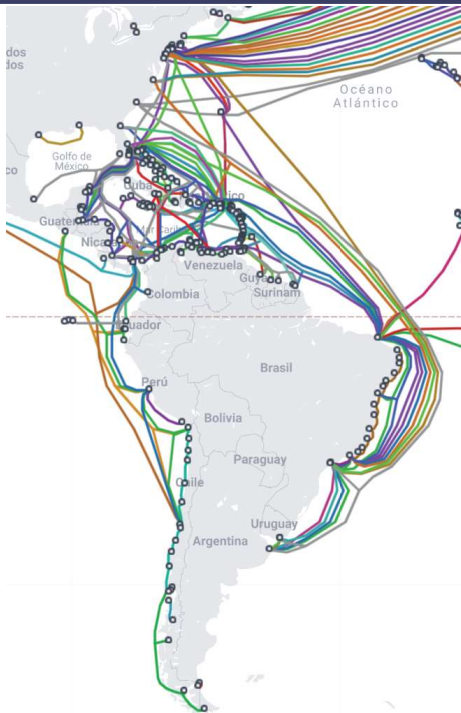




## Informe de frontera 04

### Uso de fibra óptica submarina como sensores sísmicos en Chile



TeleGeography.

Usando un tipo especial de sensores llamados DAS, una Fibra Óptica (FO) submarina ubicada frente a la costa chilena podría utilizarse para mejorar la alerta temprana de terremotos.

#### Chile: respuesta ante desastres

Luego del terremoto de febrero de 2010, se modernizó el sistema nacional de acción frente a desastres creando el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, SENAPRED continuador de la ONEMI.

Entre otros, se estableció un Sistema de Alerta de Emergencia (SAE) con mensajes de texto a quienes se encuentren en zonas potencialmente afectadas por eventuales riesgos (Subtel, 2021) y se modernizó el Sistema Nacional de Alarma de Maremotos, dependiente del SHOA.

Varios centros de investigación nacionales están trabajando en la gestión de emergencias, mejora de alertas y capacidad de respuesta.

Entre los potenciales avances está el uso de tecnologías que aprovechan los cables submarinos de telecomunicaciones frente a las costas chilenas, actuando como sensores sísmicos que complementarían los actuales sismógrafos y mejorarían el tiempo de alerta a la población.

Una vez operativos, podrían llegar a instalarse el equivalente a millones de sensores sísmicos tradicionales en el mundo, mejorando el conocimiento y la capacidad de respuesta frente a movimientos sísmicos.

Investigaciones nacionales y extranjeras están desarrollando conocimiento científico y tecnológico para poner a punto sistemas de detección de sismos, complementando los sistemas tradicionales,

Elaborado por:  
Raimundo Roberts M.  
Tomas Quintanilla R.  
Email: roberts@bcn.cl

Agradecemos el trabajo de revisión realizado por las siguientes personas, en orden alfabético:

- **Dr. Sergio Barrientos, Rodrigo Sánchez, Roberto Martínez.**  
Centro Sismológico Nacional - Universidad de Chile.
- **Dr. Marcos Moreno.**  
Instituto Milenio de Oceanografía - Pontificia Universidad Católica de Chile.
- **Dr. Gabriel Saavedra.**  
Instituto Milenio de Investigación en Óptica, MIRO - Universidad de Concepción.
- **Dr. Marcelo A. Soto.**  
Departamento de Ingeniería electrónica - Universidad Técnica Federico Santa María.

umentando la información actual y mejorando la respuesta ante desastres.

## Introducción

La tecnología de detección o “Sensado Acústico Distribuido” (DAS, por su sigla en inglés), se ha calificado como “una de las tecnologías de fibra óptica más atractivas y prometedoras de la última década”, ya que puede detectar múltiples vibraciones y deformaciones en cables de fibra óptica de gran extensión y, gracias a su alta frecuencia de muestreo, proporcionar cuantiosa información del entorno (Zuyuan, 2021).

