



*Serie Investigación*

# METALES PESADOS EN NUESTRA MESA

## CONTAMINACIÓN DE PECES DE CONSUMO HUMANO EN COLOMBIA

---

Marlenny Díaz Cano  
Ellie Anne López Barrera  
*Compiladoras*



UNIVERSIDAD  
SERGIO ARBOLEDA



### **Marlenny Diaz Cano**

Profesional en Educación, Licenciada en Idiomas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas; abogada de la Universidad Nacional de Colombia, Magíster en Estudios del Desarrollo con énfasis en Medio Ambiente y Especialista en Planificación y administración del desarrollo regional del Centro Interdisciplinario de Estudios sobre Desarrollo CIDER de la Universidad de los Andes (Bogotá). Doctorante en Sociología. Áreas de desempeño investigativo y de publicaciones en: análisis de política pública ambiental, y gobernanza marino-costera, participación ciudadana y sociología rural. Actualmente directora de la línea de investigación marino-costera y portuaria del Grupo Joaquín Aaron Manjarrés de la Escuela de Derecho (categoría A1 según MINCIENCIAS). Catedrática en derecho marítimo y portuario, antropología cultural y del desarrollo, derecho ambiental, metodología de la investigación, y derecho internacional privado.



### **Ellie Anne López Barrera**

Profesional en Biología Marina graduada de la Universidad Jorge Tadeo Lozano (2005) con estudios de Maestría en Oceanografía biológica y Doctorado en Ecología y conservación de la Universidade Federal do Paraná, Brasil (2007-2013). Con experiencia en el área de ciencias biológicas – multidisciplinar. Experiencia en docencia, gestión ambiental e investigación en programas de pregrado y posgrado en Instituciones de Educación Superior. Desarrolla actividades de docencia e investigación en áreas de ecología, ecosistemas y biodiversidad, sistemas costeros y oceánicos, ingeniería ambiental y ecotoxicología acuática. Conocimiento sobre gestión de riesgo ambiental, cambio climático, servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica, calidad ambiental y salud pública, gestión e ingeniería ambiental. Líder de investigación del Grupo IDEASA- Medio Ambiente y Sostenibilidad (Categoría B según MINCIENCIAS).



## METALES PESADOS EN NUESTRA MESA

CONTAMINACIÓN DE PECES DE CONSUMO HUMANO EN COLOMBIA

La contaminación de peces de consumo humano por sustancias tóxicas es un problema mundial que impacta no solo desde lo ambiental sino también en aspectos de salud pública, pues pone en riesgo la garantía de la inocuidad alimentaria. El presente libro presenta resultados de la investigación multidisciplinaria *Sistema de Información sobre contaminación de peces para consumo humano por metales pesados en Colombia* que, desde el año 2017, se interesó por ahondar en las características, nivel y vías de regulación de este tipo de sustancia tóxica en peces dulceacuícolas y marinos del país. Los capítulos en conjunto aportan un panorama actualizado de la producción científica en la materia, un análisis del marco regulador y aspectos relacionados con la percepción ciudadana frente al riesgo por consumo de peces contaminados. Destacan entre los resultados, la preocupante evidencia del nivel del problema con el mercurio como gran protagonista; que aunque existe una producción normativa esta resulta deficiente para gestionar el control en toda la cadena del alimento; y, al final, que los consumidores tienen una percepción tal que denota un conocimiento superficial y en ocasiones confuso, sobre las implicaciones de este tipo de riesgo para la salud.



Instituto de Estudios y Servicios Ambientales - IDEASA

**UNIVERSIDAD SERGIO ARBOLEDA**

Carrera 15 No. 74-40. Tels.: (571) 3257500 ext. 2131 - 3220538. Bogotá, D.C.

Calle 18 No. 14A-18. Tels.: (575) 4203838 - 4202651. Santa Marta.

Calle 58 No. 68-91. Tel.: (575) 3689417. Barranquilla

[www.usergioarboleda.edu.co](http://www.usergioarboleda.edu.co)

# METALES PESADOS EN NUESTRA MESA

CONTAMINACIÓN DE PECES DE CONSUMO  
HUMANO EN COLOMBIA

MARLENNY DIAZ CANO  
ELLIE ANNE LÓPEZ BARRERA  
*Compiladoras*

RAFAEL BARRAGÁN GONZÁLEZ  
*Autor invitado*



UNIVERSIDAD  
SERGIO ARBOLEDA

Instituto de Estudios y Servicios Ambientales - IDEASA  
Bogotá, Colombia  
2020

Diaz Cano, Marlenny

Metales pesados en nuestra mesa: contaminación de peces de consumo humano en Colombia / Marlenny Diaz Cano, Ellie Anne López Barrera, compiladores; Rafael Barragán González, autor invitado – Bogotá: Universidad Sergio Arboleda. Escuela de Ciencias de la Comunicación, 2020.

139 p.

ISBN: 978-958-5511 (.pdf)

1. Contaminación de productos pesqueros - Colombia 2. Contaminación alimentos – Colombia 3. Control del pescado - Colombia 4. Pescado como alimento I. Díaz Cano, Marlenny, comp. II. López Barrera, Ellie Anne, comp. II. Barragan González, Rafael IV. Título

641.39

## METALES PESADOS EN NUESTRA MESA CONTAMINACIÓN DE PECES DE CONSUMO HUMANO EN COLOMBIA

ISBN: 978-958-5158-12-2 (.pdf)

DOI: 10.22518/book/9789585158122

© Universidad Sergio Arboleda  
Instituto de Estudios y Servicios  
Ambientales – IDEASA  
*Compiladoras*  
Marlenny Diaz-Cano  
Ellie Anne López-Barrera  
*Autores*  
Marlenny Diaz-Cano  
Ellie Anne López-Barrera  
Rafael Barragán González

Primera edición: noviembre de 2020

Fondo de Publicaciones de la  
Universidad Sergio Arboleda.

Este libro tuvo un proceso de arbitraje doble ciego.

El contenido del libro no representa la opinión de la Universidad Sergio Arboleda y es responsabilidad de los autores.

### *Edición:*

Diana Niño Muñoz  
Deisy Janeth Osorio Gómez  
*Dirección de Publicaciones Científicas*

### *Diseño y diagramación:*

Maruja Esther Flórez Jiménez

### *Corrección de estilo:*

Yuly Rocío Orjuela Rozo

Fondo de Publicaciones

Universidad Sergio Arboleda

Calle 74 No. 14-14.

