

Impacto del Ruido Submarino de las Actividades de Exploración Sísmica por Hidrocarburos sobre los Mamíferos Marinos en el mar de Tumbes

Impact of Submarine Noise from Seismic Survey Activity to Marine Mammals in Tumbes sea

Diego Espinoza Ortiz¹, Marta Ramos Guillén², Milward Salas Delgado³,
Vidalina Irene Heredia Jiménez⁴

Recibido: Agosto 2015 - Aprobado: Diciembre 2015

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es contribuir en la prevención y la mitigación de los potenciales impactos negativos de la exploración sísmica sobre los mamíferos marinos, en el zócalo continental de Tumbes, por medio de la identificación éstos. Se realizó la recopilación de datos cualitativos y cuantitativos en información secundaria para la identificación de características y condiciones de los impactos negativos del ruido submarino de las actividades de la exploración sísmica. El análisis e interpretación de la información se realizó mediante la metodología de Conesa (2010), por medio del cual se pudieron obtener algunos alcances sobre las características e importancia de los impactos. Los resultados de la presente evaluación indican que la exploración sísmica en el zócalo continental de Tumbes podría tener el potencial de generar impactos de importancia leve sobre los mamíferos marinos, sin que signifique un supuesto riesgo para la sostenibilidad y estabilidad de sus poblaciones. Se pudo clasificar y agrupar los impactos en dos grupos: efectos físicos y/o auditivos y efectos en el comportamiento. La trascendencia del presente trabajo repercutirá en una mayor predictibilidad de la significancia de los impactos sobre la fauna marina en proyectos de hidrocarburos, así como una reducción de los temores de los grupos de interés en los ámbitos geográficos donde se vienen realizando actividades de hidrocarburos off-shore.

Palabras clave: Exploración sísmica; mamíferos marinos; impacto ambiental; manejo ambiental; mar de Tumbes.

ABSTRACT

The aim of this paper is to contribute to the prevention and mitigation of the negative impacts of submarine noise from seismic exploration on marine mammals, in the continental shelf of Tumbes, through the assessment of the significance of the negative impacts and formulation of management measures. Qualitative and quantitative data were collected, with emphasis on identifying characteristics and conditions of the negative impacts of seismic exploration. The analysis and interpretation of this data was performed using the Conesa's method (2010), by which it was possible to characterize the negative impacts and determine its importance. The results of this evaluation indicate that seismic exploration generate light negative impacts on marine mammals, and not pose a risk to the sustainability and stability of their populations. It was possible to classify and group impacts into two groups: physical or hearing effects and behavioral effects. Both groups of impacts had light significance. This paper will be useful for a greater predictability of the significance of impacts on marine fauna in hydrocarbon projects and reduced fears of interest groups in geographic areas where activities are being conducted off-shore oil projects.

Keywords: Seismic survey; marine mammals; environmental impact; environmental management; Tumbes sea.

1. Email: despinozao@unmsm.edu.pe

2. Email: marta.ramos@unmsm.edu.pe

3. Email: msalasd@unmsm.edu.pe

4. Email: vherediaj@unmsm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Los mamíferos marinos de diversas partes del mundo son susceptibles al ruido submarino emitido por las actividades de la exploración sísmica por hidrocarburos. Se han ejecutado proyectos de exploración sísmica por hidrocarburos en el zócalo continental del mar de Tumbes durante las últimas décadas, pero con limitada información sobre la identificación y evaluación de los potenciales efectos sobre los mamíferos marinos, conllevando a creer que éstos son significativos (Leiva, 2002; Marques *et al.*, 2012), sin tomar en cuenta recientes trabajos realizados en Perú sobre mediciones del ruido submarino generado (IMARPE, 2013).