En pocos años se comenzó a explorar su uso en áreas como geología, geotecnia, monitoreo de cañerías, puentes e incluso en la construcción de “Smart Cities”.

También se está utilizando para monitorear sismos o volcanes, entre otros, aprovechando instalaciones de fibra óptica para telecomunicaciones como sistemas de detección del paso de ondas sísmicas (Sladen, A et.al. 2019; Voosen, 2021; Yin et.al, 2023).

Este informe analiza la aplicación de tecnologías DAS a la fibra óptica submarina como sistemas de alerta temprana de sismos: sus avances, proyecciones, principales desafíos y oportunidades considerando las capacidades e infraestructura de Chile.

## I. Algunas definiciones

La FO submarina es una de las tecnologías de telecomunicaciones más extendidas del mundo (Liu, 2019). Estos cables están compuestos por numerosos filamentos formados por vidrio de sílice, de un diámetro muy pequeño, por donde se transmite información a través de haces de luz, sin necesidad de transmitir energía eléctrica (Grazzini, 2021).

Estos filamentos están formados por un núcleo cubierto por un revestimiento (*cladding*), que cumple con dos funciones clave: proteger la fibra y evitar que la luz se disipe al exterior (Hartog, 2017).

En la década del 60, se descubrió que podían transmitir señales de luz con una capacidad de transmisión mucho mayor a la de los cables de cobre de la época (Jacoby, 2020), volviéndolos ideales para su uso masivo en el mercado de las telecomunicaciones (Mears, 1987; Giles, 1991) y, además, puede transportar diferentes señales al mismo tiempo (Voosen, 2021).

El primer cable submarino de FO para telecomunicaciones, el TAT-8, se instaló en 1988 entre América del Norte y Europa. Desde entonces, se han instalado y modernizado cerca de 500 cables, dando la

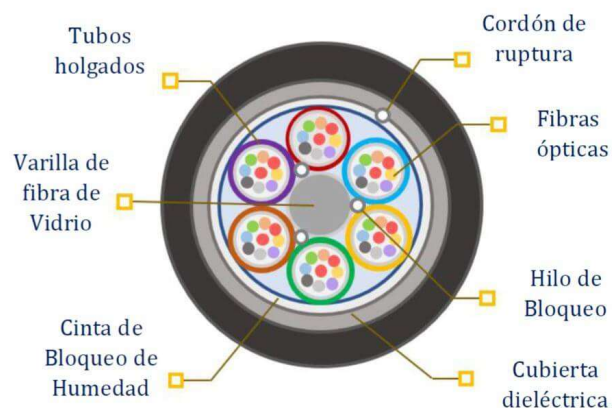
### Hacia una “infraestructura inteligente”

Aunque este informe describe la tecnología DAS, existen otras herramientas basadas en la detección distribuida por fibra óptica (DFOS). En conjunto, son tecnologías que pueden utilizarse para la detección no sólo de movimiento sino también de otras magnitudes físicas, como temperatura o tensión (Hartog, 2017).

En el campo de la ingeniería civil, autores como Kenichi Soga y Linqing Luo (2018) proyectan que estas tecnologías de detección pueden convertirse en sistemas de retroalimentación sobre el estado de infraestructuras, de forma similar a como un “sistema nervioso” alerta sobre impactos en un ser vivo.

vuelta al mundo con fibra óptica, tanto bajo el océano como por tierra (Yin et al, 2023).

Figura 1. Estructura tipo de un cable de Fibra Óptica.



Fuente: SISUTELCO.

## II. DAS en fenómenos geológicos

Un sensor DAS puede aprovechar las FO de telecomunicaciones para detectar fenómenos como sismos o movimiento de fluidos a nivel subterráneo y submarino, convirtiendo a una fibra óptica que incorpore este “interrogador/detector” en una red capaz de entregar valiosa información sísmica (Hornman, 2017; IGN, 2023).

