



Proyecto No. 00089333: “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”

Servicio de consultoría para estimar los costos de resarcir los daños causados por escapes de peces con la finalidad de implementación de un seguro de responsabilidad ambiental para las unidades de producción o acopio de peces ornamentales y elaboración de una base de datos con información de México sobre los costos asociados a las EEI

PRODUCTO: Metodología de estimación de costos



Fuente: CESAEM, UANL, CONABIO, GEF, PNUD, 2016

CONTRATISTA: DR. DANIEL A. REVOLLO FERNÁNDEZ

Fecha: 17 de septiembre de 2019

“Las opiniones, análisis y recomendaciones de política incluidas en este informe no reflejan necesariamente el punto de vista del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, como tampoco de su junta ejecutiva ni de sus estados miembros.”



Título: Consultoría para estimar los costos de resarcir los daños causados por escapes de peces con la finalidad de implementación de un seguro de responsabilidad ambiental para las unidades de producción o acopio de peces ornamentales y elaboración de una base de datos con información de México sobre los costos asociados a las EEI.

Objetivo de la Consultoría: Disponer de información económica actualizada que permita mejorar la toma de decisiones respecto a las invasiones biológicas y afrontar los costos derivados de escapes de peces de unidades de producción acuícola a través de un seguro de responsabilidad ambiental.

Objetivo del Segundo Producto: Documento en Word que incluya el estudio económico mencionado, así como un anexo con los datos el análisis en Excel.

Autor(es): Daniel Alfredo Revollo Fernández

Modo de citar: PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2019. Actualización de la propuesta de un seguro de responsabilidad ambiental para las unidades de producción de peces de ornato, indicando los existentes en la literatura internacional y la propuesta de establecimiento del seguro en México, incluyendo la descripción de esfuerzo y viabilidad para su implementación. Análisis de costos asociados a los escapes de peces de ornato en unidades de producción acuícola. Proyecto 00089333 “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la implementación de la Estrategia Nacional de EEI. Revollo-Fernández, D. A. Consultor Independiente, Ciudad de México, México. 31 pp.

Resumen: Las introducciones, intencionales y no intencionales, de especies exóticas invasoras (EEI) en nuevos entornos han tenido y continúan teniendo profundos efectos ecológicos, humanos, sociales y económicos a escala nacional, regional y mundial. En el caso de los costos globales, estimaciones de daños de EEI reportan valores de alrededor de USD 1.5 trillones (millón de billones). Así mismo, también es evidente que los costos estimados en la literatura varían considerablemente entre los estudios, y que puede ir desde miles de dólares por año hasta los costos correspondientes al 12% del producto interno bruto (PIB). Para el caso de México, si bien existen unos primeros cálculos, principalmente están basados en el gasto de campañas y/o tratamientos fitosanitarios para controlar o erradicar las EEI. En ese sentido nace la necesidad de elaborar un estudio que estime dichos costos para el caso de la producción acuícola del Estado de Morelos considerando tres tipos de grupos de unidades de producción en función de su Índice de Bioseguridad. Los resultados muestran que en los tres tipos de grupos de UPA presentan

un valor actual neto (ingresos menos costos) positivo cuando se considera solo variables o aspectos privados del proceso productivo; sin embargo, la situación o los resultados se modifican cuando se integran en el ejercicio costos sociales o externalidades negativas que afectan a la sociedad, pasando a tener valores actuales negativos.

Área objeto del informe: Generar conocimiento para la toma de decisiones informadas

Fecha de inicio: 01 de julio de 2019

Fecha de terminación: 31 de agosto de 2019

Vínculo con la Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras: El conocer los costos derivados de escapes de peces de ornato se corresponde con la meta 1.2 de la Estrategia (2 Información científica y técnica, relevante, oportuna y accesible, que genere capacidades en diversos sectores para atender las prioridades relacionadas con las especies invasoras) donde una acción menciona la realización de estudios de costo/beneficio. También se vincula con la meta 1.7 (Medidas de bioseguridad y sanitarias instrumentadas permanentemente en la introducción, manejo y uso de especies exóticas invasoras) a través de la acción para establecer incentivos económicos para promover las medidas de bioseguridad.

Siglas y Acrónimos:

ACB: Análisis Costo Beneficio

ANP: Área Natural Protegida

DAP: Disponibilidad a Pagar

EEI: Especies Exóticas Invasoras

PIB: Producto Interno Bruto

USD: Dólares americanos

MXN: Pesos mexicanos

SE: Servicios Ecosistémicos

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	6
2	OBJETIVO	7
2.1	OBJETIVO GENERAL DE LA CONSULTORÍA.....	7
2.2	OBJETIVO GENERAL DEL SEGUNDO PRODUCTO	8
3	VALOR ECONÓMICO DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS.....	8
4	PRODUCCIÓN DE PECES ORNAMENTALES EN MÉXICO	13
5	IMPACTO ECONOMICO POR LA PRODUCCIÓN Y ESCAPE DE PECES ORNAMENTALES EN MORELOS, MÉXICO	14
6	RESULTADOS DE LOS ACB.....	22
7	CONCLUSIONES.....	26
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Impacto de las EEI sobre Servicios Ecosistémicos

Tabla 2. Producción de peces ornamentales por Estado y a nivel nacional, 2014

Tabla 3. Categorización de una muestra de Unidades de Producción Acuícola (UPA) del Estado de Morelos según su Índice de Bioseguridad

Tabla 4. Resultados ACB para las UPA del Grupo 1: Bajo Índice de Bioseguridad

Tabla 5. Resultados ACB para las UPA del Grupo 2: Bajo Índice de Bioseguridad

Tabla 6. Resultados ACB para las UPA del Grupo 3: Alto Índice de Bioseguridad

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Servicios Ecosistémicos provistos por los ecosistemas a la sociedad

Figura 2. Proceso de estimación del impacto económico por la producción y escape de peces ornamentales

Figura 3. Relación entre la profundidad del cuerpo de agua y la turbidez ante la presencia o no de EEI

1 INTRODUCCIÓN

Las introducciones intencionales y no intencionales de especies exóticas invasoras (EEI) en nuevos entornos han tenido y continúan teniendo profundos efectos ecológicos, humanos, sociales y económicos a escala nacional, regional y mundial (Genovesi *et al.*, 2014). Se han alterado los hábitats naturales de las especies nativas, se ha degradado el funcionamiento de ecosistemas y se ha deteriorado la estética de los entornos naturales debido a las invasiones biológicas (Liu & Piper, 2016). Este fenómeno preocupante ha recibido el reconocimiento de biólogos, economistas, entre otros y entidades públicas relacionadas con la protección ambiental y supervisión de la gestión de EEI (Jardine & Sanchirico, 2018). A nivel mundial se han realizado esfuerzos para estimar las pérdidas o los impactos económicos de ciertas EEI, principalmente terrestres y en menor medida acuáticas por su mayor complejidad ecológica. Por ejemplo, Pimentel *et al.* (2005) estiman que las pérdidas anuales de EEI en los Estados Unidos ascienden aproximadamente a USD 120 billones (millón de millones). Así mismo, estiman que los costos globales son de alrededor de USD 1.5 trillones (millón de billones) (Pimentel *et al.*, 2001), los costos asociados exclusivamente a insectos invasores ascienden a un mínimo de USD 70 billones (Bradshaw *et al.*, 2016) o los costos de salud asociados a EEI a un monto aproximado de USD 6.9 billones (Bradshaw *et al.*, 2016). Para el caso de México, si bien existen algunas primeras estimaciones, casi no existe literatura donde se estime dichos impactos estrictamente en términos monetarios o se abocan a los costos de control por ejemplo en Áreas Naturales Protegidas (ANP). Primeras estimaciones en México reportan que aproximadamente se destinan USD 750 mil anuales a campañas contra la presencia de palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) (Parpal *et al.*, 2017) o que el impacto de los peces loricáridos en la Presa Infiernillo que afecta a las actividades pesqueras, capital natural y actividades de acuarismo provoca una pérdida económica que asciende a USD 13 millones al año (Stabridis *et al.*, 2009).

A nivel internacional muchos países y organizaciones ya ven la urgencia de realizar este tipo de estimaciones económicas para evidenciar el real impacto y para tener un insumo más en el diseño de política pública para controlar este grave problema en sus territorios (Acquaye *et al.*, 2005, Genovesi *et al.*, 2014). En el caso de México, la “Estrategia Nacional sobre Especies Invasoras: Prevención, Control y Erradicación” busca lograr que en el año 2020 el país cuente con sistemas eficientes de prevención, detección y respuesta temprana, así como con instrumentos que operen dentro de un marco legal congruente y conforme a las necesidades de prevención, mitigación, control y erradicación de especies exóticas invasoras (EEI). Para lo anterior, señala que será necesario “establecer incentivos (o instrumentos) fiscales para promover la aplicación de medidas de bioseguridad en los

sectores de producción y comercialización” y “desarrollar incentivos económicos específicos, dentro de planes de atención integral, para llevar a cabo programas de erradicación de especies invasoras”.