Teléfono: (571) 325 7500 ext. 2131/2260

[www.usergioarboleda.edu.co](http://www.usergioarboleda.edu.co)

Bogotá, D.C.



*Licencia de uso:* esta licencia permite descargar y compartir las obras publicadas en este libro, sin modificaciones ni uso comercial.

## Contenido

<b>Prólogo</b> .....	11
<b>Presentación</b> .....	15
<b>Introducción</b> .....	19
Metales pesados en peces .....	21
Referencias .....	23
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Estado del conocimiento sobre presencia de metales en peces de Colombia</b> .....	25
Resumen .....	25
Introducción .....	25
Materiales y métodos .....	28
Resultados y discusión .....	28
Conclusiones .....	38
Referencias .....	39
<b>Capítulo 2</b>	
<b>La contaminación de peces por metales en Colombia y sus vías de control institucional</b> .....	47
Resumen .....	47
Introducción .....	48
Materiales y métodos .....	48
Resultados y discusión .....	49
Nivel del problema en Colombia .....	49
Vías de gestión desde la política pública .....	52
Descripción de las vías identificadas y observaciones de eficacia .....	54
Primera vía. Garantista - Protección constitucional de derechos.....	54
Segunda vía. Prescriptiva, sancionatorio y de control con alcance a posteriori y reactivo. ....	56
Tercera vía. Normas de libre adhesión y de derecho internacional.....	60
Cuarta Vía. El enfoque Preventivo- Control sobre factores de riesgo....	63
Conclusiones .....	65
Referencias .....	66
<b>Capítulo 3</b>	
<b>Aplicación del modelo interpretativo estructural para el análisis de la percepción de la comunidad frente al riesgo por consumo de metales a través la dieta</b> .....	75
Resumen .....	75
Introducción .....	76
Materiales y métodos .....	77
World Café .....	77
Modelamiento estructural interpretativo (ISM).....	79
Resultados y discusión .....	82
Modelo estructural interpretativo (ISM) .....	85
Conclusiones .....	88
Referencias .....	89

#### Capítulo 4

<b>Potencial de riesgo humano por el consumo de metales presentes en alimentos, en el mercado de productos pesqueros de Bogotá</b> .....	93
Resumen .....	93
Introducción .....	94
Materiales y métodos .....	96
Determinación de metales en productos pesqueros .....	96
Determinación de riesgo de consumo .....	97
Índice de contaminación por metales (MPI) .....	97
Exposiciones a múltiples especies ( $E_{m,j}$ ) .....	97
Exposición a múltiples químicos ( $E_{j,m}$ ) .....	98
Cocientes de riesgo (THQ) .....	98
Aplicación de encuestas .....	99
Resultados y discusión .....	99
Determinación de concentraciones de metales tóxicos .....	99
Determinación del riesgo por consumo .....	102
Caracterización del consumo de productos pesqueros en Bogotá .....	104
Conclusiones .....	108
Referencias .....	109

#### Capítulo 5

<b>Contaminación de peces con mercurio en Colombia. Caracterización del problema y eficacia de su control desde el enfoque de la inocuidad alimentaria</b> .....	111
Resumen .....	111
Introducción .....	112
Materiales y métodos .....	113
Resultados y discusión .....	114
Características generales del problema de Mercurio en peces .....	114
Límites máximos permitidos (LMP) y excedidos (LME) de Hg .....	116
Nivel de problema en Colombia .....	117
Reportes de Hg en peces -Colombia. ....	117
Reportes sobre presencia de Hg en poblaciones del país. ....	120
Fuentes de contaminación .....	121
Control preventivo al problema de peces contaminados con Hg, desde el enfoque de la inocuidad alimentaria .....	122
Inocuidad alimentaria y contaminación ambiental .....	124
Observaciones de eficacia del Sistema ARICPC .....	125
Conclusiones .....	130
Referencias .....	130

## Lista de tablas

Tabla 1	Fuentes, impactos y límites máximos de metales pesados en peces .....	21
Tabla 2	Resumen de concentraciones máximas y mínimas de metales pesados (µg/g, peso húmedo) en músculo de peces reportados en Colombia 1990-2019 que exceden el límite máximo permitido en pescado de consumo humano. Resolución 122 de 2012.....	31
Tabla 3	Reportes amplios sobre presencia de metales pesados en peces – Colombia entre 1998 a 2018 .....	49
Tabla 4	Concentraciones de metales pesados en peces muy cerca al límite permitido o que lo sobrepasan según la Resolución 122 de 2012 del Ministerio de Salud de Colombia .....	50
Tabla 5	Vías identificadas para la gestión de la contaminación de peces por metales pesados .....	53
Tabla 6	Preguntas guía para el desarrollo de cada eje temático de acuerdo con cada aspecto abordado en el “Taller Metales tóxicos en nuestra mesa: exposición, riesgos y aplicaciones” .....	78
Tabla 7	Caracterización de aspectos y causas de la percepción de la problemática de contaminación de productos pesqueros de consumo por metales pesados .....	80
Tabla 8	Matriz estructural de autointeracción de aplicación del ISM, para analizar la percepción de la problemática de contaminación de productos pesqueros de consumo, por metales pesados.....	81
Tabla 9	Matriz de accesibilidad. La suma horizontal determina el poder determinante y la suma vertical el nivel de dependencia de cada factor .....	82
Tabla 10	Resultados de caracterización de causas de la problemática en Santa Marta y Bogotá.....	82
Tabla 11	Resultados de caracterización de causas de la problemática en las dos regiones estudiadas.....	83

Tabla 12	
Resultados de caracterización de causas de la problemática en las dos regiones estudiadas.....	85
Tabla 13	
Medias de concentraciones de Pb, Cd, As y Hg (mg/kg ww) en ocho especies de peces de mayor consumo en Bogotá D.C., Colombia.....	100
Tabla 14	
Límites máximos permitidos de mercurio en peces.....	116
Tabla 15	
Reportes de límites máximos excedidos (LME) de mercurio Hg/ y metilmercurio MeHg en peces para Colombia .....	118

