestreo accesible debe tener la misma probabilidad de ser seleccionado. En caso de que los sitios de muestreo no puedan ser seleccionados de forma aleatoria (por temas de accesibilidad, seguridad, etc.) se debe restringir la extrapolación (factor de expansión) al área en donde se tomaron las muestras.
2. Exactitud y precisión: Entre mayor sea el tamaño del muestreo (área cubierta y peces recolectados) mayor será la certeza estadística para dimensionar el total de peces muertos.
3. Diseño del área muestreo: Un adecuado diseño de muestreo debe considerar que el total del área de estudio se vea representado en las subdivisiones y que estas no se superpongan para evitar doble contabilidad. Asimismo, el diseño debe contemplar áreas prácticas de muestreo que permitan a los recolectores tomar muestras representativas que no excedan la capacidad del personal y los equipos usados para esta labor (tamaño de los botes, número de recolectores, días de recolección planeados, etc.)
4. Cuerpo hídrico afectado. En áreas continentales los diseños muestrales son generalmente divididos en dos dimensiones (largo por ancho) (Southwick and Loftus 2017). Sin embargo, en áreas marinas dada la imposibilidad de contar con barreras naturales que delimiten los límites de la afectación, pueden considerarse áreas donde se presenten gradientes de concentración.

b) Diseño muestral

Luego de tener dimensionada el área, se sugiere llevar a cabo un muestreo sistemático enfocado en la definición de transectos paralelos que la abarquen completamente; para ello se debe establecer una línea de muestreo de longitud conocida, paralela al cauce hídrico y perpendicular a los transectos.

Una vez definida la línea de muestreo se recomienda delimitar el ancho del transecto estimando el alcance de la malla o red de pesca usada desde el bote, para poder hacer la recolección de los peces desde las embarcaciones. Con base en esta distancia se pueden identificar el ancho de todos los transectos ya que su medida depende de las capacidades humanas y herramientas que se disponga para hacer la recolección. A continuación, se sugiere establecer el número de

segmentos entre los cuales se dividirá la línea de muestreo (se recomiendan por lo menos tres) y a partir de estos el número de transectos (sitios de muestreo) (Southwick and Loftus 2017).

Posteriormente se procede con la estimación de la distancia entre sitios de muestreo, dividiendo la longitud de la línea de muestreo por el número de sitios de muestreo seleccionados. El número de transectos entre cada segmento puede ser hallado dividiendo la distancia entre los sitios de muestreo y el ancho de cada transecto. Se sugiere redondear al entero más cercano el número de transectos y la distancia entre sitios de muestreo con el fin de poder asignar identificadores que puedan ser escogidos aleatoriamente (Southwick and Loftus 2017).

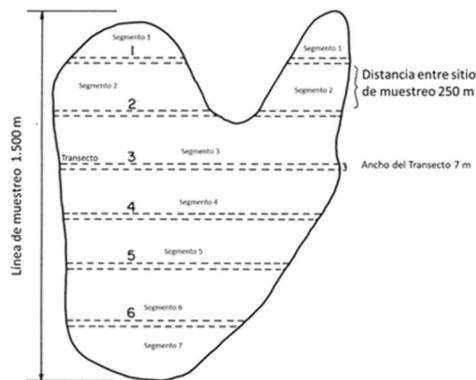
Procedimiento en campo

- Iniciar el muestreo en la zona que cubre la primera distancia entre dos sitios de muestreo y seleccionar un transecto aleatoriamente.
- Ubicarse en el centro de este transecto y proseguir realizando muestras a la misma distancia calculada entre sitios de muestreo (de centro a centro).
- Continuar haciendo este procedimiento secuencialmente (sumando la distancia entre sitios de muestreo desde el punto donde está muestreando) hasta cubrir la línea de muestreo. La aleatorización solo se debe realizar para seleccionar el primer transecto, a continuación, los sitios de muestreo son seleccionados sumando la distancia en sitios de muestreo consecutivamente hasta cubrir toda la línea de muestreo (Southwick and Loftus 2017).
- En el caso de zonas abiertas (playas), puede estimarse entre 200 – 300 metros la distancia entre sitios de muestreo, pero al menos deben ubicarse dos sitios de muestreo a 25% y 75% de la distancia total (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS - INVEMAR 2014).
- En el caso de áreas marinas confinadas (lagunas o bahías cerradas), en el eje central a 25% y 75% de la parte más ancha se deben ubicarse al menos dos sitios de muestreo. Además, se deben adicionar sitios de muestreo en la dirección en la que se presenten gradientes.
- Para cada segmento y/o transecto, identificar, contar y registrar en las plantillas establecidas, los peces muertos por especie, tamaño o categoría en que sean clasificados.
- En el caso en que aplique, también deben cuantificarse los individuos colectados para rescate y reubicación.
- Considerar en el diseño variables tales como sentido de la toma de muestras (a favor, en contra de la corriente), duración del muestreo (número de días), entre otras, señaladas dentro de los protocolos internacionales ya referenciados.
- Los formatos para la recolección de estos datos son los establecidos en el Plan de contingencia, en el componente de preparación de la respuesta. Estos pueden ser

elaborados o adaptados a partir de los protocolos para la atención de mortandades ya referenciados, siempre y cuando se consolide la información mínima establecida.

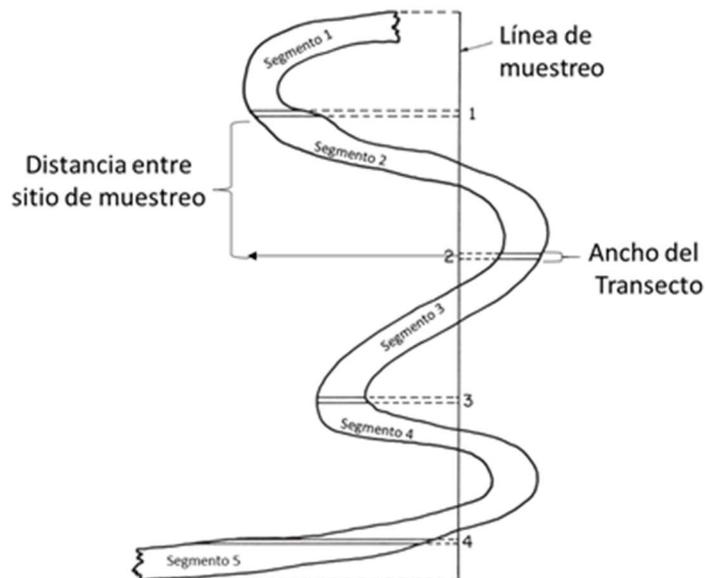
En las Figuras 9 y 10 se representa esquemáticamente el diseño muestral para un cuerpo de agua lentic (ej. lago) y un cuerpo de agua lotico (ej. río) respectivamente, adaptado al sistema internacional de medidas (metros).