En este sentido, el diagnóstico jurídico elaborado en la fase preparatoria del Proyecto “Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI” señaló que hay que diseñar e implementar instrumentos fiscales/financieros adecuados para atender la problemática de las especies exóticas invasoras (EEI), elaborar propuestas de pagos de derechos con destino específico relacionados con la importación y el manejo e impulsar la utilización de un fondo para emergencias con recursos derivados del pago de derechos y de acciones de responsabilidad por daños de EEI, asegurando que los costos del diseño sean superados por la recaudación y los costos de problemas evitados (Ortiz-Monasterio, 2013). El diagnóstico especifica que, aunque la recaudación, destino y manejo de recursos tiene un costo de transacción, se debe diseñar el instrumento para ser rentable.

En el entendido que para la aplicación de dichos instrumentos económicos es necesario conocer su viabilidad, urge disponer de información económica de base que sirva para un correcto dimensionado de las tarifa, montos o primas financieras a aplicar en cada caso. Por ejemplo, la definición de un seguro de responsabilidad ambiental que pueda cubrir los costos de un hipotético escape de peces de una unidad de producción acuícola pasa necesariamente por conocer cuáles serían los costos de erradicación de los peces escapados, así como de los daños causados por el escape.

2 OBJETIVO

En ese sentido, el objetivo de la presente consultoría y concretamente de este documento son:

2.1 Objetivo general de la consultoría

Disponer de información económica actualizada que permita mejorar la toma de decisiones respecto a las invasiones biológicas y afrontar los costos derivados de escapes de peces ornamentales de unidades de producción acuícola a través de un seguro de responsabilidad ambiental.

2.2 Objetivo general del estudio

Elaborar un estudio económico, a partir de la información existente (y de revisión de literatura nacional e internacional), que estime los costos reales de control y/o erradicación del medio acuático de peces provenientes de escapes de una unidad de producción acuícola así como los de resarcir los daños generados.

3 VALOR ECONÓMICO DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

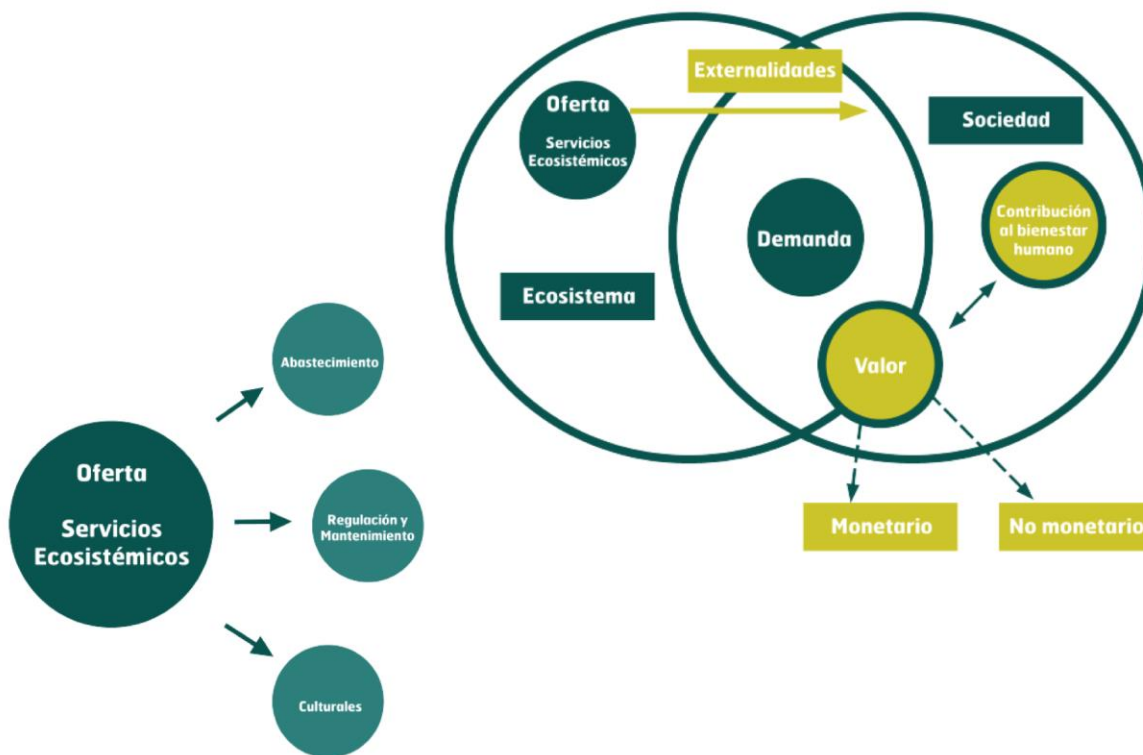
Según Marbua *et al.* (2014) las invasiones biológicas, como proceso incierto, comprenden cuatro etapas: i) introducción, ii) establecimiento, iii) propagación o dispersión, y iv) creación de daños o costos sobre terceros o sobre los Servicios Ecosistémicos (SE). La magnitud del costo de los daños de una EEI depende de las probabilidades de superar cada una de las etapas de la cadena de invasión, y de los impactos en diferentes SE de los ecosistemas invadidos. Los costos de los impactos se miden como la diferencia en el valor, económico y/o no económico, de los SE con y sin la presencia de EEI. Los valores monetarios se asignan a los impactos percibidos por los seres humanos, como las pérdidas de cosecha o los impactos en la salud y la biodiversidad. Algunos de estos valores se pueden comercializar en el mercado, como las pérdidas en las cosechas de cultivos y madera, y los valores se obtienen a través de los precios de mercado. Sin embargo, otros valores como alteraciones en la salud, la biodiversidad o impactos culturales, no se comercializan y sus evaluaciones deben obtenerse de otras maneras o por medio de otras herramientas económicas. Al fin y al cabo todos estos valores están asociados a los SE, que corresponde a los de: i) provisión, ii) regulación, iii) culturales y de mantenimiento, que todos pueden ser afectados en cierto grado a consecuencia de la introducción de EEI (Figura 1). Entendiendo los SE como aquellos beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), también se conocen como externalidades positivas. Sin embargo, la presencia de EEI pueden ocasionar daños o modificaciones en dichos SE, con lo cual se estaría refiriendo a externalidades negativas (Aguirre *et al.*, 2009). La conservación y el uso de los SE que ofrece la naturaleza dependen de una correcta comprensión de las dinámicas y relaciones que se desarrollan entre sus componentes biofísicos y, los intereses y posibles acciones de la sociedad para su uso (Contreras-MacBeath *et al.*, 2014). En ese sentido, además de tener un acertado conocimiento sobre variables físicas y/o ecológicas, como es el caso con la introducción de EEI, es necesario tener un razonable conocimiento sobre los componentes económicos que se desarrollan en torno al uso y disfrute de dichos SE, con la finalidad de desarrollar a futuro una mejor política pública en beneficio de la sociedad (Evans, 2003; Evans *et al.*, 2003). En ese sentido, es fundamental el desarrollo de metodologías o herramientas eficientes que garanticen la

conservación de los SE y orienten acciones que generen el mayor bienestar para la sociedad.

Para poder lograr esas mejores decisiones en el manejo de los recursos es necesario tratar de asignar y medir el valor que la sociedad asigna al uso y disfrute de dichos recursos, preferentemente en terminos monetarios. Para incorporar los valores de los SE que pueden ser afectados por externalidades negativas, como es el caso de las EEI, en el diseño de un proyecto o política existen diferentes herramientas metodológicas que provienen de diferentes disciplinas, las cuales utilizan instrumentos estadísticos y cuantitativos, así como análisis cualitativos, existiendo también algunas herramientas intermedias. En el primer grupo, herramientas cuantitativas, se tiene por ejemplo: minimización de costos, análisis costo efectividad, análisis costo beneficio y valoración económica; en el segundo grupo, herramientas cualitativas, se tiene: modelos mentales, juego de roles y entrevistas; mientras que dentro de los instrumentos intermedios se puede mencionar los juegos económicos experimentales, entre otros. Es importante mencionar que en el primer grupo, dentro de los métodos de valoración económica se tiene a la metodología de valoración contingente, modelos de elección, costo de reemplazo, transferencia de beneficio, entre otros. Estos diferentes métodos de valoración económica pueden servir como un insumo más para desarrollar un Análisis Costo Beneficio (ACB).