## Lista de figuras

Figura 1	
Número de documentos científicos que registran presencia de metales en Colombia 1990-2019 .....	29
Figura 2	
Registro de documentos científicos con presencia de metales en el período de 1990-2019 .....	29
Figura 3	
Registro de documentos científicos con presencia de mercurio en cuencas de Colombia 1990-2019 .....	30
Figura 4	
Modelo estructural interpretativo para el ejercicio realizado en la ciudad de Santa Marta.....	86
Figura 5	
Índice de contaminación por metal (MPI) en ocho especies de peces de consumo en Bogotá D.C. ....	102
Figura 6	
Índices exposición a múltiples químicos (Ej.m) y coeficiente de riesgo (THQ) en ocho especies de peces de consumo en Bogotá D. C.....	103
Figura 7	
Preferencia de consumo de alimento de origen pesquero por estrato socioeconómico en Bogotá.....	104
Figura 8	
Frecuencia de consumo de alimentos de origen pesquero en la ciudad de Bogotá .....	105
Figura 9	
Reportes de mercurio en peces por departamento en Colombia 1990-2018 .....	118



## **Acrónimos, símbolos y siglas**

**ARICPC:** Sistema de Análisis de Riesgos y Puntos críticos.

**As:** Arsénico.

**AUNAP:** Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.

**BPA:** Buenas Prácticas Agrícolas.

**BPH:** Buenas Prácticas de Higiene.

**BPM:** Buenas Prácticas de Manufactura.

**Cd:** Cadmio.

**CONPES:** Consejo Nacional de Política Económica y Social.

**Cr:** Cromo.

**Cu:** Cobre.

**DNP:** Departamento Nacional de Planeación.

**DOFA:** Debilidades, Oportunidades, Fortalezas y Amenazas.

**EPA:** Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

**ENSIN:** Encuesta Nacional de la Situación Nutricional en Colombia.

**E<sub>j,m</sub>:** *Multiple Chemical Exposure* (Exposición Química Múltiple).

**E<sub>m,j</sub>:** *Multiple Species Exposures* (Exposición de Especie Múltiple).

**ETA:** Enfermedades Transmitidas por Alimentos.

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**g/L:** Gramo por litro.

**Hg:** Mercurio.

**INCODER:** Instituto Colombiano de Desarrollo Rural.

**INVIMA:** Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos.

**INS:** Instituto Nacional de Salud.

**ISM:** *Interpretive Structural Modelling* (Modelamiento Estructural Interpretativo).

**IVC:** inspección Vigilancia y control.

**LMP:** Límite máximo permitido de contaminante en alimento.

**LME:** Límite máximo excedido de contaminante en alimento.

**MADS:** Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Sostenible de Colombia.

**MINSALUD:** Ministerio de Salud de Colombia.

**MPI:** *Metal Pollution Index* (Índice de Contaminación del Metal).

**Ni:** Níquel.

**OMS:** Organización Mundial de la Salud.

**Pb:** Plomo.

**PNSAIA:** Política Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de Alimentos para el Sistema de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias.

**PTDI:** Ingesta Diaria Provisional Tolerable.

**PTWI:** Ingesta Semanal Provisional Tolerable.

**SIVIGILA:** Sistema de Vigilancia y Control en Salud pública.

**THQ:** *Target Hazard Quotient* (Cociente de Riesgo Objetivo).

**µg/l:** Microgramo por litro.

**WC:** World café.

**THQ:** *Target Hazard Quotient* (Cociente de Riesgo o Peligrosidad).

**Zn:** Zinc.

### **Aplicación del modelo interpretativo estructural para el análisis de la percepción de la comunidad frente al riesgo por consumo de metales a través la dieta**

*Ellie Anne López Barrera - Rafael Barragán González - Marlenny Díaz Cano*

#### **Resumen**

Los productos de origen pesquero pueden adquirir concentraciones de metales pesados (Hg, Cd, As, Pb) a través de procesos de bioacumulación y biomagnificación, debido a la exposición de los organismos a estos xenobióticos en los sistemas acuáticos. Niveles bajos de concentración de metales producen un impacto negativo en la salud de las personas de comunidades con consumo frecuente de peces. En este capítulo, se presentan los resultados del análisis realizado a la percepción de 26 representantes de gremios o asociaciones de consumidores colombianos frente a la problemática de riesgo por consumo de metales tóxicos en la zona costera de Colombia, específicamente en Santa Marta. Este estudio se realizó también con consumidores de Bogotá, ciudad capital ubicada en el interior del país. Para analizar la percepción de la comunidad, con énfasis en la caracterización de las causas, elementos regulatorios y apropiación social del conocimiento, se implementó la metodología de investigación participativa *World Café* (WC) y se aplicó el modelo interpretativo estructural (ISM). Al examinar la percepción de las personas sobre problema, los resultados orientaron la priorización de los temas necesarios

para fortalecer la apropiación social del conocimiento relacionado con la contaminación con metales pesados de alimentos de origen pesquero. El análisis presentado en este estudio ilustra que la información independiente y disponible públicamente puede ayudar a los consumidores a desarrollar una opinión bien informada sobre temas de seguridad alimentaria que les permita gestionar su riesgo.

## **Introducción**

La contaminación con metales pesados constituye una problemática mundial debido a que dichos metales se encuentran ampliamente distribuidos en ecosistemas acuáticos, especialmente marinos. En este sentido, los océanos desempeñan un papel central en el ciclo biogeoquímico de metales, como el mercurio, debido a la ocurrencia de una serie de procesos abióticos (especiación química, eliminación inorgánica y sedimentación) y procesos biológicos (bioacumulación y biomagnificación). Las actividades antropogénicas influyen en los patrones temporales y espaciales de este ciclo a escala global, desde las fuentes hasta los sumideros, e impactan la biota acuática y los humanos (Schartup *et al.*, 2015).

Es evidente que la presencia de metales pesados en poblaciones y ecosistemas desencadenan un riesgo inminente en términos de exposición directa e indirecta (Schartup *et al.*, 2015), pues la bioacumulación se produce principalmente a través de la red alimentaria y captaciones de agua (Diez, 2009), y la exposición humana está dominada por el consumo de pescado y productos de las operaciones de acuicultura (Costa *et al.*, 2012).