Al respecto, se tiene la necesidad de determinar los riesgos de afectación del ruido submarino de la prospección sísmica por hidrocarburos a los mamíferos marinos, debido a la necesidad de establecer medidas de manejo más efectivas y pertinentes en futuros proyectos (Boertmann *et al.*, 2009; Conesa, 2010), considerando los distintos ambientes marinos existentes. Por ello, el presente trabajo tiene por objetivo identificar los potenciales impactos del ruido submarino provocados por la prospección sísmica por hidrocarburos a los mamíferos marinos, en el zócalo continental de Tumbes.

II. METODOLOGÍA

2.1. Recopilación de datos e identificación de impactos negativos

Se han recopilado datos mediante una revisión bibliográfica de publicaciones científicas especializadas nacionales e internacionales, sobre los efectos del ruido submarino de la prospección sísmica por hidrocarburos a los mamíferos marinos. Esta información fue sistematizada, con la finalidad de registrar, objetivamente, la situación del conocimiento de las características de los impactos, considerando las siguientes variables: a) Tipo de mamífero; b) Nivel de Presión Sonora (SPL); c) Impactos observados; y, d) Referencia; ello en función a las revisiones de Gordon *et al.* (2003) y el DFO (2004).

2.2. Importancia de los impactos negativos

Se estimó la importancia de los potenciales impactos identificados, mediante la valoración de su significancia con la metodología de Vicente Conesa (2010), a través del cálculo aritmético del Índice de Importancia (IM) en base los siguientes atributos: Naturaleza (+ / -), Intensidad (IN), Extensión (EX), Momento (MO), Persistencia (PE), Reversibilidad (RV), Recuperabilidad (MC), Sinergia (SI), Acumulación (AC), Efecto (EF) y Periodicidad (PR). Al respecto, se señala a continuación la fórmula del IM:

$$IM = \pm(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

Luego de realizado el cálculo del índice, se jerarquizan estos datos según la siguiente escala en función al valor del IM, a fin de estimar la importancia (Ver Tabla 1):

Tabla 1. Importancia de los impactos

Importancia del Impacto	Valor del IM
Leve	IM < 25
Moderado	25 ≤ IM < 50
Severo	50 ≤ IM ≤ 75
Crítico	75 ≤ IM

Fuente. Conesa (2010)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Generalidades

Se realizaron estimaciones de la relación del nivel de presión sonora del ruido submarino de actividades de exploración sísmica realizadas en Tumbes versus la distancia de la fuente, apreciándose una divergencia y atenuación de las ondas sonoras. Al respecto, las estimaciones realizadas para fines del presente trabajo son las siguientes, con base en las mediciones realizadas por el IMARPE (2013), las cuales son referenciales (Ver Tabla 2).

Tabla 2. Categorías de impactos ambientales

Distancia de la fuente (m)	SPL (dB)
3,6	230
500	189
1000	184
1500	180
2000	178

Fuente: Elaboración propia

3.2. Identificación de los impactos y su importancia

En función a la relación realizada en la tabla precedente, el nivel de presión sonora y la distancia está relacionado con un determinado tipo de afectación en los aspectos funcionales de los mamíferos marinos, los cuales se agrupan de la siguiente manera:

- a) **Efectos físico auditivos:** Comprenden la afectación a órganos internos, principalmente los de la función auditiva, sobre la cual los mamíferos marinos dependen para su interacción con su medio. Entre los efectos auditivos destaca la pérdida de audición debido a desviaciones del umbral auditivo, los cuales pueden ser permanentes (Permanent Threshold Shift o PTS) o temporales (Transitory Threshold Shift o TTS). Estas desviaciones afectan los umbrales auditivos de los mamíferos, ocasionados por la exposición a altos niveles de ruido submarino (mayor a 180 dB), situación en la cual se reduce la capacidad auditiva, y por ende afecta el modo de vida de estos organismos.