Los usos de la fibra óptica como sensor se inician en el ámbito militar a mediados de los años 70 en Estados Unidos (Bucaro, 1977), como sistema defensivo para localizar submarinos, mejorando además los sistemas de navegación (Dandridge, 1991), en un proceso de evolución continua que incluye, entre otras, a la industria de la energía, la cual utiliza fibra óptica cerca de cañerías y zonas de extracción para detectar fugas o roturas de tuberías (Brown & Hartog, 2002).

Investigaciones en Islandia, Estados Unidos, Japón, China, Francia, España y Chile muestran que estas redes pueden detectar y recopilar datos de movimientos telúricos, actividad volcánica y actividad marítima de manera más completa y temprana en comparación a los mecanismos de detección anteriores (Biondi, 2021; Dou, 2017; Klaasen, 2021).

### Lo que dicen los expertos...

“Contar con sensores más cercanos a la zona donde se encuentran en contacto dos placas tectónicas sumamente activas, que generan grandes terremotos, nos ayudará no solamente a acercarnos a la fuente sísmica con el objeto de caracterizar con mayor detalle el proceso de ruptura, sino que también nos permitirá conocer con mayor anticipación que este proceso se ha iniciado”

*-Sergio Barrientos, director del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile.*

En Islandia, por ejemplo, investigadores aprovecharon FO de telecomunicaciones instalada cerca de erupciones volcánicas para utilizarlas como dispositivos DAS, analizando movimientos, cambios de presión o de temperatura cerca de la fibra (Voosen, 2021), detectando altos niveles de sismicidad, e información precisa respecto a los puntos exactos en donde ocurrían dichos movimientos (Klaasen, 2021).

En España, la compañía Aragon Photonics de Zaragoza desarrolló un sistema donde, a través de métodos DAS aplicados en redes de fibra óptica,

monitorean actividad sospechosa con fines de seguridad y mantención eficiente de infraestructuras en las industrias de telecomunicaciones, petróleo y gas (Unión Europea, 2021).

En Estados Unidos se están usando sistemas DAS en distintas localidades como California<sup>1</sup> o Alaska<sup>2</sup> para analizar movimientos telúricos y comparar la información con sismógrafos tradicionales. Dado que estos aparatos son más sensibles que un sistema DAS pero entregan información de un solo punto, concluyen que el sistema DAS entrega información adicional y, además, con una mayor área de cobertura (Lindsey, 2017).

Recientemente, y en línea con los trabajos mencionados, se están desarrollando investigaciones en las costas de Chile, Francia y Grecia con métodos DAS en cables de fibra óptica submarina.

### III. Desarrollos en Chile

En nuestro país, donde cables de FO submarina recorren toda la costa, destacan al menos dos líneas de investigación: una liderada por científicos de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM)<sup>3</sup>, más investigadores de California y empresas de tecnología de ambos países. La otra, es una línea trabajada por investigadores franceses con la colaboración del Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile, a la que se suman empresas locales.

Ambos grupos de investigación han conectado interrogadores DAS en cables submarinos de fibra óptica frente a la costa central de Chile, con objetivos en principio complementarios: mientras el equipo franco-chileno tiene una mirada predominante desde la sismología y su utilización en el monitoreo sísmico, el equipo de la UTFSM se enfoca principalmente en el desarrollo tecnológico y el análisis de datos.

#### UTFSM – REUNA – GOOGLE

Mediante un proyecto FONDEF, fondos para investigación científica de la ANID, académicos de la Universidad Federico Santa María en colaboración con la Red Universitaria Nacional (REUNA), se han

<sup>1</sup> Financiados por el IRIS, consorcio de más de 125 universidades de Estados Unidos dedicadas a la adquisición, manejo y distribución de datos sismológicos, para avanzar en investigaciones y proyectos educativos en la materia. Disponible en: [https://www.iris.edu/hq/initiatives/das\\_rcn](https://www.iris.edu/hq/initiatives/das_rcn) (abril, 2024).

<sup>2</sup> Financiados por el Departamento de Energía de Estados Unidos, junto con el National Energy Technology Laboratory

(NETL) y el U.S. Geological Survey Energy Resources Program. (Young, 2022).