Factores como la falta de datos locales confiables, la variabilidad de las condiciones ambientales y las prioridades de los gobiernos han sido obstáculos para el avance en la investigación de metales pesados en los trópicos (Costa *et al.*, 2012). A medida que el riesgo ambiental crece, es importante monitorear hasta qué punto se han alterado los ciclos biogeoquímicos que promueven el incremento de concentraciones en los ecosistemas costeros y evaluar el potencial de biodisponibilidad en el medio (IDEAM, 2014). Esta situación afecta principalmente a las comunidades vulnerables como las costeras, por cuanto el cambio de las características ambientales de los ecosistemas marinos crea un escenario de exposición en peces, los cuales son consumidos por habitantes de la región como fuente principal de proteína.

El objetivo de este documento fue analizar sistemáticamente las causas y consecuencias de la contaminación por metales e identificar la percepción de los consumidores. Para ello, se registró su opinión en un *World Café* (WC) y se implementó el modelamiento estructural interpretativo (*Interpretive Structural Modelling*, ISM). Se utilizó esta metodología para lograr un impacto exitoso en el diseño de productos; sin embargo, hace falta aplicar una lógica transparente y bien organizada que permita deducir los vínculos existentes entre la percepción de los consumidores y los componentes de un sistema complejo, como resulta ser el caso de la exposición a metales tóxicos presentes en alimentos. La aplicación del modelado estructural interpretativo ha sido utilizada durante la etapa de diseño de productos para detectar las preferencias del cliente y mejorar el impacto del producto que se ofrece (Lin *et al.*, 2006; Chang *et al.*, 2013; Hsiao *et al.*, 2013).

## **Materiales y métodos**

Con el fin de conocer la percepción de los consumidores frente a la problemática de metales en productos pesqueros de consumo humano, se realizó una serie de talleres denominados “Metales tóxicos en nuestra mesa: exposición, riesgos y aplicaciones”. El primer taller se llevó a cabo en la ciudad de Santa Marta, ubicada en la costa Caribe colombiana, y el segundo, en la ciudad de Bogotá, la capital de Colombia, localizada geográficamente en el interior del país.

### **World Café**

La convocatoria para participar en los talleres se realizó de forma abierta; por tanto, el público estuvo conformado por personas pertenecientes a la academia y sociedad civil organizada en grupos de consumidores y de productores orgánicos. Para la realización de los talleres, se implementó la metodología *World Café* (WC), la cual consiste en crear redes de diálogo colaborativo alrededor de la problemática, cuyos resultados, a partir de las opiniones de la comunidad, sirven como herramientas para gestionar la toma de decisiones (Brown y Isaacs, 2005). En la implementación de la metodología WC, se definieron roles para los participantes: el rol de anfitrión, asumido por los autores para dirigir las mesas de trabajo y controlar el tiempo de la actividad; y el rol de “polinizador” en cada mesa de trabajo, con la función de transmitir la información discutida internamente a las otras mesas, lo

cual permitió la divulgación de la información y la recolección de los nuevos aportes de miembros de otras mesas (Fouché y Light, 2011).

Para el WC, los participantes divididos en mesas de trabajo desarrollaron tres ejes temáticos: 1) caracterización de causas; 2) elementos regulatorios, y 3) apropiación del conocimiento. En cada ambiente de trabajo, de manera simultánea, se analizaron y discutieron las preguntas orientadoras. Los principales hallazgos fueron registrados en un cuadernillo y se condensan en la tabla 6.

Tabla 6

Preguntas guía para el desarrollo de cada eje temático de acuerdo con cada aspecto abordado en el “Taller Metales tóxicos en nuestra mesa: exposición, riesgos y aplicaciones”

Eje temático	Aspecto	Preguntas
<b>Caracterización de causas</b>	Localización de la problemática	¿En qué lugares de Colombia o del mundo reconoce que existe la problemática de contaminación por metales en productos de origen pesquero? ¿En su lugar de residencia existe esta problemática?
	Actividades económicas	¿Cuáles de estas actividades económicas reconoce como causantes de la contaminación de alimentos de origen pesquero con metales? <i>Actividad agrícola, actividad pecuaria, actividades de minería, actividades de extracción, actividad forestal.</i> ¿Cree usted que alguna otra actividad puede provocar la contaminación por metales? ¿Cuál?
	Tipo de contaminantes	¿Qué contaminantes consideran que se pueden generar de cada una de las actividades económicas reconocidas anteriormente? ¿En qué partes del ecosistema pueden estar estos contaminantes? (Agua, suelo, aire, peces, vegetación).
	Impactos	¿Qué impactos positivos y negativos reconoce en relación con las actividades económicas reconocidas como responsables de la contaminación de alimentos de origen pesquero?
<b>Elementos regulatorios</b>	Institucionalidad	¿Qué instituciones reconoce como responsables de garantizar su seguridad alimentaria? ¿Qué instituciones reconoce como responsables de garantizar la inocuidad de los alimentos?
	Actores impactados	¿Cuáles comunidades consideran que son impactadas por los metales tóxicos en productos pesqueros? ¿Cuál es el impacto?
	Actores fiscalizadores	¿Qué institución reconoce cómo responsable de fiscalizar la problemática? ¿Cómo cumplen estas instituciones su labor? ¿Considera que desempeñan adecuadamente esta función?

Eje temático	Aspecto	Preguntas
<b>Elementos regulatorios</b>	Actores fiscalizadores	¿Qué institución reconoce cómo responsable de fiscalizar la problemática? ¿Cómo cumplen estas instituciones su labor? ¿Considera que desempeñan adecuadamente esta función?
	Costos económicos	¿Cómo considera el costo económico para prevenir la problemática? ¿Cómo considera el costo económico para enfrentar la problemática? (Bienestar, salud, ecológico).
<b>Apropiación del conocimiento</b>	Inquietudes	Actividad: “30 preguntas que siempre quiso hacer sobre metales tóxicos y contaminación de productos pesqueros”.
	Especies	¿Qué especies de origen pesquero reconoce como afectadas por la contaminación de alimentos? ¿En qué región, local o país se han identificado estas problemáticas? ¿Cuáles de estas especies usted consume? ¿Con qué frecuencia las consume?
	Riesgo ecológico	¿Considera que existe un riesgo para los ecosistemas con la presencia de metales tóxicos en el ambiente? ¿Por qué?
	Salud pública	¿Considera que existe un riesgo para la salud pública la presencia de metales tóxicos en el ambiente? ¿Por qué? ¿Considera que algunas enfermedades puedan ser consecuencia de la problemática? ¿Cuáles? ¿Por qué? ¿Qué gasto considera mayor: el prevenir o el enfrentar la problemática?