El análisis del cuadro muestra que la importancia del impacto es leve, debido a que se obtuvo un Índice IM de 24 unidades, valor que no afectaría a la estabilidad y sostenibilidad de las poblaciones de mamíferos marinos, al existir riesgo mínimo de afectar a varios individuos por tener una extensión muy puntual con la posibilidad de ser evitados con medidas preventivas, sin perjuicio de las medidas

mitigadoras asociadas (Ver Tabla 3). Respecto a ello, otros estudios sobre el impacto de las ondas sísmicas sobre peces y mamíferos marinos indican que sería necesario producir niveles de ruido submarino superiores a los 230 dB a 240 dB $-p$ re $1\mu Pa$, para provocar un impacto o daño significativo, pudiéndose inferir que daños severos por el ruido submarino sólo podrían darse a muy pocos metros de los cañones de aire (Goold *et al.*, 1998).

Tabla 3. Características de los efectos físicos y/o auditivos en los mamíferos marinos debido al ruido submarino de las actividades de la exploración sísmica por hidrocarburos

Atributo del Impacto	Descripción
Intensidad (IN): Baja	El grado de destrucción del factor ambiental es bajo puesto que no afecta a la estabilidad y sostenibilidad de las poblaciones de mamíferos marinos, al existir riesgo mínimo de afectar a varios individuos.
Extensión (EX): Puntual	La fracción del medio afectado por el impacto es reducida, dentro del radio de los 1 500 m desde la fuente sonora.
Momento (MO): Inmediato	El plazo de manifestación del impacto potencial es inmediato.
Persistencia (PE): Temporal	La permanencia del impacto potencial es temporal, en el extremo de ocurrir un daño físico o auditivo severo.
Reversibilidad (RV): Corto plazo	La reconstrucción del factor ambiental por medios naturales, luego del impacto, será en un plazo menor a un (01) año.
Sinergismo (SI): Moderado	Es probable la potenciación del impacto, pudiendo ser la incidencia final mayor a la suma de los impactos de actividades asociadas con la sísmica (colisión o enredamiento).
Acumulación (AC): Acumulativo	Es probable el incremento de la manifestación del impacto, en caso de que el ruido de las actividades de la exploración sísmica tenga una duración prolongada.
Efecto (EF): Directo	La incidencia del ruido submarino de las actividades de exploración sísmica sobre el factor ambiental es directa.
Periodicidad (PR): Irregular	La manifestación del impacto tiene una frecuencia irregular, puesto no hay certeza de que siempre ocurrirían los efectos físicos y/o auditivos en todos los individuos que se expongan en la cercanía a la fuente sonora.
Recuperabilidad Inmediata (MC):	La reconstrucción del factor ambiental por medio de la intervención humana, a través de la oportuna aplicación de medidas de manejo, será en un plazo inmediato.
Importancia (IM): Leve (24)	Se obtuvo un valor del IM de -24, correspondiente a impactos ambientales negativos LEVES.

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, según las mediciones realizadas por el IMARPE (2013) a emisiones de ruido submarino por cañones de aire en mar tropical (cuyas condiciones oceanográficas generales son las mismas del mar de Tumbes), se registró un nivel de presión sonora de 194,23 dB a 1200 m, y niveles menores a los 180 dB a 1700 m y 5000 m de la fuente de emisión, estando estos últimos bajo el

umbral auditivo correspondiente a la sensación de daño físico, así como de estrés fisiológico (valores > 180 dB), para peces (Cox *et al.*, 1986; Hastings *et al.*, 1996) y mamíferos marinos (Kastak *et al.*, 1999; Schlundt *et al.*, 2000).