<sup>3</sup> Financiado en Chile a través de AC3E ANID-Basal FB0008, FONDEF “Prototipo de un sensor acústico distribuido en fibra óptica para el monitoreo y detección temprana de movimientos sísmicos utilizando herramientas de inteligencia artificial” (03/2021 – 02/2023) y ANID Fondecyt Regular 1200299.

enfocado en el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial aplicables a la tecnología DAS para el monitoreo sísmico a lo largo del país.

Utilizando el cable Curie de Google, el grupo de investigación realizó mediciones DAS y analizaron los datos de un sector de 50 kilómetros en frente a las costas de Valparaíso durante cerca de una semana.

Estos datos, además de mostrar que el sistema efectivamente detecta sismos, les permitió trabajar en el desarrollo de un sistema de “Alerta Temprana de Terremotos” que, dependiendo de las condiciones de localización del sismo y la ubicación del cable de FO, disminuye el tiempo de respuesta con respecto a estaciones sísmicas terrestres (Yin et al, 2023) y, además, el desarrollo de software para el sistema de alerta.

## POST y ABYSS

El Proyecto de Observación Submarina de Terremotos (POST)<sup>4</sup> que se inicia el año 2021, y su posterior expansión a ABYSS a partir del año 2022, han sido iniciativas lideradas desde el Laboratorio Géoazur de la Universidad Cote d’Azur de Francia, en colaboración con el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile y la compañía de telecomunicaciones GTD.

En el caso del proyecto POST, éste utiliza -de manera experimental- un tramo de 150 km de la red de fibra óptica submarina Prat de GTD<sup>5</sup> (un cable de más de 3.500 kilómetros que recorre la costa chilena) equipado con dispositivos DAS, frente a la costa de la Región de Valparaíso, para captar movimientos sísmicos que se generan entre las placas de Nazca y Sudamericana. El ambiente de temperatura prácticamente constante en el fondo oceánico aumenta las capacidades de detección de ondas sísmicas ya que variaciones en la temperatura de la fibra inducen ruido en el sistema.

Su misión era confirmar que un cable instalado con fines comerciales podría utilizarse con estos propósitos, ya que fue la primera vez que esta técnica se utilizó en un cable comercial.

Los trabajos del proyecto POST fueron el piloto de un proyecto de mayor envergadura denominado proyecto ABYSS, que se desarrolla desde 2022 y se extenderá

hasta el año 2026 contando con fondos de apoyo del Consejo Europeo de Investigación.

Este busca aumentar de manera estable la sensorización de fibra óptica de POST (y del cable Prat de GTD), incorporando dos nuevos interrogadores/detectores DAS, instalados en La Serena, auscultando uno hacia el norte y el otro hacia el sur, complementando al establecido en Concón. Además, un DAS móvil permitirá conocer las capacidades de monitoreo desde otros puntos donde el cable Prat tenga una conexión terrestre. El objetivo final de estos proyectos es integrar esta nueva tecnología como componente integral de la vigilancia sísmica del país, complementando los sistemas de observación terrestres convencionales. Dada la cercanía de estos detectores a la zona donde se originan los sismos, especialmente aquellos de gran magnitud asociados a la generación de tsunamis, sus datos pueden mejorar sustantivamente los Sistemas de Alerta Temprana de Terremotos (EEWS por sus siglas en inglés). Se espera que a partir del año 2026 puedan iniciarse los trabajos de estos prototipos (Rivet, 2021).

Ambas investigaciones buscan mejorar la detección temprana de sismos ubicados bajo en el mar, identificando parámetros clave para activar alarmas y respuestas a través de distintos canales de comunicación. (Valenzuela, 2021) (Muñoz & Soto, 2022).

## IV. Ventajas y desafíos según los expertos

Los sistemas DAS cuentan con ventajas y desafíos en su implementación, desarrollo técnico y científico, complementando las actuales herramientas sismológicas terrestres y submarinas.