Una vez cumplido el tiempo estipulado de veinte minutos para la discusión en cada mesa de trabajo, los participantes con el rol de polinizador cambiaron de mesa y continuaron la discusión con otros participantes hasta abordar todos los temas propuestos en las tres mesas de trabajo.

### **Modelamiento estructural interpretativo (ISM)**

Se utilizó un modelo estructural interpretativo para determinar el grado de las causas identificadas en el *WC*, según su determinación y dependencia. Inicialmente, se realizó la jerarquización de aspectos relevantes; la información se organizó (tabla 7) de acuerdo con la caracterización de los aspectos identificados en la discusión abordada en las mesas de trabajo. Para ello, se tuvieron en cuenta cinco criterios:

1. Descripción de la causa identificada, máximo 100 palabras.

2. Plazo aproximado de las repercusiones o implicaciones, en años.
3. Escala aproximada de las repercusiones o implicaciones, se utilizaron tres niveles: escala local (el barrio, localidad), escala regional (el municipio, la vereda) y escala territorial (la cuenca, el departamento).
4. Población afectada por las repercusiones o implicaciones, se utilizaron tres niveles: a escala pequeña (algunas familias), a escala media (una comunidad), a escala grande (una sociedad).
5. Nivel aproximado de la gravedad del riesgo que implica la causa evaluada en tres niveles: alto, la causa tiene consecuencias graves si no se controla y compromete la integridad o la salud humana; medio, la causa no tiene consecuencias graves si no se controla, pero compromete la integridad o salud del ambiente; o bajo, la causa no tiene consecuencias graves si no se controla.

Tabla 7

Caracterización de aspectos y causas de la percepción de la problemática de contaminación de productos pesqueros de consumo por metales pesados

Código	Descripción	Plazo (años)	Repercusiones	Población afectada	Riesgo
A	Actividad minera	1 a 9	Local a regional	Pequeña	Alto
B	Vertimientos de aguas residuales, Bogotá y ciudades intermedias	>10	Regional	Mediana	Mediano
C	Industrialización	>10	Regional	Grande	Bajo
D	Uso en agricultura de pesticidas o fertilizantes con metales pesados	6 a >10	Local a regional	Pequeña	Bajo
E	Intereses políticos y económicos	>10	Global	Grande	Bajo
F	Falta de seguimiento y control sobre las nuevas tecnologías en procesos contaminantes	6 a >10	Nacional	Mediana	Bajo a mediano
G	Educación, cultura y disposición de residuos sólidos en relleno sanitario	>10	Global	Grande	Bajo
H	Regulación del mercado de sustancias tóxicas	6 a >10	Global	Grande	Bajo

Para establecer la percepción sobre las relaciones de determinación/dependencia se utilizó una matriz estructural de interacción (tabla 8) en la que se registran las relaciones contextuales identificadas por los participantes, según la metodología presentada por Attri *et al.* (2013) y Jayant *et al.* (2014), y aplicada por Chandramowli *et al.* (2011) y Trivedi *et al.* (2015). Se usaron los criterios presentados en la siguiente escala:

Si el aspecto *i* conduce, genera o causa al criterio *j*, se asigna la letra “V”

Si el aspecto *j* conduce, genera o causa al criterio *i*, se asigna la letra “A”

Si los aspectos *i* y *j* se causan o generan mutuamente, se asigna la letra “X”

Si los aspectos *i* y *j* no están relacionados, se asigna la letra “O”

Tabla 8

Matriz estructural de autointeracción de aplicación del ISM, para analizar la percepción de la problemática de contaminación de productos pesqueros de consumo, por metales pesados

Código		J							
		A	B	C	D	E	F	G	H
i	<b>A</b>		O	X	O	A	A	A	A
	<b>B</b>	O		A	A	A	A	A	O
	<b>C</b>	X	V		O	A	A	A	A
	<b>D</b>	O	V	O		A	A	A	A
	<b>E</b>	V	V	V	V		V	V	V
	<b>F</b>	V	V	V	V	A		V	V
	<b>G</b>	O	V	V	V	A	A		X
	<b>H</b>	O	O	V	V	A	A	X	

Se calculó la matriz de accesibilidad (tabla 9); como resultado se obtuvo el modelo estructural interpretativo. El análisis de los resultados permitió identificar el grado de apropiación del conocimiento que tiene la comunidad frente a la problemática, sus principales causas y consecuencias para la salud.

Tabla 9

Matriz de accesibilidad. La suma horizontal determina el poder determinante y la suma vertical el nivel de dependencia de cada factor

Código	A	B	C	D	E	F	G	H	Poder determinante
A	1	0	1	0	0	0	0	0	2
B	0	1	0	0	0	0	0	0	1
C	1	1	1	0	0	0	0	0	3
D	0	1	0	1	0	0	0	0	2
E	1	1	1	1	1	1	1	1	8
F	1	1	1	1	0	1	1	1	7
G	0	1	1	1	0	0	1	1	5
H	0	0	1	1	0	0	1	1	4
Dependencia	4	6	6	5	1	2	4	4	

## Resultados y discusión

En el primer eje temático se analizaron las causas de la contaminación. La opinión sobre la localización de la problemática estuvo asociada principalmente a las zonas en las cuales se lleva a cabo explotación minera. Igualmente, las personas relacionan la producción de alimentos con el problema de contaminación y, dependiendo de la región que habitan, lo relacionan con el proceso productivo. En Santa Marta, las personas asociaron el problema de la contaminación con las zonas de pesca; mientras en Bogotá, se asoció con las zonas de actividad agrícola (tabla 10).