La valoración económica en particular busca determinar el valor económico de los SE para los individuos. A diferencia de los indicadores que se miden, por lo general, en unidades físicas (lo que los hace difícil de comparar), la valoración económica se mide en términos monetarios (Polasky *et al.*, 2008). Para realizar una valoración económica es importante entender cómo diferentes acciones impactan a las condiciones ecológicas o funciones ecosistémicas (por ej., ciclo hidrológico de agua o provisión de alimentos), cómo los cambios en condiciones ecológicas conllevan a cambios en la provisión de SE (por ej., cantidad de agua) que afectan directamente a las personas. Es decir, cómo los cambios en la provisión de SE afectan el bienestar humano (Polasky, 2008, De Groot *et al.*, 2010; Olander *et al.*, 2015;).

Figura 1. Servicios Ecosistémicos provistos por los ecosistemas a la sociedad



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para el caso de la introducción de EEI en ecosistemas y su impacto en los SE existe una variedad de estudios que analizan esa relación (Capdevila *et al.*, 2006; Hanley & Roberts, 2018; Giakoumi *et al.*, 2019). Por ejemplo, Katsanevakis *et al.* (2014) y Hanley & Roberts (2018) identifican tanto los impactos positivos como negativos de la introducción de EEI sobre diferentes SE de diversos ecosistemas tomando en cuenta los SE de provisión, regulación y mantenimiento y los culturales. De todos estos SE afectados, positiva o negativamente, no todos pueden ser medidos en términos económicos debido a su complejidad ecosistémica; sin embargo, los que se puedan llegar a estimar sirven para calcular en cierta medida el impacto sobre el bienestar de la sociedad.

Tabla 1. Impacto de las EEI sobre Servicios Ecosistémicos

Impactos positivos	Impactos negativos
Provisión	
<i>Provisión de comida</i>	
Nuevos productos	Brote de algas
Nueva fuente de alimento para peces	Degradación de hábitats importantes
Nuevos hábitats	Depredación directa
	Competición
	Fouling (incrustamiento), engranajes y equipos
	Enredos en redes
	Transmisión de enfermedades
<i>Almacenamiento/provisión de agua</i>	
	Obstrucción de tuberías
<i>Materiales bióticos - biocombustibles</i>	
Nuevos materiales bióticos - biocombustibles	Degradación de hábitats importantes
Regulación y mantenimiento	
<i>Purificación de agua</i>	
Aumento de la biofiltración	Degradación de hábitats importantes
Las macroalgas funcionan como biofiltros	Cambios en la red alimentaria
Control biológico	Liberación de toxinas
	Mortalidad masiva
	Turbiedad
<i>Regulación del clima</i>	
<i>Alimento del océano</i>	
Bioturbación de sedimentos	Brote de algas
	Filtro - alimentación
	Absorción rápida de nutrientes
<i>Regulación de la calidad del aire</i>	
	Brote de algas
	Mortalidad masiva
	Producción de dimetilsulfoniopropionato (ayuda a generar mayores cantidades de fitoplancton)
<i>Protección costera</i>	
Nuevos pastos marinos y macroalgas	Degradación de hábitats importantes
Creación de coral	
<i>Mantenimiento del ciclo de vida</i>	
Creación de nuevos hábitats	Degradación de hábitats importantes

Proyecto GEF-EEI Servicio de consultoría para estimar los costos de resarcir los daños causados por escapes de peces con la finalidad de implementación de un seguro de responsabilidad ambiental para las unidades de producción o acopio de peces ornamentales y elaboración de una base de datos con información de México sobre los costos asociados a las EEI

Impactos positivos	Impactos negativos
Control de otras especies invasoras	Efectos en cascada sobre redes alimenticias
Regulación climática	
Secuestro de carbono en conchas y esqueletos	Degradación de hábitats importantes
Secuestro de carbono a través de la producción primaria	Emisión de gases de efecto invernadero
Producción de dimetilsulfoniopropionato	Secuestro de carbono por pérdida de plantas acuáticas, remoción y turbiedad
Regulación biológica	
Control de otras especies invasoras	Causa la disminución de especies que actúan como reguladores biológicos
Control de parásitos	
Cultural	
Valores simbólicos-estéticos	
Creación de hábitats altamente valorados	Degradación de hábitats altamente valorados
	Algas arrastradas a la playa
	Daños a sitios arqueológicos (terrestres como marinos)
	Afectaciones a los valores inmobiliarios
Recreación y turismo	
Creación de nuevos hábitats de valor recreativo	Brote de algas
	Degradación de hábitats importantes
	Formación de pasto en playa
	Invasión de medusas
	Lesiones a turistas
Beneficios cognitivos	
Mayores oportunidades para la investigación ecológica	Reducción de las posibilidades de investigación en biogeografía
Materiales para la investigación (biología, medicina, control de plagas, etc.)	Interferencia con el monitoreo de largo plazo
Biomonitor	Bienestar de la sociedad (Disponibilidad a pagar por no tener/controlar EEI)
	Degradación de hábitats importantes

Fuente: Elaboración propia en base a Katsanevakis *et al.* (2014) y Hanley & Roberts (2018), 2019.

4 PRODUCCIÓN DE PECES ORNAMENTALES EN MÉXICO

La producción de peces ornamentales en México se realiza principalmente en agua dulce, siendo el Estado de Morelos donde se realiza la mayor producción y por ende donde se genera el mayor valor económico (Tabla 1) (Saad, 2016 con base a datos de CONAPESCA). De toda la producción nacional, tanto en agua salobre/marina y dulce, el Estado de Morelos, que solo produce en agua dulce, genera aproximadamente el 88%; mientras que de la producción solo de agua dulce a nivel nacional, representa casi el 95%. Entre las principales especies de peces de ornato cultivadas en el Estado de Morelos, y en el País, se encuentran las variedades de japonés, carpa koi (*Cyprinus carpio koi*), guppy (*Poecilia reticulata*), molly (*Poecilia sphenops*), pez ángel (*Pterophyllum scalare*), platy (*Xiphophorus maculatus*), danio cebra (*Danio rerio*), betta (*Betta splendens*), gurami (*Trichogaster leerii*), entre otros. Para el año 2014, el valor de la producción para el Estado de Morelos alcanzó a casi 60 millones de pesos generado en aproximadamente 508 unidades acuícolas, aportando una importante fuente de empleo e ingresos económicos a familias de dicho Estado (PNUD México, 2017). En ese sentido, el Estado de Morelos se constituye en el principal productor a nivel nacional debido a su localización geográfica, las condiciones ambientales propicias para la producción de todo tipo de especies, la disponibilidad de fuentes de agua tanto superficiales como subterráneas y la cercanía con la Ciudad de México, lugar considerado como el más importante en consumo en materia de acuarismo (PNUD México, 2017). Por tal motivo, la estimación de los costos de control y daños generados al medio acuático de peces provenientes de un posible escape de unidades de producción acuícola será realizado con información para el caso del Estado de Morelos.

Tabla 2. Producción de peces ornamentales por Estado y a nivel nacional, 2014

Estado	Peso vivo		Valor		Unidades	
	Kilogramos	Porcentaje	Pesos MXN	Porcentaje	Piezas	Porcentaje
Peces de ornato, agua salobre / marina, captura, 2014						
Baja California	629	7.9%	455,029	7.7%	241,950	7.9%
Guerrero	77	1.0%	56,883	1.0%	29,490	1.0%
Oaxaca	550	6.9%	360,487	6.1%	211,538	6.9%
Sonora	6,742	84.3%	5,002,069	85.1%	2,593,205	84.3%
Suma	7,998	100.0%	5,874,468	100.0%	3,076,183	100.0%
Peces de ornato, acuicultura, agua dulce, 2014						
Baja California	15	0.0%	10,436	0.0%	5,900	0.0%

Proyecto GEF-EEI Servicio de consultoría para estimar los costos de resarcir los daños causados por escapes de peces con la finalidad de implementación de un seguro de responsabilidad ambiental para las unidades de producción o acopio de peces ornamentales y elaboración de una base de datos con información de México sobre los costos asociados a las EEI

Estado	Peso vivo		Valor		Unidades	
	Kilogramos	Porcentaje	Pesos MXN	Porcentaje	Piezas	Porcentaje
Hidalgo	315	0.3%	206,296	0.3%	120,975	0.3%
Jalisco	2,698	2.8%	1,780,759	2.8%	1,037,719	2.8%
Michoacán	1,600	1.7%	1,048,658	1.7%	615,367	1.7%
Morelos	90,785	94.9%	60,194,834	94.9%	34,917,320	94.9%
Tlaxcala	71	0.1%	49,049	0.1%	27,308	0.1%
Tabasco (captura)	190	0.2%	140,959	0.2%	73,077	0.2%
Veracruz (captura)	30	0.0%	22,257	0.0%	11,538	0.0%
Suma	95,704	100.0%	63,453,248	100.0%	36,809,204	100.0%
Suma nacional	103,702		69,327,716		39,885,387	