A pesar de ello, es necesario observar que puede existir cierto grado de acumulación y sinergia de los efectos físicos auditivos, pudiendo incrementarse la manifestación del impacto cuando más prolongada sería la exploración sísmica, conllevando a que la incidencia final podría comprometer otros impactos (colisión o enredamiento por la evasión). Además, se tiene que la manifestación del impacto puede tener una frecuencia irregular, puesto no hay certeza de que siempre ocurrirían los efectos físicos y/o auditivos en todos los individuos que se expongan en la cercanía a la fuente sonora.

b) Efectos en el comportamiento: Comprenden la afectación al comportamiento debido a la exposición al ruido, el cual puede ocurrir en todo el ámbito de la fuente sonora, aunque exclusivo a una distancia al radio de 1500 m de la fuente sonora, debido a que no existe asociación con efectos físico auditivos que ocurran dentro de este radio. Entre los principales impactos que podrían ocurrir según la naturaleza del proyecto son:

- Evasión y alejamiento temporal, que puede ocurrir en zonas de reproducción. Ello, podría evidenciarse con el hecho de que los mamíferos marinos podrían observarse a mayor distancia, con menor cantidad de especies y menor cantidad de individuos.
- Cambio en socialización y cohesión grupal, lo cual se evidencia con la menor cantidad de individuos de una especie determinada, pudiendo verificarse que la tasa de avistamientos o frecuencia de ocurrencia se vea notoriamente reducida.
- Cambio en los ciclos de buceo y forrajeo, el cual está asociado con los dos efectos antes mencionados, siempre que el comportamiento antes señalado conlleve a dejar de lado la función de nutrición.

Del cuadro se desprende que la importancia del impacto es leve, al obtenerse un valor del Índice IM de 24 unidades, siempre que tengan una intensidad mínima y extensión parcial (un radio de 10 km aproximadamente) en el ámbito de la fuente sonora, sin generar riesgo para la estabilidad y sostenibilidad de las poblaciones (Ver Tabla 4). Esto ha sido demostrado en una experiencia con rorqual común y los impactos por embarcaciones y cañones de aire, donde se verifica que los cambios en el comportamiento tienen también una baja intensidad, persistencia momentánea y con una reversibilidad inmediata (Castellote *et al.*, 2012).

Tabla 4. Características de los efectos en el comportamiento de los mamíferos marinos debido al ruido submarino de las actividades de la exploración sísmica por hidrocarburos

Atributo del Impacto	Descripción
Intensidad (IN): Mínima	El grado de destrucción del factor ambiental por el impacto es mínimo porque no hay riesgo de afectar a la estabilidad y sostenibilidad de las poblaciones de mamíferos marinos.
Extensión (EX): Parcial	La fracción del medio afectado por el impacto abarca un radio de aproximadamente 10 km respecto de la fuente sonora.
Momento (MO): Inmediato	El plazo de manifestación del impacto potencial es inmediato.
Persistencia Momentánea (PE):	La permanencia del impacto potencial es momentáneo, regularizándose el comportamiento en la brevedad.
Reversibilidad (RV): Corto plazo	La reconstrucción del factor ambiental por medios naturales, luego del impacto, será en la brevedad.
Sinergismo (SI): Sin	No existe potenciación del impacto con actividades asociadas con la sísmica, así como entre los efectos en el comportamiento.
Acumulación Acumulativo (AC):	Es probable el incremento de la manifestación del impacto, en caso de que el ruido submarino de las actividades de exploración sísmica tenga una duración prolongada.
Efecto (EF): Directo	La incidencia del ruido submarino de las actividades de exploración sísmica sobre el factor ambiental es directa.
Periodicidad (PR): Irregular	La manifestación del impacto tiene una frecuencia irregular, puesto no existe una correlación certera entre el tipo de efecto en el comportamiento y el nivel de presión sonora o la distancia desde la fuente sonora.
Recuperabilidad Inmediata (MC):	La reconstrucción del factor ambiental por medio de la intervención humana, a través de la oportuna aplicación de medidas de manejo, será en un plazo inmediato.
Importancia (IM): Leve (24)	Se obtuvo un valor del IM de -24, correspondiente a impactos ambientales negativos LEVES.