Tabla 10

Resultados de caracterización de causas de la problemática en Santa Marta y Bogotá

Aspecto	Santa Marta	Bogotá
Localización de la problemática	Río Bogotá, bahía Concha, Taganga, Cajamarca, departamento de Bolívar	Zonas de cultivo, vertimiento a ríos y humedales, áreas de explotación minera.
Actividades	Minería Agricultura Pecuaria	Minería Agricultura Explotación marina (hidrocarburos <i>Off shore</i> , químicos y minería) Transporte marino Radioactividad Otros (vertimientos de aguas residuales e industriales, curtiembres, disposición inadecuada de residuos sólidos)

Aspecto	Santa Marta	Bogotá
Tipos de contaminantes	Metales (arsénico, mercurio) carbón Lixiviados (metales) Plaguicidas (plantación plátano)	Metales (mercurio, plomo) Agroquímicos (pesticidas y plaguicidas)
Impactos	Interconexión de cuerpos hídricos Calidad del suelo (acidificación) Biomagnificación	Contaminación de agua, suelo y aire Salud pública Pérdida de biodiversidad Disminución de la calidad de los productos Seguridad alimentaria

En el segundo eje temático, se consultó a los participantes sobre los elementos regulatorios de la problemática. En Santa Marta, se identificaron siete instituciones responsables de implementar acciones frente a la problemática en esa ciudad; mientras que en Bogotá, a partir de catalogar esas instituciones de acuerdo con sus funciones, se reconocieron tres grandes grupos: seguridad alimentaria; consumo y accesibilidad, y aprovechamiento biológico e inocuidad (tabla 11). En relación con los actores impactados, se reconoce para los dos grupos de análisis que la comunidad en general y los consumidores de productos pesqueros son los directamente afectados. Por otra parte, los actores de fiscalización de la problemática identificados son institutos como el ICA y el INVIMA, en las dos localidades. Respecto a los costos, los participantes coinciden en que el costo que acarrea la problemática es incalculable y que se ve reflejado en el sistema de salud pública; aunque los de Santa Marta no perciben un valor que se le pueda dar a la prevención, los de Bogotá aseguran que es alto (tabla 11).

Tabla 11

Resultados de caracterización de causas de la problemática en las dos regiones estudiadas

Aspecto	Santa Marta	Bogotá
Institucionalidad	Ministerio de Salud y Protección Social Instituto Colombiano Agropecuario - ICA Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA Procuraduría Nacional	<u>Seguridad alimentaria:</u> Ministerio de Agricultura Ministerio de Industria y Comercio Instituto Colombiano Agropecuario - ICA <u>Consumo y accesibilidad:</u> Ministerio de Educación Secretaría de Educación

Aspecto	Santa Marta	Bogotá
Institucionalidad	Contraloría General de la Nación Corporaciones autónomas regionales - CAR	Instituto Colombiano de Bienestar Familiar - ICBF Ministerio de Cultura Ministerio de Industria y Comercio <u>Aprovechamiento biológico:</u> Ministerio de Salud y Protección Social Instituto Nacional de Salud Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA Instituto Colombiano Agropecuario - ICA Secretaría de Salud Secretaría de Ambiente Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca - AUNAP <u>Inocuidad:</u> Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA Instituto Colombiano Agropecuario - ICA Secretarías de salud, ambiente y agricultura locales
Actores impactados	Comunidad en general	Comunidad consumidora de productos pesqueros Comunidades pesqueras Población de niños y madres gestantes
Actores fiscalizadores	Instituto Colombiano Agropecuario - ICA Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA	Instituto Colombiano Agropecuario - ICA Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos - INVIMA Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA Secretarías de ambiente y salud
Costos económicos	Salud pública es alto Difíciles de valorar No existen costos para la prevención	Prevención alto costo Salud pública costo incalculable

Analizando el eje de apropiación social del conocimiento, los participantes evidencian una alta necesidad de información referente a la responsabilidad y funciones de las instituciones que deben fiscalizar y garantizar que se estén cumpliendo los límites máximos permitidos de metales en los alimentos (tabla 12). Así mismo, los consumidores muestran preocupación por las concentraciones, síntomas y efectos a la salud del consumo de los metales en

sus alimentos. En Bogotá, se preocupan no solo por las consecuencias, sino también por los responsables de la contaminación y las posibles sanciones que podrían exigir frente a los efectos nocivos para la salud provocados por esta contaminación (tabla 12).

Tabla 12  
Resultados de caracterización de causas de la problemática en las dos regiones estudiadas

Aspecto	Santa Marta	Bogotá
Inquietudes	Síntomas de intoxicación Concentraciones de metales en peces de consumo por partes del pez Costos de salud para prevención Bioacumulación y biomagnificación Lugares de mayor concentración Alternativas de producción Dietas de desintoxicación	Fiscalización (seguimiento de órganos de control) Límites permitidos por metal por especie Metodologías de seguimiento para productos importados Investigaciones sobre efecto de metales a nivel nacional Sanciones a los actores Porcentaje de aporte de la industria al vertimiento de metales en recurso hídrico
Especies	Tilapia, pargo rojo, bagre, mero, bonito, atún, sierra, cachama lebranche, sierra, bocachico, salmón, basa	Marinas: atún, pargo, salmón, dorado, invertebrados marinos Dulceacuícolas: bocachico, bagre
Riesgo Ecológico	Ecosistema Biomagnificación Contaminación recurso hídrico	Consumo Biomagnificación
Salud Pública	Intoxicación	Enfermedades huérfanas, mutaciones genéticas, malformaciones

### Modelo estructural interpretativo (ISM)

El modelo estructural interpretativo fue aplicado con la información colectada con el fin de relacionar las causas de la problemática de acuerdo con la sistematización de la percepción de los participantes y la forma de identificarla como consumidores. El análisis del ISM muestra a la minería como la principal causa de la problemática de metales en productos pesqueros de consumo humano. Esta actividad produce vertimientos de aguas residuales en Bogotá y ciudades intermedias, a partir de los cuales, se derivan tres impactos principales: el primero relacionado con el uso de productos químicos en agricultura; el segundo, la falta de seguimiento y control de estas sustancias contaminantes, y tercero, la escasa educación y cultura en la disposición final de residuos. Es evidente que estas tres consecuencias se relacionan con la presencia de metales tóxicos en los ecosistemas (figura 4).