Figura 9 Definición de línea de muestreo, transectos y distancia entre transectos para un cuerpo lentic



Fuente: Adaptado de Southwick & Loftus, 2017

Figura 10 Definición de Línea de muestreo, transectos, y distancia entre transectos para un cuerpo lotico



Fuente: Adaptado de Southwick & Loftus, 2017

Es importante que cada punto de recolección de individuos muertos sea georreferenciado en el momento de la toma de muestras y que se guarde un registro del tamaño, peso, especie y número de peces contados en esta coordenada. Asimismo, se sugiere que cada embarcación cuente con al menos dos personas para poder hacer la recolección (Southwick and Loftus 2017).

6.4.3.3 Toma y análisis de muestras de laboratorio

Identificar las causas probables de la afectación al recurso pesquero permite a su vez realizar la cuantificación biofísica de sus efectos y minimizar las pérdidas, para lo cual debería soportarse en análisis de laboratorio. Entre las causas naturales directas pueden considerarse temperaturas extremas, cambios bruscos del pH, bajas concentraciones de oxígeno disuelto, bajos caudales, presencia de fitoplancton nocivo y exceso de materia orgánica; las causas de origen antrópico incluyen derrames de hidrocarburos, pulsos de contaminantes o vertidos de efluentes cloacales (metales, plaguicidas, sulfuros por diapirismo), eventos patológicos y actividades de dragado y arrastres de los fondos marinos, que generan alteración, modificación o fragmentación del hábitat (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS - INVEMAR 2014).

Se deben tomar entonces muestras de agua, sedimento, fitoplancton nocivo y peces, almacenarlas y enviarlas a laboratorios de referencia para su análisis, siguiendo los procedimientos aplicados para la toma y el almacenamiento de muestras, por ejemplo los establecidos en el Protocolo de acciones ante mortandades de peces de CONICET (Volpedo et al. 2019), y/o en el Protocolo de actuación en caso de mortandades de organismos marinos de INVEMAR (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS - INVEMAR 2014), entre otros.

En la Tabla 1 se resumen los tipos de muestra y análisis correspondientes, de acuerdo con los Protocolos señalados.

Tabla 1 Tipos de muestra y análisis

Tipo de muestra	Análisis
Agua a diferentes profundidades	Nutrientes inorgánicos (nitratos, nitritos, amonio, fosfatos), DBO, Materia orgánica oxidable, Metales pesados, Hidrocarburos aromáticos totales, Plaguicidas clorados y fosforados, Sulfuros
Sedimentos	Hidrocarburos aromáticos totales, Plaguicidas clorados, Metales pesados
Fitoplancton	Análisis cuantitativo, identificación taxonómica.
Peces vivos, moribundos, recién muertos, enteros, con o sin anomalías externas	Registro de comportamientos anormales y signos físicos asociados. Identificación hasta el nivel taxonómico más bajo.

	Estudios de histopatología, toxicológicos y bacteriológicos.
--	--

Fuente: ANLA 2021 a partir de CONICET e INVEMAR

6.5 Procedimientos después de la ocurrencia de la contingencia

En esta fase se procesa y analiza la información generada a partir de la ejecución de las acciones implementadas durante la ocurrencia del evento.

6.5.1 Estimación total de la mortandad del recurso pesquero

A partir de la información registrada en el muestreo, se deberán realizar los cálculos correspondientes para estimar la mortandad total y su respectivo error estándar.

6.5.1.1 Métodos para la estimación de la mortandad total

De acuerdo con *Southwick and Loftus (2017)* la estimación del total de la mortandad dada una contingencia o un evento de mortandad inducida puede realizarse a partir de dos métodos, cuya escogencia depende de la disponibilidad de la información recolectada en campo.

Método A: Conociendo la longitud de la línea de muestra, el número y el ancho de los sitios de muestreo y el total de peces recolectados en cada sitio; el total de peces muertos en el área afectada se puede estimar a partir de las ecuaciones 1 o 2:

*Total peces muertos = Número promedio de peces muertos recolectados en los sitios de muestreo * Número total de transectos/segmentos en el área (ecuación 1)*

*Total peces muertos = Número total de peces recolectados en todos los sitios de muestra * Factor de expansión (ecuación 2)*

Las ecuaciones 1 y 2 deberán producir los mismos resultados.

El Factor de expansión a su vez puede ser estimado a partir de las ecuaciones 3 o 4:

Factor de expansión = Número total de sitios de muestreo potenciales / Número real de sitios de muestreo (ecuación 3)

Factor de expansión = Longitud total de la línea de muestreo / ancho total de los transectos/segmentos en donde se tomaron las muestras (ecuación 4)

Método B. Si además de los datos recolectados se cuenta con información para determinar el área y la longitud de la línea de muestreo y cada sitio de muestreo (por ejemplo imágenes

satelitales) este método incrementa la exactitud y precisión de las estimaciones. Al igual que en el método A se debe tener la información del total de peces recolectados por sitio de muestro, pero dado que se cuenta con el área de cada sitio es posible estimar una densidad poblacional (ecuación 5) y con esta calcular el total de peces (ecuación 6)

Densidad promedio de peces muertos = Número total de peces recolectados en los sitios de muestreo / Área total de los sitios de muestreo (ecuación 5)

*Total peces muertos = Densidad promedio de peces muertos * Área total de estudio (ecuación 6)*

6.5.1.2 Aproximación al error estándar

La precisión o validez estadística de una estimación es medida por el error estándar (EE) o por la varianza. El error estándar es un número determinado por la variabilidad de los datos y el tamaño de muestra, lo que indica que un mayor número de muestras representa mayor precisión, entonces entre más pequeño sea el error más precisa será la estimación.