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que los efectos en el comportamiento pueden tener carácter acumulativo, de persistir la exploración sísmica por un periodo prolongado, sin embargo, no existe posibilidad de una sinergia con impactos de otras actividades. Al respecto, corresponde señalar que inclusive afectos en el comportamiento como el alejamiento temporal y la evasión constituyen un comportamiento favorable para mantener la seguridad de los individuos, garantizando la estabilidad y sostenibilidad de la población al prevenir la ocurrencia de impactos significativos cercanos de las fuentes sonoras (Ward, 1997).

En tal sentido, las relaciones pueden clasificar los potenciales impactos en los siguientes tipos bien diferenciados (Ver Figura 1):

Se considera que deberían existir mayores estudios así, considerando modelados de ruido submarino validados en campo, así como avistamientos, para establecer el grado de impacto sobre un grupo particular de mamíferos

marinos, en lo referido a los efectos físicos y auditivos, pues son aquellos que pueden devenir en un extremo negativo en un daño masivo a la población, por eso que mayor investigación es requerida para dilucidar esto (Finneran *et al.*, 2000). Ello debería ser de especial interés cuando el proyecto se encuentre en bahías, cerca de islas y puntas, áreas naturales protegidas, hábitats críticos para la reproducción y desarrollo de especies endémicas, amenazadas o de importancia económica; supuestos en los cuales los impactos podrían tomar una significancia moderada o mayor, según el análisis realizado con la información correspondiente.

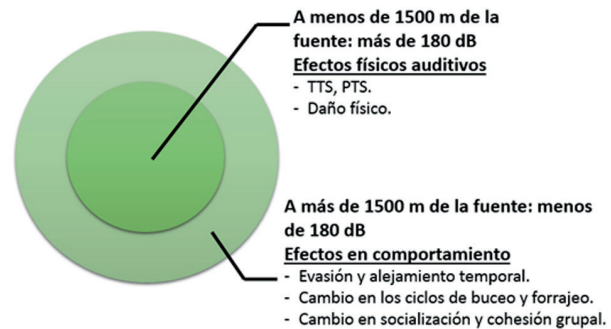


Figura 1. Relación de impactos versus distancia de la fuente sonora.

La información a generarse sería relevante para evaluar de manera objetiva los impactos potenciales para brindar información certera al público interesado, especialmente cuando una exploración sísmica u otro proyecto off-shore se realice en bahías, cerca de islas y puntas, áreas naturales protegidas, hábitats críticos para la reproducción y desarrollo de especies endémicas, amenazadas o de importancia económica (incluyendo casos de líneas sísmicas dentro de la franja delimitada por la línea de 05 millas desde la línea costera).