En lo económico, la doctora líder del proyecto POST, Diane Rivet, señaló que los instrumentos de detección submarinos tradicionales (sismógrafos), tienen un alto costo de instalación, mantención y logística. Países como Japón, Estados Unidos y Canadá han implementado tecnologías de este tipo, en proyectos colaborativos, con inversiones que superan los 500 millones de dólares. Contar con redes de fibra óptica ya implementadas en gran parte del país implica una ventaja económica para nueva infraestructura de detección de sismos (Rivet, 2021).

<sup>4</sup> Universidad de Chile. *Proyecto de Observación Submarina de Terremotos (POST)*, Iniciativa franco-chilena de altos estudios. 2022. Disponible en: <https://ifcae.uchile.cl/2022/09/proyecto-de-observacion-submarina-de-terremotos-post/> (abril, 2024).

<sup>5</sup> Información de GTD, (s/f). Disponible en: <https://www.gtd.cl/es/w/novedades/investigacion-ayudaria-a-desarrollar-un-sistema-de-alerta-temprana-cable-de-fibra-optica-submarina-prat-ya-registra-datos-de-sismos-en-chile> (abril, 2024).

En línea con lo anterior, la científica Shan Dou en 2017 indicó que los métodos DAS pueden llegar a ser más económicos que los métodos convencionales, especialmente en instalaciones terrestres, tanto en la implementación como en mantención, a la vez que permiten tener información en simultáneo en áreas de cientos de kilómetros (Dou, 2017).

Por otro lado, la implementación de sensores DAS en fibra óptica submarina no soluciona la instalación de sistemas de alerta terrestres y, aun cuando la tecnología esté operativa, se requiere de algún tiempo para “aprender” de las señales que entregan los sensores específicamente en la costa chilena.

En este sentido, el trabajo del doctor Soto, líder de las investigaciones sobre DAS en la UTFSM, está generando soluciones que además permitirían el desarrollo tecnológico de estos sistemas de alerta no sólo para terremotos sino también para tsunamis.

Dada la alta actividad sísmica y volcánica a lo largo del territorio chileno, analizar los datos de sistemas DAS puede ser fundamental entender estos procesos, especialmente las señales que ocurren antes de una erupción volcánica o un terremoto.

La detección temprana y las respuestas anticipadas ante estos eventos son una preocupación prioritaria tanto para el sector público como para el privado, donde las nuevas tecnologías pueden ayudar a mejorar los sistemas de emergencia actuales. (Caro, 2021).

Todo este desarrollo está permitiendo capacitar estudiantes de postgrado y conocer mejor los alcances de esta técnica para no solo en el futuro utilizar cables submarinos, sino también monitorear desde fallas corticales como la Falla San Ramón y volcanes activos, hasta el monitoreo de procesos mineros y obras civiles.

En lo que respecta ámbito regulatorio, no se encontró información sobre regulación de fibra óptica en áreas fuera de las telecomunicaciones.

## V. Propuestas de solución disponibles, oportunidades y escenarios futuros

Chile tiene redes de fibra óptica a lo largo de todo su territorio: proyectos desplegados de norte a sur como la Fibra Óptica Nacional (FON), Fibra Óptica Austral, Fibra Óptica Tarapacá y Fibra Óptica en Complejos Fronterizos, además de cables instalados en la última década que recorren un largo tramo de la costa

continental, como el cable Prat mencionado anteriormente. (Araya, 2022; GTD, 2023; WOM, 2022).

Existe un gran potencial de crecimiento de esta tecnología: con cerca de 500 cables de fibra óptica globales, se calcula que pueden instalarse el equivalente a millones de sismógrafos marinos sin despliegue adicional en el mundo (Yin, J. et al, 2023).

Entre las limitantes actuales más importantes de esta tecnología destacan: a) el alcance máximo, unos 150 km, b) la necesidad de contar con una “fibra oscura”, es decir, es necesario dedicar un filamento de manera exclusiva para estos propósitos y c) el alto volumen de datos que se generan, con la consecuente necesidad de aumentar la capacidad de procesamiento para su uso en tiempo real.