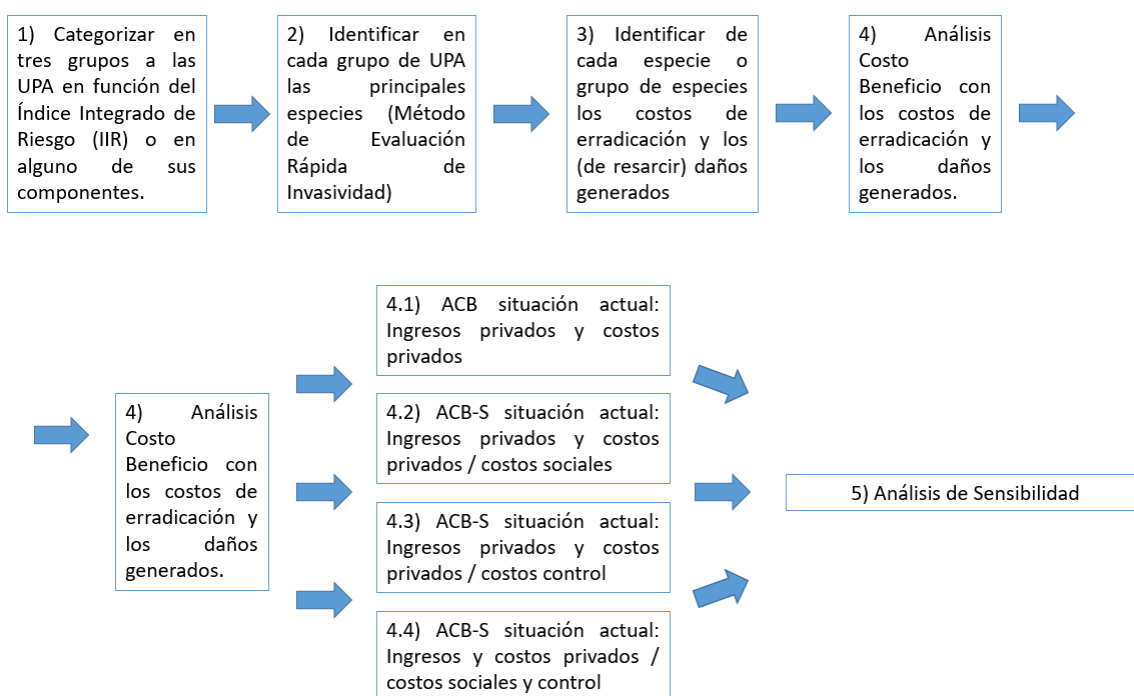
Fuente: Elaboración propia en base a Saad (2016), 2019

5 IMPACTO ECONOMICO POR LA PRODUCCIÓN Y ESCAPE DE PECES ORNAMENTALES EN MORELOS, MÉXICO

Para la estimación de los costos de control y/o erradicación del medio acuático de peces provenientes de posibles escapes de unidad de producción acuícola (UPA) del Estado de Morelos así como los de resarcir los daños generados es realizado a través de cinco pasos (Figura 2). El *primer paso* consiste en categorizar en tres grupos (alto, medio y bajo) a las UPA en función del Índice de Bioseguridad (0 a 100%) calculado por el Dr. Roberto Mendoza, de la Universidad de Nuevo León (PNUD México, 2017); el *segundo paso*, consiste en identificar, en cada grupo, las principales especies de peces ornamentales que se cultivan para su comercialización; el *tercer paso*, consiste en identificar los impactos negativos de la fuga de EEI al medio natural con la finalidad de estimar económicamente dichos impactos y los costos de control y/o erradicación; el *cuarto paso*, es el plantamiento de un análisis costo-beneficio (ACB) con la información de ingresos y costos de la UPA, costos de los daños generados y los costos de control y/o erradicación. En este punto es importante indicar que se realiza un ACB tanto desde un punto de vista privado de la UPA, un ACB privado más costos sociales o externalidades por la presencia de las EEI, un ACB privado más los costos de control y/o erradicación y finalmente un ACB que incluye tanto lo privado, social y los costos de las medidas. Finalmente el *quinto paso*, por medio del ACB se puede realizar una serie de escenarios, análisis de sensibilidad, donde se pueden modificar valores que se utilizan dentro los diferentes ACB. Para realizar todo este proceso, se recurre a un archivo Excel que trae toda la información disponible. Esta herramienta se contruye de la manera más flexible posible para que pueda ser usada en casos concretos

con datos específicos de una determinada zona, unidad de producción o especies producidas.

Figura 2. Proceso de estimación del impacto económico por la producción y escape de peces ornamentales



Fuente: Elaboración propia, 2019.

5.1 Primer paso - categorización de las UPA

Con información de 50 UPA provenientes de una encuesta aplicada por el Comité Estatal de Sanidad Acuícola del Estado de Morelos A.C. (CESAEM) a productores de peces de ornato del Estado de Morelos, seleccionados de manera aleatoria en siete diferentes subcuencas hidrológicas con la finalidad de disponer de información sobre las especies cultivadas y las medidas de bioseguridad, se categorizó en tres grupos a las UPA en función de su Índice de Bioseguridad (IB). El grupo 1, bajo IB, está compuesto por siete UPA, el segundo grupo, medio IB, está compuesto por 32 UPA y el tercer grupo, alto IB, está compuesto por 11 UPA. Es importante mencionar que las UPA del primer grupo tienen un IB entre 0 y 50 puntos, el segundo grupo entre 50 y 75 y el tercer grupo entre 75 a 100; así mismo, la prueba estadística de medias permite identificar que sí existe diferencia entre los grupos con respecto a su IB.

Tabla 3. Categorización de una muestra de Unidades de Producción Acuícolas (UPA) del Estado de Morelos según su Índice de Bioseguridad

Grupos	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Tipo de UPA	Bajo Índice de Bioseguridad	Medio Índice de Bioseguridad	Alto Índice de Bioseguridad
Nº de UPA	7.00	32.00	11.00
I. Bioseguridad	Menor	Medio	Mayor
	0 - 50	50 - 75	75 - 100
Prueba de medidas	Existe diferencias	Existe diferencias	Existe diferencias
Riesgo de dispersión	Alto - Medio	Medio	Bajo
Tipo	Semi intensivo	Semi intensivo	Semi intensivo

Fuente: Elaboración propia, 2019.

5.2 Segundo paso - identificación en cada grupo de las principales especies de peces ornamentales que se cultivan para su comercialización

En cada uno de los grupos se identificaron las tres principales especies de peces ornamentales que se cultivan para su comercialización con la finalidad de recrear el análisis costo-beneficio (ACB) en función de esas especies. Entre los tres grupos las principales especies son: gourami (*Trichogaster trichopterus*), carpa dorada (*Carassius auratus*), topote mexicano (*Poecilia sphenops*), guppy (*Poecilia reticulata*) y pez cebra (*Danio rerio*).

5.3 Tercer paso - identificación de impactos negativos por la fuga de EEI sobre SE, cuantificación monetaria y gastos de control

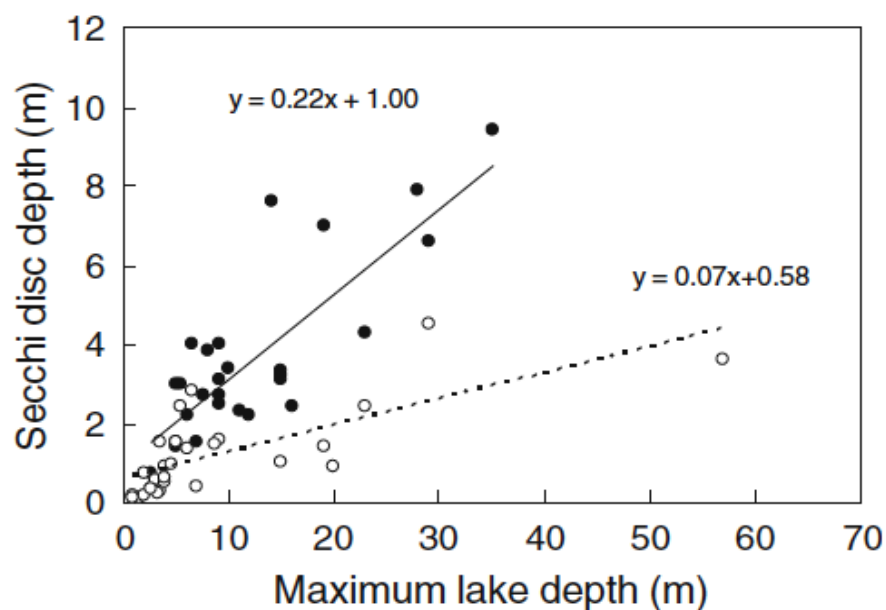
Como evidencia la literatura, sección 3 de este documento en base a Katsanevakis *et al.* (2014) y Hanley & Roberts (2018), la introducción de EEI en ecosistemas afecta de distintas maneras a los SE y por ende en el bienestar de las personas. De esa serie de impactos negativos sobre SE no todos se pueden cuantificar de manera monetaria ya sea por su complejidad ecosistémica y/o por la falta de información de mediciones biofísicas. En ese sentido, para este estudio se considera los siguientes impactos¹:

¹ La herramienta Excel permite seleccionar cuáles de estos impactos se incluyen en el análisis y cuáles no.