Para un muestreo sistemático como el planteado en la fase previa, una medida aproximada de la precisión corresponde al error estándar proporcional, cuyo cálculo se hace dividiendo el valor del EE sobre el total del valor estimado de peces muertos. En teoría, la precisión requerida para el muestreo se establece previamente a la definición del número de sitios de muestreo, aunque incluso una modesta precisión (error estándar proporcional del 15%) puede requerir demasiado esfuerzo de muestreo en el caso de numerosos individuos, debido a la gran variabilidad que se presenta en el conteo de muestras.

Southwick and Loftus (2017) sugieren dos técnicas para aproximarse al EE cuya escogencia depende del método de muestreo seleccionado para la estimación de peces muertos (Método A o Método B).

Error estándar con el cuadrado de la diferencia promedio sucesiva.

Si el número total de peces muertos es estimado a partir de la ecuación 1, una aproximación al EE se estima con la ecuación 1:

$$EE \text{ promedio de la muestra} = \sqrt{(\sum d^2)/2N(N-1)} \text{ (ecuación 7)}$$

En donde d es la diferencia entre conteos sucesivos en los sitios de muestra y N el número de sitios de muestra.

Por su parte, si el número total de peces muertos es estimado a partir de la ecuación 2, una aproximación al EE se estima con la ecuación 8:

$$EE \text{ de conteos totales} = \sqrt{N(\sum d^2)/2(N - 1)} \quad (\text{ecuación 8})$$

Error estándar con proporción estimada

Cuando se conoce la densidad de peces afectados por unidad de área, la aproximación al error estándar tiene una forma diferente a la del error estándar con el cuadrado de la diferencia promedio sucesiva. Para este caso es necesario conocer tanto el área afectada como el área de cada sitio de muestreo (Método B) y la densidad por unidad de área (R), es la proporción estimada, que se calcula a partir de la ecuación 9:

$$R = \frac{\text{(suma de los peces recolectados en todos los sitios de muestra)}}{\text{(suma de las area de todos los sitios muestreados)}} \quad (\text{ecuación 9})$$

La estimación del total de peces muertos se calcula multiplicando R por el área total afectada. El error estándar aproximado para este total estimado requiere dividir la sumatoria del cuadrado de las diferencias entre los conteos reales de peces y los valores pronosticados en la misma área, dada la densidad R. La ecuación 10 muestra la igualdad propuesta para este escenario:

$$EE \text{ del total estimado} = U\sqrt{\sum(D^2)/N(N - 1)} \quad (\text{ecuación 10})$$

En donde U es el número total de unidades (transectos) en el área total afectada, D la desviación o diferencia del valor observado y el valor pronosticado ($R \times$ área del sitio de muestra) y N el número de sitios de muestreo.

Ejemplos de estimaciones de errores estándar

A continuación, se presentan dos ejemplos tomados de *Southwick and Loftus (2017)* para estimar los errores estándar.

Ejemplo 1: En un lago como el que se observa en la Figura 9 se recolectaron 300 peces muertos en seis transectos, tal y como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Registro de peces en transectos de longitud conocida

Transectos (N)	Conteo (C)	Diferencia <i>d</i>	Cuadrado de la diferencia <i>d</i> ²
1	14		
2	67	53	2809
3	107	40	1600
4	55	-52	2704
5	29	-26	676
6	28	-1	1
TOTAL	300	14	7790

Fuente: Adaptado de Southwick & Loftus, 2017 (Southwick and Loftus 2017)

Si el número total de peces muertos es estimado a partir de la ecuación 2, es decir como el producto del número total de peces muertos recolectados (300) por el factor de expansión (FE), el primer paso consiste en estimar el FE.

Inicialmente, el número total de transectos es:

$$\begin{aligned} & \text{total de sitios de muestreo potenciales} \\ & = (\text{Longitud de línea de muestreo}) / (\text{ancho de un transecto}) \\ & = 1.500\text{m} / 7\text{m} = 214.28 \end{aligned}$$

Por lo que el FE según la ecuación 3 es:

$$FE = (214.28) / 6 = 35.7$$

De manera que el número total de peces afectados a partir de la ecuación 2 es:

$$\# \text{ total peces afectados} = C * FE = 300 * 35.7 = 10.714$$

Se estima el EE aproximado a partir de la ecuación 8 con:

$$EE \text{ conteos totales} = \sqrt{6(7790) / 2(6 - 1)} = 68.4$$

$$EE * FE = 68.4 * 35.7 = 2.442$$

Cuya división sobre el número total de peces estimado, arroja un EE proporcional del 23%:

$$EE \text{ proporcional} = 2.442 / 10.714 = 23\%$$

Ejemplo 2. El área total de un lago es 1.200.000 m² y las áreas de los transectos muestreados, se presentan en la Tabla 3. Estimar la densidad promedio de peces afectados (R), el número total de peces afectados y el error estándar proporcional de la estimación

Tabla 3 Registro de peces en transectos de área conocida

Transecto	Longitud (m)	Área (m ²)	Conteo de peces observados (C)
1	400	2.800	14
2	800	5.600	67
3	1.000	7.000	107
4	800	6.300	55
5	850	5.950	29
6	600	4.200	28
TOTAL	4.450	31.850	300

Fuente: Adaptado de Southwick & Loftus, 2017 (Southwick and Loftus 2017)

La estimación de R a partir de la ecuación 9 con base en los totales observados y el área es:

$$R = \frac{\text{(suma de los peces recolectados en los sitios de muestra)}}{\text{(suma de las area de los sitios de muestra)}} = \frac{300}{31.850} = 0,0094192$$

Con este valor de R, el número total de peces afectados es:

$$\# \text{ total peces afectados} = C * R = 1.200.000 * 0,0094192 = 11.303 \approx 11.300$$

Por lo tanto, el número de peces estimado según R y las diferencias en cada transecto se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 Número de peces estimados y diferencias por transecto

Transecto	Área (m2)	Conteo de peces observados (C)	R	Peces pronosticados (área * R)	Diferencia entre el observado y el pronosticado <i>d</i>	Cuadrado de la diferencia <i>d</i> ²
1	2.800	14	0,0094192	26,4	-12,4	153,1
2	5.600	67	0,0094192	52,8	14,2	203,1
3	7.000	107	0,0094192	65,9	41,1	1.686,4
4	6.300	55	0,0094192	59,3	-4,3	18,8
5	5.950	29	0,0094192	56,0	- 27,0	731,4
6	4.200	28	0,0094192	39,6	-11,6	133,6
TOTAL	31.850	300		300	0	2.927

Fuente: Adaptado de Southwick & Loftus, 2017 (Southwick and Loftus 2017)

Para utilizar la ecuación 10, primero se estima *U* como el # *total de Transectos*:

$$\begin{aligned} \# \text{ total de Transectos} &= (\text{Longitud de línea de muestreo}) / (\text{ancho de un transecto}) \\ &= 1.500\text{m} / 7\text{m} = 214.28 \end{aligned}$$

Por lo tanto, el EE

$$EE \text{ del total estimado} = 214.28 \sqrt{\sum (2927) / 6(5)}$$

$$EE = 2.117 \text{ peces}$$

$$EE \text{ proporcional} = 2117 / (11.300) = 0.188 \text{ o } 18\%$$

El error estándar proporcional muestra un incremento en la precisión para el ejemplo con área conocida, aunque para ambos ejemplos sigue siendo modesta.