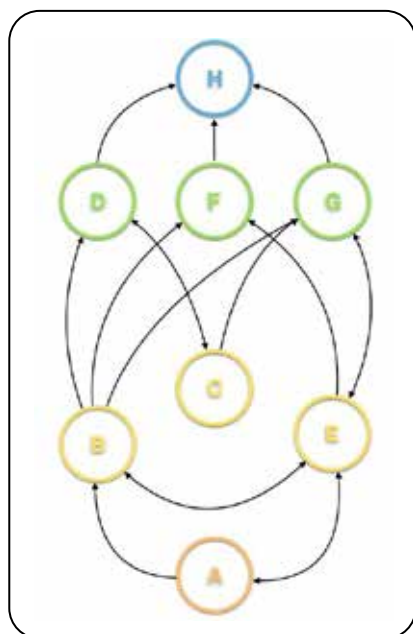


Figura 4  
Modelo estructural interpretativo para el ejercicio  
realizado en la ciudad de Santa Marta

*Nota:* A: Actividad minera; B: Vertimientos de aguas residuales, Bogotá y ciudades intermedias; C: Industrialización; D: Uso en agricultura de pesticidas y/o fertilizantes con metales pesados; E: Intereses políticos y económicos; F: Falta de seguimiento y control sobre las nuevas tecnologías en procesos contaminantes; G: Educación, Cultura y disposición de residuos sólidos en relleno sanitario; H: Regulación del mercado de sustancias tóxicas.

El ISM también demuestra que la industrialización derivada del desarrollo económico del país se encuentra directamente relacionada con el uso agrícola de pesticidas y productos químicos; los cuales, al mismo tiempo, derivan en la regulación en el mercado de estas sustancias por cuanto se evidencia un inadecuado seguimiento y control y una inadecuada disposición final de residuos. Se destaca que los participantes perciben que los intereses políticos y económicos en el país auspician la disposición inadecuada de residuos y vertimientos de aguas residuales contaminadas y observan una relación inversa entre la contaminación y la actividad minera (figura 4).

De las ocho causas de la problemática, para el análisis del ISM se priorizan el vertimiento de aguas residuales y la disposición adecuada de residuos sólidos, pues son aquellas las que presentan mayor número de interacciones, que pueden ser intervenidas para mitigar el impacto de la ocurrencia de metales pesados en ecosistemas acuáticos, y exponen a las especies consumidas por los humanos. La actividad minera y los intereses políticos y económicos también deben ser tomados en cuenta al momento de llevar a cabo acciones para enfrentar la problemática por cuanto presentan una relación directa con la presencia de metales en el ambiente (figura 4).

De otro lado, el enfoque en “empoderamiento” plantea la cuestión de cómo la sociedad valora la problemática y la forma como ciudadanos o líderes toman datos de los procesos de participación ciudadana para la toma de decisiones en el ámbito de políticas públicas. Este estudio revela la evidente desconfianza de los consumidores colombianos hacia la institucionalidad encargada de vigilar y controlar los temas de salubridad; es común la preocupación de los involucrados. Esta situación contrasta con la de países europeos. En estas naciones, el manejo de los problemas ambientales se realiza mediante el control de las principales fuentes de contaminación. Sin embargo, últimamente se consulta a los consumidores para que sean ellos quienes asuman la corresponsabilidad de evitar productos inseguros; y se brinda solución a problemas ambientales a través de un cambio en los patrones de consumo (Burger y Gochfeld, 2008).

Los consumidores de las dos ciudades –Bogotá y Santa Marta– expresan la necesidad de identificar las especies con mayor presencia de metales y de contar con información acertada para gestionar el riesgo y, a partir de la dieta, prevenir intoxicaciones o enfermedades derivadas del consumo de metales. Se hace evidente que existen varios problemas de gestión de riesgos relacionados con la comunicación del riesgo por consumo de pescado: a) el limitado conocimiento acerca de las advertencias; b) la escasa divulgación sobre las complejidades de los peces para comer, cuánto comer y la población en riesgo; c) el poco cumplimiento de la norma que estipula los límites máximos de contaminantes permitidos, y d) el grupo de mayor riesgo entre la población (mujeres embarazadas y en edad fértil) a menudo no recibe la información completa (Burger *et al.*, 2003).

Este panorama conduce a la confusión, en parte debido a la falta de conocimiento sobre la problemática y al incumplimiento de la normativa existente. Los análisis acerca de la eficacia de los instrumentos de comunicación del riesgo sugieren que la información a la población debe ser relevante: los consumidores deben estar enterados de los beneficios y los efectos adversos del consumo de pescado, con el fin de que puedan tomar una decisión informada no solo sobre si comer o no pescado, sino también qué pescado comer, y conocer el origen del producto (Burger *et al.*, 2003). En este sentido, es necesario que la institucionalidad nacional (AUNAP, INVIMA, ICA, Ministerio de Salud, y todas las demás instituciones) tome medidas regulatorias

pertinentes para garantizar al consumidor la información de las características del producto antes de consumirlo.

En relación con la aplicación del ISM para sistematizar la información, opinión y percepción de un grupo de personas para realizar gestión del riesgo, este modelo demostró ser una herramienta que permite la priorización de acción frente a actividades causantes de la problemática y cuyo tratamiento permitirá minimizar el impacto en el ambiente. Sin embargo, es evidente la necesidad de suscitar interés en los sectores político y económico, pues la elección del consumo de productos pesqueros conlleva beneficios económicos y de salud significativos, además de que su consideración es valiosa para la toma de decisiones y gestión del riesgo (Verbeke *et al.*, 2005).

Los consumidores tienen una opinión generalizada frente a que la contaminación de los ecosistemas, derivada de la inadecuada disposición de residuos, es la causa principal de la presencia de metales en los alimentos, sean de origen pesquero o no. Sin embargo, se evidencia que la solución no está únicamente relacionada con la regulación o normativización de los niveles máximos de contaminantes permitidos en vertimientos o en alimentos. Se observa un cambio en la actitud de consumo que exige a los productores un nivel de calidad e inocuidad en los alimentos, el cual incide directamente con los patrones de consumo (Frewer *et al.*, 2016).

### **Conclusiones**

Los resultados del análisis adelantado demuestran que el *World Café* es una excelente metodología para el reconocimiento de saberes sociales locales y comunitarios, que permite develar elementos que los investigadores o expertos generalmente no conocen y que pueden ser integrados en los mecanismos de gestión y toma de decisiones. De esta forma, las estrategias diseñadas para enfrentar las problemáticas socioambientales se tornan cada vez más realistas, eficientes y de fácil implementación con la comunidad. Asimismo, la información obtenida por medio de esta metodología pudo ser sistematizada por el modelo estructural interpretativo con el fin de utilizar la opinión y percepción de un grupo de personas como herramientas dentro de la gestión para disminuir el riesgo por ingesta de metales tóxicos contenidos en productos de origen pesquero.