5.3.1 Costo por turbiedad

La presencia de EEI puede ocasionar en algunos casos y dependiendo de las especies sedimentos resuspendidos del fondo, frecuentemente revueltos por peces que se alimentan en el fondo o donde colocan sus huevos como es el caso de la carpa dorada. En ese sentido, Rowe (2007) realiza una investigación donde mide la cantidad de turbidez o la declinación de claridad y calidad de agua en Nueva Zelanda con la presencia y sin la presencia de EEI en agua dulces. Específicamente encuentra la relación entre la máxima profundidad del cuerpo de agua frente a la profundidad de penetración de la luz en dicho cuerpo por medio del disco de Secchi, que es un instrumento de medición de la penetración luminosa y por ello de la turbidez, y la presencia o no de EEI. Así, estima que la presencia de EEI (círculos vacíos) sí afecta en la calidad o turbidez del cuerpo de agua reduciendo la capacidad de penetración de la luz en el cuerpo de agua (Figura 3).

Figura 3. Relación entre la profundidad del cuerpo de agua y la turbidez ante la presencia o no de EEI



Círculos vacíos son EEI y llenos con especies nativas.

Fuente: Rowe, 2007.

Al tener ya la relación entre la presencia o no de EEI y la turbidez, el siguiente paso es cuánto cuesta, con alguna tecnología, recuperar la calidad de agua o reducir dicha turbidez. En ese sentido, Heberling *et al.* (2015) comparan una serie de tratamientos de agua desde un punto de vista de su costo, y encuentran que para el tratamiento de 3.7 m³ de agua, una reducción del 1% en la turbidez disminuye los costos de tratamiento en un 0.02% o una disminución del 1% en la turbidez conduce a una disminución de USD 1,123 al año en los costos de tratamiento.

Por lo tanto con esta información, porcentaje de turbidez por la presencia o no EEI y el costo de remover la turbidez, permite estimar el costo monetario para el caso de una posible fuga de EEI en el Estado de Morelos.

5.3.2 Costo en el valor económico de las viviendas por la presencia de EEI que modifican el entorno

De igual forma, la revisión de literatura permite identificar que otro impacto de la presencia de EEI en cierta área origina modificaciones en el valor comercial de las viviendas. Específicamente, Tuttle *et al.* (2015) y Haifeng Liao *et al.* (2016) estiman que la presencia de EEI acuáticas en cuerpos de agua dulce reduce el valor comercial de las viviendas entre un 5.8% a un 12.6% debido a cambios en el porcentaje de turbidez del agua y por ende en la belleza escénica del entorno, en ambos estudios para casos en Estados Unidos. Esta información, estimada por medio de la metodología de precios hedónicos, es adaptada para el caso del Estado de Morelos utilizando el tamaño y valor promedio.

5.3.3 Costo en otras pesquerías

Otro impacto que puede tener la presencia de EEI en cuerpos de agua es la alteración en los niveles de producción de otras especies acuáticas de importancia para los pescadores de la zona bajo estudio. Entendidos que dicha alteración, por lo general reducciones, es debido a que la introducción de EEI acuáticas puede competir y desplazar a otras especies originarias de la zona. Un reciente estudio realizado por Xia *et al.* (2019) estima el impacto ecológico y económico por la presencia de peces exóticos invasores sobre la pesquería en la cuenca del río Perla (Pearl) en China. Con información histórica de capturas, stock y presencia o no EEI estiman que si el porcentaje de EEI aumenta en 1%, los ingresos de los pescadores se reducen en 20.2 RMB/embarcación/mes (56.33 pesos mexicanos a 2019). Los resultados de esta investigación son adaptados al contexto del Estado de Morelos considerando el tipo de cambio, el salario promedio anual tanto de China como de Morelos

para conseguir estimar una elasticidad del ingreso económico de los pescadores ante cambios en la biomasa de los peces.

5.3.4 Costo en afectaciones en bienestar de la sociedad

Otra afectación que puede originar la presencia de EEI es la modificación en el bienestar de los hogares o de la sociedad. En economía esta afectación en el bienestar es representado por medio del excedente del consumidor y es medido por medio de la disponibilidad a pagar (DAP) que tengan las personas para evitar o reducir este impacto negativo. Por ejemplo, la literatura permite identificar una serie de estudios donde se analiza los factores y la DAP que tienen los hogares por reducir la presencia de una serie de externalidades negativas. En el caso de la presencia de EEI dichos estudios son escasos, y nulos para el caso de México. Walsh *et al.* (2016) estima la DAP de los hogares en el Lago Mendota en Wisconsin, Estados Unidos, ante la presencia de zooplancton a consecuencia de la presencia de EEI. De igual forma, Nishizawa *et al.* (2006) estiman una DAP de aproximadamente 290 pesos mexicanos (TC 0.09 MXN/YEN) por hogar al año para restaurar el ecosistema dañado por la presencia de peces invasores en el lago Biwa en Japón. Finalmente, García *et al.* (2011) estiman la DAP de los hogares de Huelva-Sevilla-Cádiz en Andalucía (España) por la presencia de EEI en el área natural protegida Doñana. Estiman un valor de 668 pesos mexicanos (TC 17.41 MXN/EURO) al año por una política de prevención y un valor de 1,034 pesos mexicanos (TC 17.41 MXN/EURO) para una política de erradicación. Con esta serie de investigaciones internacionales se calcula el impacto de este tipo de políticas para el caso del Estado de Morelos; para esto, los resultados hallados en otros países son adaptados al contexto local recurriendo a tipos de cambio, ingresos promedio anuales de los países, número de hogares, entre otros. Para tener un valor más acorde al caso de México, es recomendable realizar estudios sobre la DAP de los hogares en México sobre la implementación de políticas de prevención y/o erradicación.

5.3.5 Costo por reducciones en captura de carbono

Como indica Stabridis *et al.* (2009), “la captura de carbono consiste en conservar los inventarios de este elemento en suelos, bosques y cuerpos de agua. El carbono es capturado durante los procesos de respiración y fotosíntesis de las plantas, y la importancia de este proceso radica en que contribuye a la regulación de gases en la atmósfera”. En ese contexto, la presencia de EEI acuáticas en cuerpos de agua dulce puede afectar la reducción de plantas acuáticas y/o el aumento de eutroficación a consecuencia de contaminación

orgánica, aumentando la turbidez y por ende modificar la cantidad de captura de carbono. Chmura & Anisfeld (2003) estiman que cuerpos de agua dulce, como los que presenta el Estado de Morelos, pueden capturar en promedio entre 146 a 194 gramos de carbono por metro cuadrado (g/m^2) anuales. Por otro lado, Tol (2005) estima que, en el mercado internacional de comercialización de bonos de carbono, el precio del carbono se sitúa entre 14 a 47 dólares la tonelada. En ese sentido, se podría considerar que ese valor o precio en el mercado internacional del carbono sería un valor que la sociedad le asigna a la captura de carbono. Con esta información actualizada, se puede calcular el valor económico que se pierde en términos monetarios por reducciones de captura de carbono por la presencia de EEI.

5.3.6 Costo por medidas de control y/o erradicación

Finalmente, los costos de medidas de control y/o erradicación por la presencia de EEI acuáticas son totalmente diferentes a las EEI terrestres o forestales, en el entendido que por lo general dichas especies se desplazan dentro del área de estudio. Para este trabajo se considera los datos de costos que utiliza CIPACTLI (Agencia de Restauración Forestal y Vida Silvestre S.C.) en la consultoría para implementar un proyecto piloto de control de tres especies exóticas invasoras en la Reserva de la Biósfera el Vizcaíno (Vidrillo - *Mesembryanthemum crystallinum*, rana toro - *Lithobates catesbeianus* y tilapia panza roja - *Tilapia zillii*) (PNUD, 2017). El costo de control en promedio es de aproximadamente 15,600 pesos mexicanos por hectarea.