6.5.2 Recuperación ambiental

Posterior a la ocurrencia del evento se debe iniciar la fase de recuperación ambiental del sitio mediante la rehabilitación, reparación o reconstrucción del área afectada, los bienes y servicios interrumpidos o deteriorados y el restablecimiento e impulso del desarrollo económico y social de la comunidad (Ley 1523 de 2012). Esta fase incluye el monitoreo de los componentes ambientales afectados, el restablecimiento de los ecosistemas a sus condiciones previas y el reporte del avance del Plan de Recuperación Ambiental, cuando así proceda según el nivel de la contingencia y acorde con lo establecido en la Resolución 1767 de 2016 o aquella que la modifique o sustituya.

El propósito de la recuperación ambiental también es evitar la reproducción de las condiciones de riesgo preexistentes e identificar aquellas derivadas de la contingencia y los daños ocurridos. En ese sentido, es necesario en el momento de la ocurrencia del evento, identificar cuáles efectos corresponden a los impactos ambientales presentes y cuáles corresponden a la contingencia. La caracterización reportada tanto en el EIA como en el PMA permitirá establecer las condiciones previas de los ecosistemas en el área, mientras que con la evaluación posterior al evento se puede establecer la magnitud de las pérdidas y las afectaciones socioambientales.

6.5.2.1 Evaluación de las pérdidas

La identificación de los cambios en los parámetros monitoreados del recurso hídrico y en la composición y estructura de la flora y fauna existente en los ecosistemas acuáticos continentales, o marino costeros u oceánicos; permiten determinar la destrucción, reducción o alteración del recurso pesquero y también la disminución, incremento o modificación de los niveles y flujos de producción y productividad de los servicios ecosistémicos asociados, según sea el caso.

En la Tabla 5 se presenta a manera de ejemplo, la relación de las condiciones que pueden ser determinadas a partir de los cambios en diferentes parámetros.

Tabla 5 Cambio en parámetros y sus consecuencias

Cambio en:	Permite determinar:
Temperatura	Calentamiento anormal
Oxígeno disuelto	Procesos de anoxia
pH	Condiciones acidas o básicas anormales
Salinidad	Entradas anormales de agua dulce
Nutrientes inorgánicos, DBO	Entradas anormales de materia orgánica

Hidrocarburos aromáticos totales (> 300 µg/L)	Toxicidad aguda
Fitoplancton	Agotamiento de oxígeno en la columna de agua, obstrucción de branquias
Captura por unidad de esfuerzo, tallas promedio de captura	Reducción de la renta económica

Fuente: ANLA 2021 a partir de INVEMAR (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS - INVEMAR 2014)

Para el caso de los cambios en las actividades de pesca desarrolladas en el área afectada, es importante llevar a cabo monitoreos en las cuencas o zonas marinas conforme un mismo servicio estadístico pesquero (SEPEC/SIPEIN), siguiendo la metodología correspondiente para el registro de la información.

Finalmente, la categorización del daño y la estimación de las pérdidas son el insumo para la identificación de las necesidades que pueden orientarse hacia la restauración, rehabilitación y/o recuperación ecológica, según corresponda.

6.5.3 Costo y valoración económica de la afectación al recurso pesquero

La estimación de las pérdidas económicas por la afectación al recurso pesquero, puede desarrollarse a partir de los lineamientos establecidos en *Investigation and monetary values of fish and freshwater mollusk kills* (Southwick and Loftus 2017), donde se establecen cuatro componentes para el daño monetario total: costos de reemplazo, pérdida provisional de valor biológico, valor de uso y valor de no uso.

En los casos en que no sea posible establecer el daño monetario total, dada la disponibilidad de información, se considerará una valoración parcial y estará referida exclusivamente al componente (s) evaluado (s).

Figura 11 Componentes del daño monetario total



Fuente: Adaptado de Southwick & Loftus, 2017 (Southwick and Loftus 2017)

Para establecer el daño monetario total, inicialmente se recomienda identificar si la contingencia genera pérdidas sobre la pesca comercial o recreacional, se presenta en hábitats únicos, ocurre para especies en peligro, amenazadas o protegidas y especies de talla superior. En tal caso, y basándose en el concepto de valor económico deberían emplearse métodos tales como valoración contingente o Conjoint, que permitan determinar la forma en que las pérdidas modifican el comportamiento de las personas, el uso del recurso y el valor que se le otorga.

Componente 1. Costos de reemplazo

Estos pueden estar basados en los costos de producción del recurso pesquero en el área o región y ser usados como una aproximación a los costos de la mortandad, aunque de esta manera se subestiman sustancialmente el verdadero valor económico de las pérdidas (Southwick and Loftus 2017).

Este método fue utilizado en el año 2008 para estimar el daño económico de la mortandad de peces debida a la liberación de grandes cantidades de sedimento orgánico en el río Pigeon en Minnesota, por una falla mecánica en la operación de la represa Golden Lotus. El estudio estimó la mortandad de 474.486 truchas, cuyos costos de reemplazo sumados a los costos de investigación ascendieron a \$ 668.236 dólares (Nuhfer, Borgeson, and Newman 2008) .

Costos de repoblamiento y restauración

Como parte de los costos de reemplazo, deberían considerarse los costos de vehículos, combustible, agua, químicos, contenedores, personal y gastos generales asociados al transporte de los individuos hasta el sitio final. De igual forma, incluir los costos de suministros, equipo, personal y gastos generales correspondientes a la rehabilitación física y química del hábitat (Southwick and Loftus 2017).