VI. CONCLUSIONES

El ruido submarino de las actividades de exploración sísmica por hidrocarburos genera impactos negativos sobre los mamíferos marinos, los cuales se agrupan en: i) “Efectos físico auditivos”, referidos a las desviaciones del umbral auditivo, que pueden ser permanentes (Permanent Threshold Shift o PTS) o temporales (Transitory Threshold Shift o TTS), los cuales son de una intensidad baja, puesto que no afectaría a la estabilidad y sostenibilidad de las poblaciones de mamíferos marinos, con una extensión muy puntual y con la posibilidad de ser evitados con medidas de manejo, pero con cierto grado de acumulación y sinergia, conllevando a otros impactos (colisión o enredamiento por la evasión); y, ii) “Efectos en el comportamiento”, referidos a la afectación del comportamiento por la exposición al ruido, el cual puede ocurrir en todo el ámbito de la fuente sonora, aunque exclusivo a una distancia al radio de 1500 m de la fuente sonora, que no tienen potencial de generar daño físico, y entre los cuales destacan la evasión y la alejamiento temporal, el cambio en los ciclos de buceo y forrajeo, así como el cambio en socialización y cohesión grupal, los cuales tienen una intensidad mínima y sin potencial de sinergia, pero con una extensión mayor.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la doctora Silvia Iglesias León, por haber asesorado el proyecto de investigación del cual se desprendió el presente artículo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boertmann, D., Tougaard, J., Johansen, K., Mosbech, A. (2009). *Guidelines to environmental impact assessment of seismic activities in Greenland waters*. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Dinamarca. Recuperado de <http://www2.dmu.dk/pub/fr723.pdf>
- Castellote, M., Clark, C. W. y Lammers, K. O. (2012). Acoustic and behavioural changes by fin whales (*Balaenoptera physalus*) in response to shipping and airgun noise. *Biological Conservation*, 147, 115-122.
- Conesa, V. (2010). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Cox, M., Rogers, P. H., Popper, A. N. y Saidel, W. M. (1986). Anatomical effects of intense tone simulation in the ear of bony fish. *The Journal of the Acoustical Society of America Supplement*, 1, 80, S75.
- Department of Fisheries and Oceans (DFO). (2004). *Review of Scientific Information on Impacts of Seismic Sound on Fish, Invertebrates, Marine Turtles and Marine Mammals*. DFO Canadian Science Advisory Secretariat Habitat Status Report 2004/002. Recuperado de http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas/Csas/status/2004/HSR2004_002_e.pdf
- Finneran, J. J., Schlundt, C. E., Carder, D. A., Clark, J. A., Young, J. A., Gaspin, J. B. y Ridgway, S. H. (2000). Auditory and behavioral responses of bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) and a beluga whale (*Delphinapterus leucas*) to impulsive sounds resembling distant signatures of underwater explosions. *Journal of the Acoustical Society of America*, 108(1), 417-431.
- Goold, J. C. y Fish, P. J. (1998). Broadband spectra of seismic survey airgun emissions, with reference to dolphin auditory thresholds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 103(4), 2177-2184.
- Gordon, J. C. D., Gillespie, D., Potter, J., Frantzis, A., Simmonds, M. K., Swift, R. y Thompson, D. (2003). A Review of the Effects of Seismic Survey on Marine Mammals. *Marine Technology Society Journal*, 37(4), 16-34.
- Hastings, M. C., Popper, A. N., Finneran, J. J. y Lanford, P. J. (1996). Effects of low-frequency underwater sound on hair cells of the inner ear and lateral line of the teleost fish *Astronotus ocellatus*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 99(3), 1759-1766.
- Instituto del Mar del Perú (IMARPE). (2013). *Mediciones de Niveles de Ruido generados por evaluación sísmica 3D en la zona de Tumbes (15 al 22 de diciembre 2012)*. Callao, Perú: Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica, Sensoramiento Remoto y Artes de Pesca del IMARPE.
- Kastak, D., Schusterman, R. J., Southall, B. L. y Reichmuth, C. (1999). Underwater temporary threshold shift induced by octave-band noise in three species of pinniped. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 106(2), 1142-1148.
- Leiva, M. (2002). *Diagnóstico del Estado de Conservación de los Recursos Naturales Renovables en el Departamento de Tumbes: Teoría y Realidad. Un aporte al proceso de posicionamiento de competencias y funciones ambientales del Gobierno Regional de Tumbes*. Tumbes, Perú: Gobierno Regional de Tumbes.
- Marques, J. C., Costa, M. J. y Müller, F. (2012). Assessing ecological quality in estuarine and coastal systems – An introduction. *Ecological Indicators*, 19, 1-4.
- Schlundt, C. E., Finneran, J. J., Carder, D. A. y Ridgway, S. H. (2000). Temporary shift in masked hearing thresholds of bottlenose dolphins, *Tursiops truncatus*, and white whales, *Delphinapterus leucas*, after exposure to intense tones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 107(6), 3496-3508.
- Ward, W. D. (1997). Effects of high intensity sound. En M. J. Crocker. (Ed.), *Encyclopedia of Acoustics* (pp. 1497-1507). New York, Estados Unidos: J. Wiley and Sons, Inc.