5.3.7 Año de fuga de EEI

Los costos que pueden ocasionar la fuga de las EEI también dependen del tipo de medidas de bioseguridad que tienen las distintas UPA. En el Primer Paso de este ejercicio, el valor del Índice de Bioseguridad permite categorizar a las UPA en tres grupos (Grupo 1, 2 y 3), y al mismo tiempo permite establecer un posible año potencial de fuga de EEI para cada grupo. Este año potencial de fuga se estima tomando en cuenta la probabilidad que la fuga se realice en determinado año. Para el caso del Grupo 1, que tiene un Índice de Bioseguridad menor a 50 puntos, se tiene una mayor probabilidad en los primeros años; mientras que para el caso del Grupo 3, que tiene un Índice mayor a 75 puntos, se tiene una mayor probabilidad en los últimos años. Es decir, dicho Índice proporciona una idea de que tan probable y en qué periodo se podría presentar una fuga de EEI, considerando que el Grupo 1 tiene una mayor probabilidad de presenta una fuga más antes que el Grupo 2 o 3 respectivamente.

En este sentido, para Grupo 1 (índice de bioseguridad < 50 puntos) se obtiene una probabilidad de fuga promedio en el año 3. Para el Grupo 2 (índice de bioseguridad ≥ 50 y <75) la probabilidad de fuga es al año 6. Finalmente para el Grupo 3 (índice de bioseguridad ≥ 75) se obtiene una probabilidad de fuga para el año 8.

5.4 Cuarto paso - Análisis costo beneficio (ACB)

El ACB consiste en comparar los ingresos o beneficios de la actividad de producción de peces ornamentales contra los costos de dicha actividad. Para este análisis se considera un periodo de diez años; sin embargo el ejercicio se puede realizar a más años. Los ACB considerados son los siguientes:

- a) ACB desde un punto de vista privado; es decir, ingresos y costos privados de las diferentes UPA. Para el análisis privado, los niveles de producción, precios y costos privados son los de realizar la actividad de producción de peces de ornato. Dicha información se obtuvo de los estudios: “Informe Final del Plan Maestro Estatal de Peces de Ornato del Estado de Morelos”, “Estado Actual y perspectivas de la producción y comercialización de peces de ornato en México” y “Estudio de la producción y comercialización de peces de ornato del Estado de Veracruz”. En todos los casos los datos fueron actualizados al año 2019.
- b) ACB desde un punto de vista privado más los costos o externalidades negativas de la fuga de EEI: costo por turbiedad, costo valor de las viviendas, costo a otras pesquerías, costo en afectaciones en bienestar de la sociedad, costo por reducciones en captura de carbono.
- c) ACB desde un punto de vista privado más los costos de control y vigilancia tras la fuga de EEI.
- d) ACB desde un punto de vista privado más los costos o externalidades negativas de la fuga de EEI (b) y los respectivos costos de control y vigilancia de dichas EEI (c).

5.5 Quinto paso - análisis de sensibilidad

El quinto paso de análisis de sensibilidad consiste en modificar cualquier variable que presenta el ACB para determinar los cambios y poder evidenciar que tan sensible son los resultados. En este caso se pueden modificar las cantidades de producción de peces

ornamentales, los precios de dichos peces, costos de su producción, costos de las externalidades, año de fuga de las EEI, tasa de interés que se considera en el ACB, costos de control, entre otros.

6 RESULTADOS DE LOS ACB

Las siguientes tablas presentan los resultados de los ACB, tanto desde el punto de vista privado, privado más social, privado más costo de control y privado más costo social más costo de control, para los tres tipos de grupos (Grupo 1: Bajo Índice de Bioseguridad, Grupo 2: Medio Índice de Bioseguridad y Grupo 3: Alto Índice de Bioseguridad). Para todos los casos, y con la finalidad de comparar, se recurrió a los mismos valores en las variables del ACB, salvo el año donde se podría presentar la fuga. Para determinar el año posible de fuga se consideró el Índice Bioseguridad; es decir, en el caso del Grupo 1 la probabilidad de tener una fuga los primeros años es mayor que el Grupo 2 y mucho mayor que el Grupo 3. De igual forma, para todos los casos se presenta los resultados del ACB considerando un límite inferior (-10%), un valor medio y un límite superior (+10%). Los supuestos que se consideraron para la estimación del impacto por la fuga de EEI son los siguientes, **supuestos que se pueden modificar en función del uso de la herramienta de Excel**:

- Las estimaciones consideran tanto el costo por turbiedad, costo en el valor económico de las viviendas por la presencia de EEI que modifican el entorno, costo por afectaciones a otras pesquerías, costo en afectaciones en bienestar de la sociedad (DAP), costo por reducciones en captura de carbono y costos por medidas de control y/o erradicación.

- Para el caso del costo por turbiedad se consideró una profundidad promedio de 2 metros para comparar el porcentaje de turbidez sin y con la presencia de EEI. Así mismo, se consideró que la cantidad de agua a tratar es de 500,000 m³.

- Para el caso del costo económico en afectaciones al valor estético de las viviendas se consideró un tamaño promedio de 50 m² de construcción, un valor de MXN 5,000 pesos por m² y una afectación a 1,000 viviendas.

- Para el caso del costo por afectaciones en la producción a otras pesquerías, se consideró que el porcentaje de EEI con respecto a las nativas es del 30% y que el número de pescadores afectados es de 3,000.

- Para el caso de los costo en afectaciones en bienestar de la sociedad, se considera que un 5% de los hogares de Morelos estarían DAP por reducir el impacto de las EEI sobre su bienestar.
- Para el caso de los costo por reducciones en captura de carbono, se considera una afectación a 30 hectáreas.
- Para el caso de los costos por medidas de control y/o erradicación, se considera una afectación a 300 hectáreas.
- Se considera que se realiza la fuga de las EEI en el año 3 para el Grupo 1, en el año 6 para el grupo 2 y en el año 8 para el grupo 3 considerando el índice de Bioseguridad como la probabilidad para la fuga.
- Finalmente, se asume que al aplicar los costos por medidas de control y/o erradicación influirán en reducir en los costos sociales año por año dependiendo si se analiza al Grupo de UPA 1, 2 o 3. Y que dichos costos sociales irán reduciendo en 10% con el paso de los años.

Es necesario recalcar que estos supuestos se pueden modificar en función de las necesidades que se requiera estimar. Si embargo, deberían ser los mismos para los tres diferentes grupos de UPA para su comparación.

Analizando los resultados, los ACB privados ascienden a un valor aproximado entre MXN \$1,174-\$1,435 millones de pesos para 450 UPA en un periodo de diez años para el escenario privado, mostrando que esta actividad genera una importante actividad económica. Sin embargo, cambia la situación cuando se considera los impactos a la sociedad que podría tener la actividad si se tendría una posible fuga de EEI y afectara a SE (costo turbiedad, costo valor de viviendas, costo en otras pesquerías, costo en afectaciones en bienestar de la sociedad y costo por reducciones en captura de carbono), y por ende al bienestar de la sociedad. En el caso del Grupo 1, Bajo Índice de Bioseguridad, el valor actual neto incluyedo externalidades negativas se situa entre MXN -\$5,519 y MXN -\$6,745 millones de pesos. En el caso del Grupo 2, Medio Índice de Bioseguridad, entre MXN -\$2,517 y MXN -\$3,076 millones de pesos. Y en el caso del Grupo 3, Alto Índice de Bioseguridad, entre MXN -\$868 y MXN -\$1,061 millones de pesos. Es decir, bajo las condiciones y valores que se consideró en el ACB, todos los Grupos de UPA cuando se presenta una posible fuga de EEI genera un valor actual neto (ingresos menos costos) negativos a comparación de si no se considera

dicha fuga y solo se toma en cuenta aspectos privados. Por lo tanto, los resultados demuestran la importancia de considerar los posibles impactos de una posible fuga de EEI sobre los SE y su afectación en el bienestar de la sociedad, y no solo desde un punto de vista privado. Es decir, se debe tratar de evitar que esta fuga de EEI, considerada como una externalidad negativa, genere posibles costos sociales, para lo cual por medio de instrumentos de política económica se debería internalizar posibles externalidades.

Por otro lado, dentro del ACB se incluye la relación Beneficio/Costo que muestra si los costos o los beneficios, ya sean privados y/o sociales, son mayores, iguales o menores a uno (1). En el caso que sean mayores que 1, los beneficios son mayores que los costos; mientras que si es menor que 1, los beneficios son menores que los costos. En el caso del escenario privado, para los tres grupos de UPA, la relación es mayor que 1, indicando que la actividad de producción de peces de ornato es rentable. Al analizar desde un punto de vista social, dicha relación es menor que 1 para los tres grupos de UPA, demostrando que en caso de fuga de especies, la actividad no es rentable socialmente. En este último caso es importante indicar que la relación beneficio costo desde un punto de vista social es menor para las UPA del Grupo 1 en comparación que las UPA del Grupo 2 o 3, debido a que presentan un Índice de Bioseguridad menor.