Costos de investigación y administración

Resulta conveniente también identificar los costos en los que incurren las autoridades ambientales y demás entidades que resulten involucradas en la atención del evento, tales como costos de transporte, equipos, disposición de peces muertos, gastos generales, entre otros (Southwick and Loftus 2017).

Componente 2. Pérdida provisional del valor biológico

La pérdida provisional biológica es una cuantificación de la pérdida generada durante el evento y hasta el momento en que se retorne a las condiciones previas a la mortandad o de línea base. Con los costos de reemplazo por cada año de recuperación, se calcula su VPN usando como tasa de descuento, la tasa de recuperación anual.

La estimación de esta pérdida es útil cuando se cuantifican mortandades totales o a gran escala, cuando el repoblamiento no es una opción viable y las poblaciones fuente para recolonización natural son limitadas (Southwick and Loftus 2017).

Componente 3. Valor de uso

Es el valor para los usuarios del recurso pesquero y todos aquellos que no podrán aprovecharlo mientras tenga lugar el evento. Estos valores se expresan monetariamente como un promedio por usuario/día y el daño monetario se calcula multiplicándolo por el número de usuarios/días durante el tiempo de afectación (Southwick and Loftus 2017). Entre otras fuentes, en el Servicio Estadístico Pesquero Colombiano – SEPEC y en el Sistema de información de precios – SIPSAs, pueden ser consultados los precios por kilogramo para algunas especies en diferentes mercados del país.

Este método se utilizó con el fin de evaluar los potenciales efectos de las actividades de dragado sobre la actividad pesquera, en el marco del control y seguimiento ambiental al proyecto “Actividades de mantenimiento y relimpia del canal del Dique”. El monitoreo de la pesca artesanal se llevó a cabo entre noviembre de 2012 y octubre de 2013 en Pasacaballos, Bocachica y Ararca, tres sitios de desembarco de importancia pesquera. Usando el Sistema de Información Pesquera del INVEMAR (SIPEIN) y la información primaria registrada por encuestadores locales, se evaluaron variables de desempeño tales como captura por especie, sitio, método de pesca y esfuerzo pesquero (Viloria, Rueda, and Pardo 2014).

La mayor captura anual correspondiente a 127,4 t fue desembarcada en Pasacaballos con un esfuerzo de pesca de 9.996 faenas anuales. Se registraron un total de 110 especies entre peces, crustáceos y moluscos, en general las capturas mostraron individuos por debajo de sus tallas medias de madurez, evidenciando riesgo de sobreexplotación. Por su parte, el desempeño económico en términos del ingreso bruto anual se estimó en \$ 1.355.576.313, la renta económica supero el salario mínimo mensual legal vigente (\$589.500) antes de las actividades de mantenimiento y relimpia, mientras que durante y después de estas, se redujo alrededor de \$491.419 (Viloria, Rueda, and Pardo 2014).

Componente 4. Valor de no uso

Es el valor que se asigna a la existencia de un recurso o a la oportunidad de usarlo en el futuro, los reportes de estimaciones empíricas de valores de no uso para el recurso pesquero no son tan abundantes como los de valor de uso. *Southwick and Loftus (2017)* señalan que los valores de no uso en el caso de mortalidades de peces pueden incluso resultar insignificantes.

6.5.4 Evaluación de criterios

En este análisis se debería incluir la evaluación de los criterios metodológicos y las acciones desarrolladas para la estimación de las pérdidas generadas por las afectaciones sobre el recurso pesquero, identificando aquellos que se comportan de la forma esperada y aquellos que deberían ser ajustados, recomendando la incorporación de las lecciones aprendidas a los procedimientos de atención en futuros eventos.

También debería considerarse la difusión pública a la comunidad del resultado de las acciones y la estimación, así como el reconocimiento formal del cierre de la contingencia por parte de la autoridad ambiental. Esta evaluación y seguimiento se realiza para facilitar una mejora continua en la eficiencia de la respuesta y para mejorar la gestión de eventos futuros.

6.6 Prueba Piloto

El siguiente estudio de caso en el Caribe colombiano central, muestra el proceso basado en el conocimiento del riesgo para identificar las zonas vulnerables y así orientar los procesos de monitoreo durante y posterior a la materialización de eventos amenazantes.

En la Figura 12 se presenta el área de estudio, ubicada en la línea costera entre los municipios de Cartagena de indias (Bolívar) y San bernardo del viento (Córdoba).