## Bibliografía y Referencias

### Imagen portada:

Submarine cable map. TeleGeography. Disponible en: <https://www.submarinecablemap.com/> (abril, 2024).

Agrell E., Karlsson M., Chraplyvy A.R., Richardson D.J., Krummrich P.M., Winzer P.J., Roberts K., Fischer J.K., Savory S.J., Eggleton B.J (2016). *Roadmap of optical communications*. Journal of Optics, Volume 18, Number 6. DOI 10.1088/2040-8978/18/6/063002. (Diciembre, 2023).

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2021), *Datos y hechos sobre la transformación digital*. Documentos de proyectos (LC/TS.2021/20), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (Agosto, 2023).

Liu X. (2019). *Evolution of Fiber-Optic Transmission and Networking toward the 5G Era*. iScience, 22, 489–506. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.isci.2019.11.026> (abril, 2024).

Voosen, P. (2021). Researchers are weaving optical fibers into a low-cost network of seismic sensors that can probe Earth's hidden dynamics. Noticia. En: Revista Science, Vol 374, Issue 6573, 1312-1316. Disponible en: <https://www.science.org/content/article/cheap-and-rugged-optical-fibers-are-revealing-earth-s-hidden-motions> (abril, 2024).

J., Lindsey N., Martin, E. R., Dreger, D. S., Freifeld, B. Cole, S., James, S. R., Ajo-Franklin, J. B. (2017). *Fiber-optic network observations of earthquake wavefields*. Geophysical Research Letters 44, 11,792– 11,799. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/2017GL075722> (abril, 2024).

Grazzini, H. O. (2021). *Fibras ópticas: conceptos teóricos y aplicaciones prácticas*. Jorge Sarmiento Editor - Universitatis. ISBN:9789872347161, 9872347166.