Cabe señalar que se han incorporado datos de la bibliografía para estimar los daños sociales causados por una fuga de EEI, situación que genera cierta incertidumbre para su uso en México ya que se trata de datos generados en otros contextos sociales y económicos; sin embargo válidos para una primera aproximación. Por otro lado, también hay que tener en cuenta que no se han incorporado todos los impactos que se pueden generar en caso de una fuga de peces debido a la falta de información, en la literatura o en campo, sobre sus costos, por ejemplo las afectaciones que podrían tener en la salud de las personas. Finalmente, también es de destacar que se han considerado todas las especies por igual, sin evaluar qué tipo de impacto pueden generar. De todos modos, la herramienta Excel generada es suficientemente flexible como para adaptarla caso por caso y poder seleccionar qué tipo de impacto es necesario incluir en el cálculo y cuál no.

Proyecto GEF-EEI Servicio de consultoría para estimar los costos de resarcir los daños causados por escapes de peces con la finalidad de implementación de un seguro de responsabilidad ambiental para las unidades de producción o acopio de peces ornamentales y elaboración de una base de datos con información de México sobre los costos asociados a las EEI

a) Grupo 1 - Bajo Índice de Bioseguridad:

Tabla 4. Resultados ACB para las UPA del Grupo 1: Bajo Índice de Bioseguridad

Indicadores de viabilidad privado de "X" UPA		Porcentaje para determinar los límites: 10%		
GRUPO UPA	1			
Número de UPA	450			
VALOR DEL ESCENARIO CALCULADO	Límite Inferior - Pesos Mexicanos	Pesos Mexicanos	Límite Superior - Pesos Mexicanos	Relación Beneficio/Costo
Valor Actual Neto Privado	\$ 1,174,874,313	\$ 1,305,415,903	\$ 1,435,957,493	1.3138
Valor Actual Neto Privado + Social	-\$ 5,519,002,106	-\$ 6,132,224,562	-\$ 6,745,447,019	0.4713
Valor Actual Neto Privado + Costo Control	\$ 1,170,492,929	\$ 1,300,547,699	\$ 1,430,602,469	1.3122
Valor Actual Neto Privado + Social + Costo Control	-\$ 3,449,269,856	-\$ 3,832,522,062	-\$ 4,215,774,268	0.5878

Fuente: Elaboración propia, 2019.

b) Grupo 2 - Medio Índice de Bioseguridad:

Tabla 5. Resultados ACB para las UPA del Grupo 2: Medio Índice de Bioseguridad

Indicadores de viabilidad privado de "X" UPA		Porcentaje para determinar los límites: 10%		
GRUPO UPA	2			
Número de UPA	450			
VALOR DEL ESCENARIO CALCULADO	Límite Inferior - Pesos Mexicanos	Pesos Mexicanos	Límite Superior - Pesos Mexicanos	Relación Beneficio/Costo
Valor Actual Neto Privado	\$ 1,174,874,313	\$ 1,305,415,903	\$ 1,435,957,493	1.3138
Valor Actual Neto Privado + Social	-\$ 2,517,113,712	-\$ 2,796,793,013	-\$ 3,076,472,314	0.6615
Valor Actual Neto Privado + Costo Control	\$ 1,171,647,631	\$ 1,301,830,701	\$ 1,432,013,771	1.3126
Valor Actual Neto Privado + Social + Costo Control	-\$ 1,838,625,294	-\$ 2,042,916,993	-\$ 2,247,208,692	0.7279

Fuente: Elaboración propia, 2019.

c) Grupo 3 - Alto Índice de Bioseguridad:

Tabla 6. Resultados ACB para las UPA del Grupo 3: Alto Índice de Bioseguridad

Indicadores de viabilidad privado de "X" UPA		Porcentaje para determinar los límites: 10%		
GRUPO UPA	3			
Número de UPA	450			
VALOR DEL ESCENARIO CALCULADO	Límite Inferior - Pesos Mexicanos	Pesos Mexicanos	Límite Superior - Pesos Mexicanos	Relación Beneficio/Costo
Valor Actual Neto Privado	\$ 1,174,874,313	\$ 1,305,415,903	\$ 1,435,957,493	1.3138
Valor Actual Neto Privado + Social	-\$ 868,160,488	-\$ 964,622,764	-\$ 1,061,085,041	0.8500
Valor Actual Neto Privado + Costo Control	\$ 1,172,281,915	\$ 1,302,535,461	\$ 1,432,789,007	1.3129
Valor Actual Neto Privado + Social + Costo Control	-\$ 676,921,343	-\$ 752,134,826	-\$ 827,348,309	0.8790

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Finalmente, la herramienta de Excel donde se desarrolla el ACB permite realizar una serie de cambios a determinados parámetros o variables del modelo, logrando de esta manera realizar una serie de análisis de sensibilidad de los resultados. Estos cambios o modificaciones en los valores de las variables estarán en función de los objetivos de la persona que use el ACB y de la situación o región bajo estudio. Como cualquier herramienta analítica, este ACB es mejorable para tener resultados más certeros.

7 CONCLUSIONES

La literatura sobre la economía del manejo de especies exóticas invasoras (EEI) continúa creciendo con el paso de los años atrayendo la atención tanto de investigadores como de autoridades gubernamentales relacionadas en el tema por los diferentes daños, externalidades negativas, que ocasiona su incorrecto manejo y/o liberación o fuga al ambiente en relación a los Servicios Ecosistémicos y afectaciones a terceros. La revisión internacional muestra que existen estudios sobre la estimación del costo de los daños de las EEI, con estudios relativamente tempranos en la década de los ochenta. Así mismo, también es evidente que los costos estimados varían considerablemente entre los estudios, y que puede ir desde miles de dólares por año hasta los costos correspondientes al 12% del producto interno bruto (PIB) (Pimentel et al., 2001). Para el caso de México, si bien existen unos primeros cálculos, principalmente están basados en el gasto de campañas y/o tratamientos fitosanitarios para controlar o erradicar las EEI. Por ejemplo, entre los años 2002 y 2009, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) destinó aproximadamente unos USD 750 mil para la campaña de la palomilla del nopal (*Cactoblastis cactorum*) logrando erradicarla de la geografía del país. Estudios donde cuantifiquen daños a terceros son los desarrollados por Mendoza et al. (2007) o Stabridis et al. (2009). En ambos casos se analiza el impacto del pez diablo o peces loricáridos en la Presa El Infiernillo ubicada entre los Estados de Michoacán y Guerrero. Los primeros autores estiman el daño por pérdida de producción pesquera, principalmente tilapias, en un valor de MXN \$40 millones de pesos al año; mientras que los segundos autores estiman un valor anual de MXN \$340 millones de pesos donde además de incluir pérdidas pesqueras, incluyen el impacto sobre el capital natural y actividades de acuarismo.

Para esta investigación que tiene como objetivo elaborar un estudio económico, a partir de la información existente y de revisión de literatura nacional e internacional, que estime los costos reales de control y/o erradicación del medio acuático de peces provenientes de escapes de una unidad de producción acuícola (UPA), así como los de resarcir los daños generados a terceros para el Estado de Morelos se recurrió a plantear una serie de análisis costo-beneficios para tres tipos de grupos de UPA. Dichos grupos de UPA se construyeron tomando en cuenta el Índice de Bioseguridad del proceso productivo. Los resultados muestran que los tres tipos de grupos de UPA presentan un valor actual neto (ingresos menos costos) positivo cuando se considera solo variables o aspectos privados del proceso

productivo; sin embargo, la situación o los resultados se modifican cuando se integran en el ejercicio costos sociales o externalidades negativas que afectan a la sociedad, pasando a tener valores actuales negativos. No obstante, se evidencia que cuanto mayor es el índice de bioseguridad, es decir, menor es el riesgo de escape de peces que tiene la unidad de producción, menor es este costo, hecho que permite visualizar el valor de la aplicación de este tipo de medidas. En tal sentido, al demostrar por medio de una serie de ACB el impacto negativo que podría generar una posible fuga de EEI en el bienestar de la sociedad surge la necesidad de buscar mecanismos de política pública que traten de evitarlos o reducirlos. Una alternativa es el plantear una serie de instrumentos económicos que presenta la literatura y/o la práctica en algunos países. Por ejemplo, se podría pensar en implementar sanciones económicas para restaurar las afectaciones ya realizadas (expost), pero no solo de los costos de control. O el establecimiento de medidas preventivas como son los seguros de responsabilidad ambiental o civil. Es necesario indicar, que el establecimiento de política debe ser por medio de una serie de instrumentos o vías para lograr con mayor eficacia los objetivos, que en este caso es la no fuga de EEI que afecten los SE y que éstas, deben ser construidas y aplicadas con la complicidad del sector productivo.