Figura 12 Ubicación del área de estudio



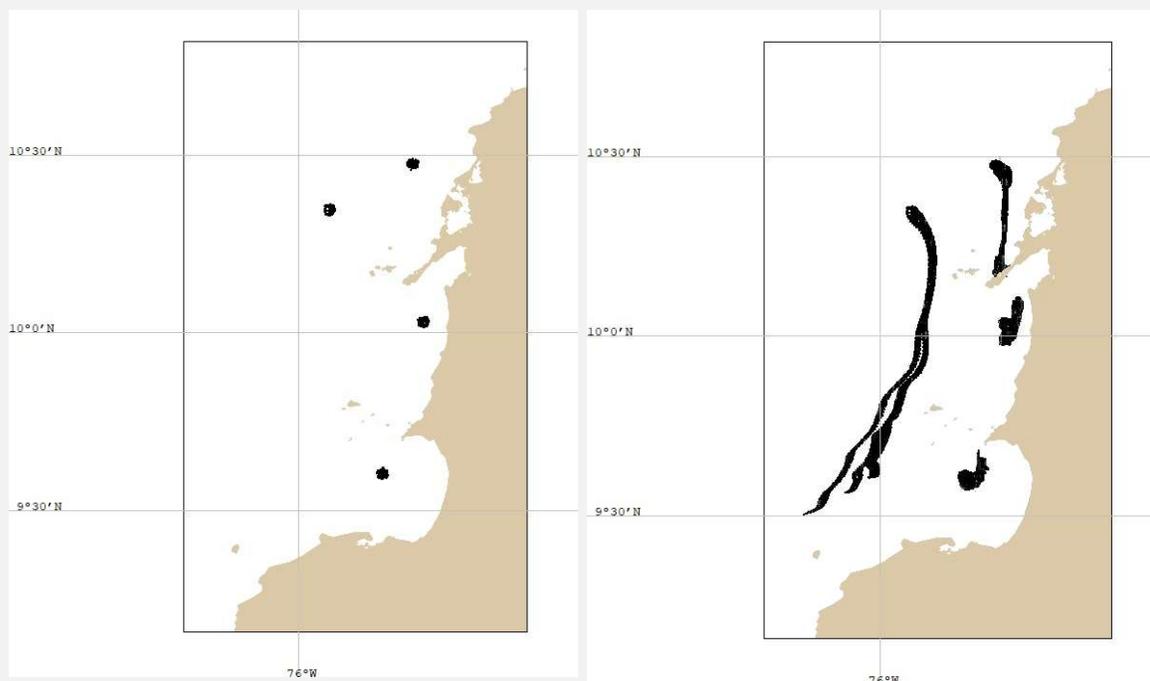
Fuente: ANLA, 2021

El conocimiento del riesgo inicia con la determinación de los eventos amenazantes, en este caso de estudio se toma un proyecto hipotético del sector de hidrocarburos, en particular en proceso de explotación. En este escenario se localizan tres pozos fuera de costa donde las variaciones de marea, corrientes y direcciones de vientos puedan dar un contexto más claro del comportamiento del hidrocarburo en cuestión. En un ejercicio realizado dentro del proceso de licenciamiento, las ubicaciones de los posibles eventos amenazantes dependen de las ubicaciones prospectivas o alternativas de los pozos.

Para estimar las áreas de afectación, se toma como posible evento amenazante los proyectos de transporte de hidrocarburos, en particular los relacionados con el transporte de hidrocarburos procesados. Para ello se corrió el modelo GNOME generado por la Administración Nacional del océano y la atmósfera de los Estados Unidos (NOAA por sus siglas en inglés), obteniendo los siguientes resultados:

La dispersión del hidrocarburo, como se mencionó en la sección de modelación, depende de las variables océano-climatológicas presentes en el área. En un escenario con vientos dirección sur – oeste y mareas altas, para contextualizar el riesgo en diferentes épocas del año, se hace necesario realizar modelaciones tipo para al menos tres épocas diferentes.

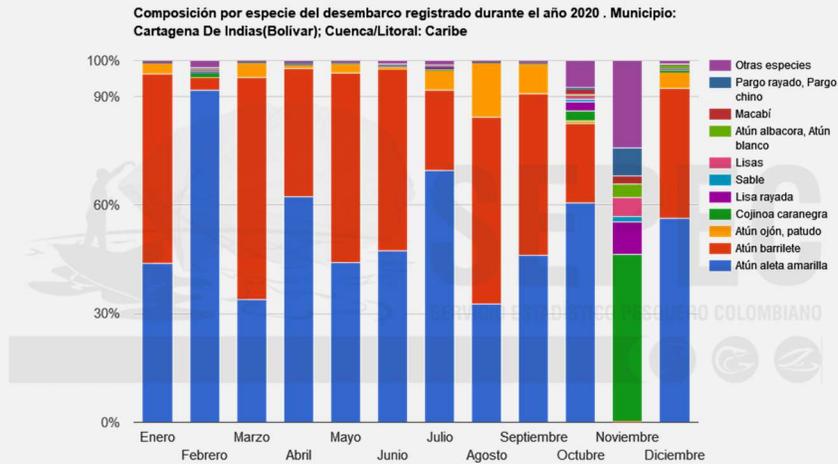
Figura 13 Escenario de derrame con direcciones de vientos suroeste. Situación inicial vs dispersión del hidrocarburo después de tres días.



Fuente: ANLA, 2021

Posteriormente, para identificar los elementos expuestos se obtuvo la información recolectada en la etapa de caracterización a nivel regional del proyecto a nivel biótico y socioeconómico. En este caso, corresponde a la actividad pesquera dentro de la zona, la caracterización biótica debe tener una sección relacionada a las dinámicas poblacionales e historias de vida de las especies ícticas de interés socioeconómico tanto por la actividad pesquera industrial como por la pesca artesanal. Desde el componente socioeconómico, la caracterización de la actividad pesquera parte de la descripción de las unidades de pesca (caladeros de pesca) y los puntos de colecta para obtener el listado de especies que pueden ser de interés. De acuerdo con la información disponible en el Servicio Estadístico Pesquero de Colombia (SEPEC), se cuenta con tres desembarcaderos principales: Cartagena de Indias, San Onofre y San Bernardo del Viento. Para este estudio se utilizará la información de Cartagena de Indias al tener información mixta de pesca industrial y pesca artesanal.

Figura 14 Información recolectada por SEPEC para el desembarcadero de Cartagena



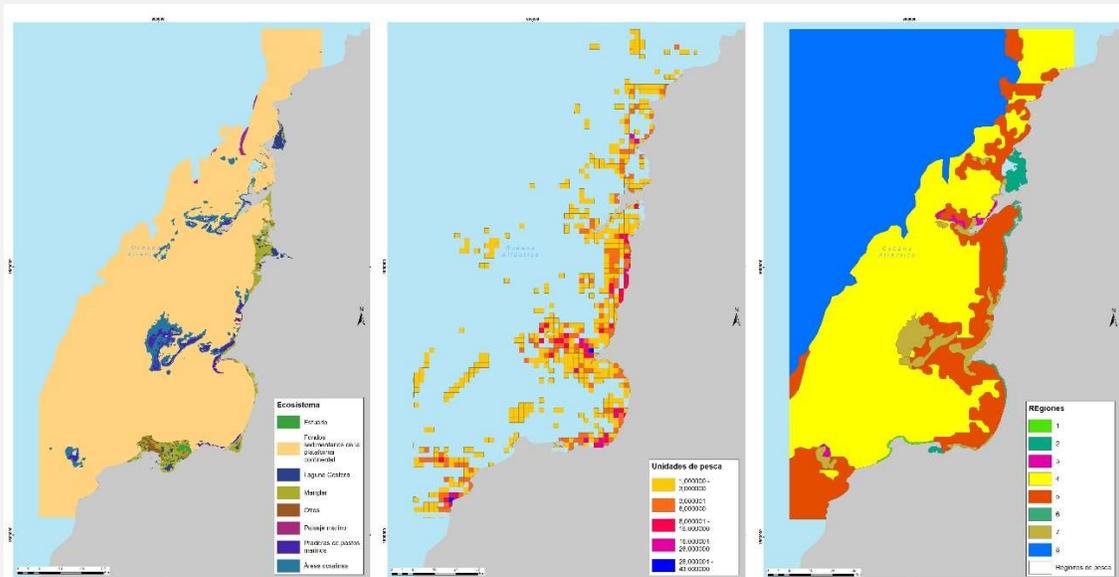
Fuente: SEPEC, 2020

Una vez consultada la información de especies de interés económico, se seleccionan las especies con mayor representatividad. Esta representatividad puede estar basada en cantidad en peso o cantidad en individuos dependiendo del interés que se muestre. Para este estudio se seleccionaron dos especies que sirven de sombrilla para la descripción de las afectaciones: Jurel o Cojinoa caranegra (*Caranx hippos*) y Lisa rayada (*Mugil incilis*) debido a su importancia dentro de las prácticas de pesca artesanal.