- Hartog, A. (2017). *An introduction to distributed optical fibre sensors*. CRC Press. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9781315119014> (abril, 2024).
- Mears R.J., Reekie L., Jauncey I.M., Payne D.N. (1987) *Low-noise Erbium-doped fiber amplifier at 1.54µm*. *Electron. Lett.* 1987; 23:1026–1028 .
- C. R. Giles and E. Desurvire (1991). *Modeling erbium-doped fiber amplifiers*, in *Journal of Lightwave Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 271-283.
- Bucaro, J. A.; Dardy, H. D. and Carome, E. F. (1977) *Fiberoptic hydrophone*. *J. Acoustic. Soc. Am.* 62 1302–4. En: Kirkendall and Dandridge "Overview of high-performance fibre-optic sensing" September 2004 *Journal of Physics D Applied Physics* 37(18):197-216. DOI:[10.1088/0022-3727/37/18/R01](https://doi.org/10.1088/0022-3727/37/18/R01) (abril, 2024).
- IGN, Instituto Geográfico Nacional de España. *Detección de terremotos a través de cables de fibra óptica*. Disponible en: <https://www.ign.es/web/ign/portal/distributed-acoustic-sensing>. (abril, 2024).
- Carrasco, P, en "Proyecto utilizará cable de fibra óptica submarina para detectar sismos", *Noticias Universidad de Chile*, 2021. Universidad de Chile. Disponible en: <https://uchile.cl/noticias/179092/proyecto-usara-cable-de-fibra-optica-submarina-para-detectar-sismos> (abril, 2024)
- Caro, C. (2021). *Proyecto utilizará cable de fibra óptica submarina para detectar sismos*. *Noticias, Universidad de Chile*. Disponible en: <https://uchile.cl/noticias/179093/proyecto-usara-cable-de-fibra-optica-submarina-para-detectar-sismos> (abril, 2024).
- Dandridge, A. and Cogdell, G. B. (1991) *Fiber optic sensors for Navy applications*, in *IEEE LCS*, vol. 2, no. 1, pp. 81-89, Feb. 1991
- Timbercon, Inc. *Empresa de diseño y manufactura de cables de fibra óptica para usos militares, aeroespaciales e industriales*. Disponible en: <https://www.timbercon.com/markets/military-aerospace/> (Diciembre, 2023).
- Biondi, B.L., Yuan, S., Martin, E.R., Huot, F. and Clapp, R.G. (2021). *Using Telecommunication Fiber Infrastructure for Earthquake Monitoring and Near-Surface Characterization*. In *Distributed Acoustic Sensing in Geophysics* (eds Y. Li, M. Karrenbach and J.B. Ajo-Franklin) <https://doi.org/10.1002/9781119521808.ch10> (abril, 2024).
- Dou, S., Lindsey, N. J., Wagner, A., Daley, T. M., Freifeld, B. M., Robertson, M., Ajo-Franklin, J. B. (2017). *Distributed acoustic sensing for seismic monitoring of the near surface: A traffic-noise interferometry case study*. *Scientific Reports*, 7(1), 11620. (abril, 2024).
- Klaasen, S.; Thrastarson, S.; Jonsdottir, K.; Sabuncu, Y. C.; Paitz, P. and Fichtner, A. (2021). *V23B-07- Distributed Acoustic Sensing on Volcanoes: Grímsvötn and Fagradalsfjall, Iceland*. Charla para el AGU Fall Meeting, Noviembre de 2021. New Orleans, USA.
- Brown, G. A., & Hartog, A. (2002). *Optical Fiber Sensors in Upstream Oil & Gas*. *Journal of Petroleum Technology*, 54(11),63–65. <https://doi.org/10.2118/79080-JPT> (abril, 2024).
- Kimbell, J. (2013). *History and analysis of distributed acoustic sensing (DAS) for oilfield applications*. Disertación doctoral para el Master of Science. Texas A&M University. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/18599408.pdf> (abril, 2024)
- Leyton, F., Ruiz, S. and Sepulveda, S. (2009). *Preliminary Revaluation of Probabilistic Seismic Hazard Assessment in Chile: from Arica to Taitao Peninsula*. *Advances in Geosciences*, 22, 147-153. Disponible en: [http://dgf.uchile.cl/~sruiz/Papers/NOISI/leyton\\_et\\_al\\_2009.pdf](http://dgf.uchile.cl/~sruiz/Papers/NOISI/leyton_et_al_2009.pdf) (abril, 2024).
- Rivet, D.; Cacqueray, B.; Sladen, A.; Roques, A.; Calbris, G. (2021). *Preliminary assessment of ship detection and trajectory evaluation using distributed acoustic sensing on an optical fiber telecom cable*. En: *The Journal of the Acoustical Society of America* 149 (4), pág. 2615.
- Young, C.; Shragge, J.; Schultz, W.; Haines, S.; Oren, C.; Simmons, J.; Collett, T. S. (2022): *Advanced Distributed Acoustic Sensing Vertical Seismic Profile Imaging of an Alaska North Slope Gas Hydrate Field*. En: *Energy & Fuels* 36 (7), pág. 3481–3495.
- Géoazur (2022). *Diane Rivet et François Passelegue, lauréats d'une bourse ERC Starting Grant 2021*. Noticia de la web de Géoazur, enero 2022. Disponible en: <https://geoazur.oca.eu/fr/acc-geoazur/3342-diane-rivet-et-francois-passelegue-laureats-d-une-bourse-erc-2021> (abril, 2024).
- Rivet, D. (2021). *Monitoring megathrust faults with abyssal distributed acoustic sensing offshore Chile for seismic hazard assessment and earthquake early warning*. Charla del Centro Sismológico Nacional de Chile, en colaboración con el Laboratorio Géoazur de Francia. Santiago, Chile.
- Kenichi Soga & Linqing Luo (2018) *Distributed fiber optics sensors for civil engineering infrastructure sensing*, *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, 3:1, 1-21, Disponible en: <https://doi.org/10.1080/24705314.2018.1426138> (abril, 2024)
- Comisión de Transportes y Telecomunicaciones del Senado de Chile. Valparaíso, Chile. En sesión del 3 de agosto de 2022:
- Araya, C., Subsecretaría de Transportes y Telecomunicaciones (2022). *Proyecto Fibra Óptica Nacional*. Presentación ante Comisión.
  - 
  - WOM (2022), *Presentación de Avance de Trabajos en Proyecto de Fibra Óptica Nacional*. Presentación ante la Comisión.