Finalmente, es necesario indicar que este es un primer ejercicio de estimación y construcción de un ACB para una posible fuga de EEI acuáticas de agua dulce en México y que debe ser alimentado constantemente. Alguna información que se utilizó en los ACB son resultados de investigaciones internacionales que se adaptaron al contexto nacional; sin embargo, es recomendable generar información nacional como insumo principal.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acquaye, A. K. A., Alston, J. M., Lee, H. & Sumner, D. A. 2005. Economic Consequences of Invasive Species Policies in the Presence of Commodity Programs: Theory and Application to Citrus Canker. *Review of Agricultural Economics*. 27 (3): 498-504.

Acquatella, J. 2001. Aplicaciones de instrumentos económicos en la gestión ambiental en América Latina y el Caribe: desafíos y factores condicionantes. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Aguirre Muñoz, A., Mendoza Alfaro, R. et al., 2009. Especies exóticas invasoras: impactos sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía, en Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. CONABIO, pp.277-318.

Bradshaw, C. J. A. et al. 2016. Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nature Communications* 7(12986): 1-8.

Capdevila, A., Igesias, A., Orueta, J.F. & Zilleti, B. 2006. Especies exóticas invasoras: Diagnóstico y bases para la prevención y el manejo. Serie técnica - Naturaleza y parques nacionales. Organismo Autónomo Parques Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España.

Contreras-MacBeath, T., M.T. Gaspar-Dillanes, L. Huidobro-Campos y H. Mejía-Mojica. 2014. Peces invasoras en el centro de México, en R. Mendoza y P. Koleff (coords.), Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 413-424.

De Groot, R., Fisher, B. & Christie, M. 2010. Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In: TEEB, ed., *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: The Ecological and Economic Foundations*.

Nishizawa, E., Kurokawa, T. & Yabe, M. 2006. Policies and resident's willingness to pay restoring the ecosystem damaged by alien fish in Lake Biwa, Japan. *Environmental Science and Policy* 9:448-456.

Evans, E. 2003. Economic Dimensions of Invasive Species. Edited by Association American Agricultural Economics. *Choices 5 Magazine*. Second quarter

Evans, E. A., Spreen, T. H. & Knapp J. L. 2003. Economic Issues of Invasive Pests and Diseases and Food Safety, *MGTC 02-2*. University of Florida, International Agricultural Trade and Policy Center, Gainesville FA

García Llorente, M., Martín López, B., Nunes, P.A.L.D., González, J.A., Alcorlo, P. & Montes, C. 2011. Analyzing the social factors that influence willingness to pay for invasive alien species management under two different strategies: eradication and prevention. *Environmental Management* 48: 418-435.

Genovesi, P., Carboneras, C., Vilà, M. & Walton, P. 2014. EU adopts innovative legislation on invasive species: a step towards a global response to biological invasions?. *Biological Invasions*. DOI: 10.1007/s10530-014-0817-8.

Giakoumi, S., Katsanevakis, S., Albano, P.G., Azzuro, E., Cardoso, A.C., Cebrian, E., Deidun, A., Edelist, D., Francour, P., Jimenez, C., Macic, V., Occhipinti-Ambrogi, A., Rilov, G. & Ramzi, Y. 2019. Management priorities for marine invasive species. *Science of the Total Environment* 688: 976-982.

Katsanevakis, S., Wallentinus, I., Zenetos, A., Leppakoski, E., Ertan, M., Ozturk, B., Grabowski, M., Golani, D. & Cardoso, A.C. 2014. Impacts on invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: a pan-European review. *Aquatic Invasions* 9(4): 391-423.

Hanley, N. & Roberts, M. 2018. The economic benefits of invasive species management. *People and Nature* 1: 124-137.

Haifeng Liao, F., Wilhelm, F. M. & Solomon, M. 2016. The effects of ambient water quality and eurasian watermilfoil on Lakefront property values in the Coeur d'Alene Area of Northern Idaho, USA. *Sustainability* 8:44-50.

Heberling, M., Nietch, C., Thurston, H., Elovitz, M., Bierkenhauer, K., Panguluri, S., Ramakrishnan, B., Heiser, E., & Neyer, T. 2015. Comparing drinking water treatment costs to source water protection costs using time series analysis. *Water Resources Research* 51:8741-8756.

Jardine, S. L. & Sanchirico, J. N. 2018. Estimating the cost of invasive species control. *Journal of Environmental Economics and Management* 87: 242-257.

Liu, L. & Piper, B. 2016. Predicting the total economic impacts of invasive species: The case of *B. Rubrostriata* (red storked leafhopper). *Ecological Economics* 128: 139-146.

Marbua, G., Gren, I. M. & McKie, B. 2014. Economics of Harmful Invasive Species: A Review. *Diversity* 6: 500-523.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis. Island Press, pp. 1-155

Ortiz-Monasterio, A. 2013. Reporte basado en el análisis de la legislación mexicana referente al manejo de EEI. Preparado para la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad con fondos del Global Environmental Facility en preparación del proyecto a ser sometido al Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.

Olander, L., Johnston, R. J., Tallis, H., Kagan, J., Maguire, L., Polasky, S., Urban, D., Boyd, J., Waigner, L. & Palmer, M. 2015. Best Practices for Integrating Ecosystem Services into Federal Decision Making. Durham: National Ecosystem Services Partnership, Duke University.

Pimentel, D., Zuniga, R. & Morrison, D. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52:273-288.

Pimentel, D., McNair, S., Janecka, J., Wightman, J., Simmonds, C., O'Connell, C., Wong, E., Russel, L., Zern, J., Aquino, T. et al. 2001. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. *Agr. Ecosyst.* 84: 1-20.

PNUD México. 2017. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). Plan de trabajo. Servicio de consultoría para implementar un proyecto piloto de control de tres especies exótica invasoras en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. Proyecto 0089333 "Aumentar las Capacidades Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la implementación de la Estrategia Nacional de EEI". 32 pp. Martínez-Rodríguez, A. L., Martínez-Rodríguez, J.M. & E. Flores-García. CIPACTLI, Agencia de Restauración Forestal y Vida Silvestre S.C. San Ignacio, Mulegé, Baja California Sur, México.

PNUD México (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) 2017. Desarrollo de una propuesta técnica entre los productores para minimizar el riesgo de dispersión de Especies Exóticas Invasoras (EEI) en el sector acuícola de estado de Morelos. Mendoza Alfaro, R.S., Luna, L. Álvarez González y R. Maciel de la Garza. 326 p.

Polasky, S., Nelson, E., Camm, J., Csuti, B., Fackler, P., Lonsdorf, E., Montgomery, C., White, D., Arthur, J., Garber-Yonts, B., Haight, R., Kagan, J., Starfield, A. & Tobalske, C. 2008. Where to put things? Spatial land management to sustain biodiversity and economic returns. *Biological Conservation* 1505-1524.

Rowe, D. K. 2007. Exotic fish introductions and the decline of water clarity in small North Island, New Zealand lakes: a multi-species problema. *Hydrobiologica* 583: 345-358.

Saad Alvarado, L. 2016. Estudio sobre la viabilidad del desarrollo e implementación de instrumento económicos para reducir el riesgo de introducciones intencionales de EEI que amenazan la biodiversidad. Informe final al Global Environmental Facility (GEF) en el marco del proyecto 00089333 Aumentar las Capacidad Nacionales para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la implementación de la Estrategia Nacional de EEI, PNUD-CONABIO-SEMARNAT, México.

Stabridis-Arana, O., Guevara-Sanginés, A., Mendoza, R., Ramírez, C., Escalera, C. & Koleff, P. 2009. Análisis socioeconómico de los efectos de la familia Loricariidae en México: el caso de la prisa Adolfo López Mateos (El Infiernillo). En Directrices trinacionales para la evaluación de riesgos de las especies acuáticas exóticas invasoras. Casos de prueba para el pez cabeza de serpiente (Channidae) y el pleco (Loricariidae) en agua continentales de América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental, pág. 61-98.

Tuttle, C. & Heinzelman, M. D. 2015. A loon on every lake: A hedonic analysis of lake water quantity in the Adirondacks. *Resource and Energy Economics* 39:1-15.

Walsh, J. R., Carpenter, S.R., Jake Vander Zanden, M. 2016. Invasive species triggers a massive loss of ecosystem services through a trophic cascade. *PNAS* 113-15: 4081-4085.

Xia, Y., Zhao, W., Xie, Y., Xue, H., Li, J., Li, Y., Chen, W., Huang, Y. & Li, X. 2019. Ecological and economic impacts of exotic fish species on fisheries in the Pearl River basin. *Management of biological invasions* 10: 127-138.