Definición

Dentro de la caracterización biótica, desde una perspectiva de riesgo, se debe analizar cómo las especies ícticas dependen del ambiente que las rodea y cómo se desarrollan en diferentes ecosistemas, ya que son estas relaciones las que determinarán que áreas pueden ser vulnerables y proporcionar menor calidad de hábitat para las especies que dependen de ella. Para este caso, la definición geográfica y ecológica de estas zonas se basa en la ubicación de ecosistemas marino- costeros y la ubicación de las unidades de pesca identificadas en la zona, cuya relación genera regiones de análisis dentro del área de estudio, tal como se presenta en la Figura 15.

Figura 15 Ubicación de ecosistemas marino-costeros.



Fuente: Invemar, 2017

Análisis de elementos expuestos

Dentro del área de estudio, se identificaron como ecosistemas claves para el recurso pesquero los manglares, las ciénagas y lagunas costeras, estuarios, arrecifes de corales, ya que brindan soporte a las larvas y juveniles de la gran mayoría de las especies de interés comercial. La transición de individuos de las zonas de desarrollo juvenil a las zonas donde se alcanza la madurez sexual de las especies ícticas establece las relaciones entre el recurso pesquero y los servicios ecosistémicos de soporte que brindan los ecosistemas marino-costeros. Una vez identificadas las regiones de interés, se debe investigar la información correspondiente a la biología e historia de vida de las especies objeto de estudio.

En el caso de *C. hippos* y *M. incilis*, la información consultada corresponde a investigaciones académicas realizadas a lo largo de la costa caribe colombiana, de donde se obtuvieron los datos de la Tabla 6.

Tabla 6 Datos biológicos por especie

Variable	Especies	
	<i>Caranx hippos</i> (Caiafa, Narváez, and Borrero 2011)	<i>Mugil incilis</i> (Bustos-Montes et al. 2012)
Mortalidad Natural	1.13	1.67
Mortalidad por pesca	0.72	3.66
Tasa de explotación	0.30	0.71
Vulnerabilidad	Alta	Alta
Talla de madurez (cm)	63.6	30.5
Ecosistemas para larvas y Juveniles	Manglares, Estuarios y prados	Manglares, estuarios

Fuente: Caiafa et al (Caiafa, Narváez, and Borrero 2011), Bustos et al (Bustos-Montes et al. 2012)

Con estos datos y la ubicación de las regiones de interés basadas en la intersección entre ecosistemas y unidades de pesca, es posible hacer una evaluación preliminar de los elementos expuestos a través de un modelo de comportamiento del recurso pesquero a partir de una dinámica poblacional simplificada. En este caso, se utilizó el modelo de servicio de provisión del recurso pesquero Fisheries de la suite de modelos para la Valoración Integrada de Servicios Ecosistémicos y Compensaciones (InVEST por sus siglas en inglés) para determinar un escenario inicial para el recurso pesquero.

El modelo Fisheries utiliza información de distribución por estadios o edades de las especies objetivo, la presión ejercida por las actividades pesqueras, la relación con ecosistemas y su dependencia de estos para determinar la cantidad de individuos o kilo por especie; por otra parte, dentro de su módulo de valoración económica se cuantifica el valor de uso de las especies objetivo a partir del precio de mercado por individuo o por kilo de las especies objetivo.

Este modelo utiliza una matriz de supervivencia entre los estadios y las regiones identificadas para cada una de las especies a trabajar, debido a que se requiere información específica de tipos de reclutamiento (individuos que pasan de un estadio de vida al siguiente), se utilizó una tasa de reclutamiento fija para ambas especies. En la Tabla 7 se presentan los resultados para un periodo de tiempo 169 meses que corresponden a la expectativa de vida promedio de ambas especies.

Tabla 7 Servicio de provisión del recurso pesquero en escenario inicial

Caranx			Mugil		
Subregion	Captura (g)	Valoración	Subregion	Captura (g)	Valoración
1	0	0	1	0	0
2	0	0	2	0	0
3	0	0	3	0	0
4	0	0	4	1506.05	\$11,596,548.46
5	9771.84	\$75,243,141.32	5	1259.59	\$9,698,838.62
6	149439.49	\$1,150,684,040.10	6	40789.92	\$314,082,401.78
7	149439.49	\$1,150,684,040.10	7	40789.92	\$314,082,401.78
8	0	0	8	0	0
Total	308650.81	\$2,376,611,221.51	Total	84345.48	\$649,460,190.63

Fuente: ANLA, 2021

Finalmente, una vez identificadas las regiones de interés tanto por la presencia de ecosistemas como por la presencia de unidades de pesca, el análisis del riesgo se hace de forma prospectiva. La mayoría de los proyectos de sector de hidrocarburos no definen los puntos exactos donde se llevarán las actividades de extracción, sin embargo, con modelos como el explicado anteriormente, se puede crear un escenario prospectivo de los posibles riesgos que se pueden generar en el caso de una contingencia. En este caso, tomando uno de los escenarios generados, se sobreponen las zonas de posible derrame sobre las regiones identificadas para el balance del recurso pesquero, identificando así las regiones posiblemente afectadas.

Para establecer el nivel de afectación tanto al ecosistema como a las poblaciones, se consideran las regiones identificadas como vulnerables ante el posible derrame presentando cambios en sus atributos de calidad, en particular, toxicidad aguda y cómo esta afecta la supervivencia natural tanto de fitoplancton como de las especies ícticas. En el modelo de Fisheries, dichos cambios son incorporados en el modelo a través de las matrices supervivencia natural por especie. En este caso, utilizando la modelación creada con anterioridad, se determinó que las regiones afectadas son las relacionadas con fondos marinos y zonas de explotación pesquera cerca de la línea de costa. Con estos supuestos se crea un escenario prospectivo donde esas regiones afectadas tuvieran una disminución del 20% en términos de calidad y se desarrolló el modelo para establecer la pérdida en la provisión del recurso pesquero.