La integración de estos métodos puede ser una herramienta útil para profesionales que trabajan con comunidades, la cual se puede complementar con otros enfoques técnicos. Sin embargo, es necesario validarlos con una investigación más crítica de sus premisas y sus efectos potenciales. En particular, existe la preocupación de que este método pueda silenciar las voces disidentes y crear la percepción de empoderamiento y control donde no existe. Por este motivo, es importante limitar el uso de los métodos de WC e ISM entre los participantes para minimizar posibles problemas de desigualdades de poder, o complementarlos con un sistema democrático más formal frente al problema que se analice.

Los resultados de los talleres demuestran cómo la percepción de la comunidad del interior del país es diferente a la de las comunidades que habitan en la costa Caribe colombiana. La priorización de fuentes y actividades que potencializan la presencia de metales pesados en los ecosistemas se enfoca en las actividades económicas de importancia en cada región. Por otra parte, es heterogéneo el conocimiento de los participantes sobre los entes de control y la normativa, lo que permite identificar una falta de información en la población de la costa Caribe en relación con el tema. En general, la información obtenida de esta investigación es de gran utilidad para los entes ambientales y gubernamentales, pues permitirá emitir alertas y herramientas para detectar y planear estrategias de manejo participativo ante problemáticas como esta, que afectan la salud pública y ambiental.

## Referencias

- Aldred, R. (2011). From community participation to organizational therapy? World Café and Appreciative Inquiry as research methods. *Community Development Journal*, 46(1), 57-71.
- Attri, R., Dev, N. y Sharma, V. 2013. Interpretive Structural Modelling (ISM) approach: An overview. *Research Journal of Management Sciences*, 2(2), 3-8.
- Bradley, M. A., Barst, B. D., & Basu, N. (2017). A review of mercury bioavailability in humans and fish. *International journal of environmental research and public health*, 14(2), 169.
- Brown, J. y Isaacs, D. (2005). *The world café: Shaping our futures through conversations that matter*. Berrett-Koehler Publishers

- Burger, J., McDermott, M. H., Chess, C., Bochenek, E., Perez-Lugo, M., y Pflugh, K. K. (2003). Evaluating risk communication about fish consumption advisories: efficacy of a brochure versus a classroom lesson in Spanish and English. *Risk Analysis: An International Journal*, 23(4), 791-803. <https://doi.org/10.1111/1539-6924.00356>
- Burger, J., y Gochfeld, M. (2008). Knowledge about fish consumption advisories: A risk communication failure within a university population. *Science of The Total Environment*, 390(2-3), 346-354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.10.016>
- Chandramowli, S. Transue, M., y Felder, F. A. 2011. Analysis of barriers to development in landfill communities using interpretive structural modeling. *Habitat International*, 35(2), 246-253. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2010.09.005>
- Chang, A.-Y., Hu, K.-J. y Hong, Y.-L. (2013). An ISM-ANP approach to identifying key agile factors in launching a new product into mass production. *International Journal of Production Research*, 51(2), 582-597. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.657804>
- Copat, C., Bella, F., Castaing, M., Fallico, R., Sciacca, S., y Ferrante, M. (2012). Heavy metals concentrations in fish from Sicily (Mediterranean Sea) and evaluation of possible health risks to consumers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 88(1), 78-83. <https://doi.org/10.1007/s00128-011-0433-6>
- Fouché, C., y Light, G. (2011). An invitation to dialogue: 'The World Café' in social work research. *Qualitative Social Work*, 10(1), 28-48. <https://doi.org/10.1177/1473325010376016>
- Frewer, L. J., Fischer, A. R. H., Brennan, M., Bánáti, D., Lion, R., Meertens, R. M., Rowe, G., Siegrist, M., Verbeke, W. y Vereijken, C. M. J. L. (2016). Risk/benefit communication about food—a systematic review of the literature. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(10), 1728-1745. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.801337>
- Fuentes-Gandara, F., Pinedo-Hernández, J., Marrugo-Negrete, J., y Díez, S. (2018). Human health impacts of exposure to metals through extreme consumption of fish from the Colombian Caribbean Sea. *Environmental geochemistry and health*, 1-14.
- Hsiao, S.-W., Ko, Y.-C., Lo, C.-H., y Chen, S.-H. (2013). An ISM, DEI, and ANP based approach for product family development. *Advanced Engineering Informatics*, 27(1), 131-148. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2012.10.008>
- Ishikawa, K. (1985). *Guía de control de calidad*, Nueva York: UNIPUB.

- Jayant, A. Azhar, M. Singh, P. 2014. Interpretive Structural Modeling (ISM) approach: A state of the art literature review. *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology*, 5(1), 15-21.
- Khan, N., Ryu, K.Y., Choi, J.Y., Nho, E.Y., Habte, G., Choi, H., Kim, M.H., Park, K.S., y Kim, K.S. (2015). Determination of toxic heavy metals and speciation of arsenic in seaweeds from South Korea. *Food Chemistry*, 169, 464-470.
- Lin, M.-C., Wang, C.-C., y Chen, T.-C. (2006). A strategy for managing customer-oriented product design. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 14(3), 231-243. <https://doi.org/10.1177/1063293X06068390>
- Rajeshkumar, S., y Munuswamy, N. (2011). Impact of metals on histopathology and expression of HSP 70 in different tissues of Milk fish (*Chanos chanos*) of Kaattuppalli Island, South East Coast, India. *Chemosphere*, 83(4), 415-421. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.12.086>
- Trivedi, A. Singh, A., y Chauhan, A. (2015). Analysis of key factors for waste management in humanitarian response: An interpretive structural modelling approach. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14(4), 527-535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2015.10.006>
- Verbeke, W., Sioen, I., Pieniak, Z., Van Camp, J., y De Henauw, S. (2005). Consumer perception versus scientific evidence about health benefits and safety risks from fish consumption. *Public Health Nutrition*, 8(4), 422-429. <http://dx.doi.org/10.1079/phn2004697>