Tabla 8 Servicio de provisión del recurso pesquero en un escenario con una reducción de calidad de ecosistemas del 20%

Caranx hippos			Mugil incilis		
Subregion	Captura (g)	Valoración	Subregion	Captura (g)	Valoración
1	0	\$ -	1	0	\$ -
2	0	\$ -	2	0	\$ -
3	0	\$ -	3	0	\$ -
4	0	\$ -	4	612.42	\$ 4,715,658.84
5	4035.11	\$ 31,070,377.88	5	511.27	\$ 3,936,798.83
6	149174.54	\$ 1,148,643,944.31	6	40784.16	\$ 314,038,014.26
7	149279.38	\$ 1,149,451,254.43	7	40784.16	\$ 314,038,014.26
8	0	\$ -	8	0	\$ -
Total	302489.04	\$ 2,329,165,576.63	Total	82692.01	\$ 636,728,486.19

Fuente: ANLA, 2021

Una vez realizado estos cálculos, se procede a hacer una comparación entre la línea base propuesta y el escenario prospectivo. De acuerdo con esta comparación se encontró que en un escenario de pérdida de calidad de ecosistema de un 20%, la pérdida en peso capturado es alrededor 2% para ambas especies. Esta modelación es solo una de las maneras en que se puede evaluar la posible alteración y la determinación de las regiones para muestreo de áreas críticas para el recurso pesquero.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alosairi, Y. 2021. "Ecotoxicology and Environmental Safety Environmental Mechanisms Associated with Fish Kill in a Semi-Enclosed Water Body : An Integrated Numerical Modeling Approach." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 217: 112238. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112238>.
- ANLA. 2020a. "Manual de Lineamientos Para La Elaboración de Términos de Referencia En Actividades de Perforación Exploratoria de Hidrocarburos Costa Afuera En Colombia." 2020.
- . 2020b. "Protocolo Seguimiento y Control a La Atención Ante Contingencias Ambientales, Realizada Por Los Titulares de Proyectos Obras o Actividades, Viabilizados Por La Anla," 1–17.
- . 2021. "Estrategia de Monitoreo Integral Del Recurso Hídrico Superficial Para Proyectos Hidroeléctricos," 1–58.
- AUNAP. 2018. "Metodología General Operación Estadística."
- . 2021. "Dirección Técnica de Inspección y Vigilancia." 2021.

<https://www.aunap.gov.co/index.php/dir-tecnicas-y-regionales/direccion-tecnica-de-inspeccion-y-vigilancia>.

- Bustos-Montes, Diana, Angie Santafé-Muñoz, Marcela Grijalba-Bendeck, Aminta Jáuregui, Andrés Franco-Herrera, and Adolfo Sanjuan-Muñoz. 2012. "Bioecología de La Lisa (Mugil Incilis Hancock) En La Bahía de Cispatá, Caribe Colombiano." *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras* 41 (2): 447–61.
- Caiafa, H. Itala, B. Juan Narváez, and F. Silvana Borrero. 2011. "Some Aspects of the Population Dynamics of the Crevalle Jack Caranx Hippos (Pisces: Carangidae) in Bocas de Ceniza, Colombian Caribbean." *Revista MVZ Cordoba* 16 (1): 2324–35. <https://doi.org/10.21897/rmvz.291>.
- CEPAL. 2014. "Manual Para La Evaluación de Desastres."
- Commonwealth of Australia. 2007. "National Investigation and Reporting Protocol for Fish Kills."
- ICA. 2021. "Protección Animal." 2021. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria>.
- INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS - INVEMAR. 2014. "Protocolo de Actuación En Caso de Mortandades de Organismos Marinos."
- Jiménez-Segura, Luz, and Carlos A. Lasso, eds. 2021. *Peces de La Cuenca Del Río Magdalena, Colombia: Diversidad, Conservación y Uso Sostenible*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. <https://doi.org/10.21068/A2020RRHXIX>.
- Keramea, Panagiota, Katerina Spanoudaki, George Zodiatis, Georgios Gikas, and Georgios Sylaios. 2021. "Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges." *Journal of Marine Science and Engineering* 9 (2): 1–41. <https://doi.org/10.3390/jmse9020181>.
- Ley 13 de 1990. n.d. "Estatuto General de Pesca."
- Ley 1523 de 2012. n.d. "Política Nacional de Gestión Del Riesgo de Desastres," 1–22.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2018. "Metodología General Para La Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales," 228.
- Nuhfer, Andrew J, David J Borgeson, and Kurt Newman. 2008. "Assessments and Economic Valuation of a Fish Kill in the Pigeon River Caused by a Sediment Release from the Golden Lotus Inc . Impoundment and Alteration of Natural Flow by the Golden Lotus Inc . Dam in June 2008 .," no. June: 1–53.
- Pickett, S.T.A, and P.S White. 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Orlando: Academic Press.
- Rolls, Robert J., and Nick R. Bond. 2017. "Environmental and Ecological Effects of Flow Alteration in Surface Water Ecosystems." *Water for the Environment: From Policy and Science to Implementation and Management*, no. November: 65–82. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803907-6.00004-8>.
- Southwick, R, and A Loftus. 2017. *Investigation and Monetary Values of Fish and Freshwater Mollusk Kills. Investigation and Monetary Values of Fish and Freshwater Mollusk Kills*.

- Maryland. <https://doi.org/10.47886/9781934874479.ch3>.
- Spaulding, Malcolm L. 2017. "State of the Art Review and Future Directions in Oil Spill Modeling." *Marine Pollution Bulletin* 115 (1–2): 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.001>.
- Viloria, E, M Rueda, and E.R Pardo. 2014. "Evaluación de La Pesca Artesanal Antes, Durante y Después Del Proyecto de Actividades de Mantenimiento y Relimpia Del Canal Del Dique, En El Área de Influencia de La Bahía de Cartagena, Bolívar. Informe Técnico Final Convenio 1-0008-2012. CORMAGDALENA - I," 1–8.
- Volpedo, Alejandra, Dario Colautti, Esteban Morón, Germán Coscelli, and Fabricio Vigliano. 2019. *Protocolo de Acciones Ante Mortandades de Peces*. 1a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.