- Disponibles en: [https://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=comisiones&ac=sesiones\\_celebradas&idcomision=198&tipo=3&legi=0&ano=2022&desde=0&hasta=0&comi\\_nombre=de%20Tranportes%20y%20Telecomunicaciones&idseesion=17980&idpunto=%20SESIONES\\_CELEBRADAS.IDPUNTO%20%&fecha=03/08/2022&inicio=09:30&termino=11:15&lugar=Sala%205%20%20integrantes%20y%20videoconferencia%20%20invitados%20y%20asesores.&listado=2](https://www.senado.cl/appsenado/index.php?mo=comisiones&ac=sesiones_celebradas&idcomision=198&tipo=3&legi=0&ano=2022&desde=0&hasta=0&comi_nombre=de%20Tranportes%20y%20Telecomunicaciones&idseesion=17980&idpunto=%20SESIONES_CELEBRADAS.IDPUNTO%20%&fecha=03/08/2022&inicio=09:30&termino=11:15&lugar=Sala%205%20%20integrantes%20y%20videoconferencia%20%20invitados%20y%20asesores.&listado=2) (abril, 2024).
- Infrapedia, página web independiente que muestra la infraestructura de conexión a internet alrededor del mundo. Disponible en: [www.infrapedia.com](http://www.infrapedia.com) (abril, 2024).
- GTD, compañía de telecomunicaciones y servicios de tecnología en Chile. Disponible en: <https://www.gtd.cl/nuestra-empresa/informacion-corporativa>. (abril, 2024).
- Sladen, A., Rivet, D., Ampuero, J.P. et al. (2019). *Distributed sensing of earthquakes and ocean-solid Earth interactions on seafloor telecom cables*. Nat Commun 10, 5777. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13793-z> (abril, 2024)
- Lior, I., Rivet, D., Ampuero, J. P., Sladen, A., Barrientos, S., Sánchez-Olavarría, R., Villarroel Opazo, G. A., & Bustamante Prado, J. A. (2023). Magnitude estimation and ground motion prediction to harness fiber optic distributed acoustic sensing for earthquake early warning. Scientific reports, 13(1), 424. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-27444-3> (abril, 2024).
- Muñoz, F. & Soto, M. A. (2022). Enhancing fibre-optic distributed acoustic sensing capabilities with blind near-field array signal processing. En: Nature Communications 13 (1), pág. 4019. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31681-x> (abril, 2024).
- Comunicaciones Centro Sismológico Nacional, CSN (2021). Cable de fibra óptica submarina ya registra datos de sismos en Chile. En: Noticias Universidad de Chile. Noviembre de 2021.
- Disponible en: <https://www.uchile.cl/noticias/181602/cable-de-fibra-optica-submarina-ya-registra-datos-de-sismos-en-chile> (abril, 2024).
- Valenzuela, S. (2021). Académicos USM desarrollan sistema de alerta temprana de terremotos con sensores de fibra óptica. Citado desde Noticias USM, abril de 2021, en medio local La quinta Emprende. Disponible en: <https://laquintaemprende.cl/2021/04/academicos-usm-desarrollan-sistema-de-alerta-temprana-de-terremotos/> (abril, 2024).
- Yin, J., M. A. Soto, J. Ramírez, V. Kamalov, W. Zhu, A. Husker, and Z. Zhan (2023). *Real-Data Testing of Distributed Acoustic Sensing for Offshore Earthquake Early Warning, The Seismic Record*. 3(4), 269–277, <https://doi.org/10.1785/0320230018> (abril, 2024).
- Zuyuan He and Qingwen Liu, (2021) "Optical Fiber Distributed Acoustic Sensors: A Review," J. Lightwave Technol. 39, 3671-3686. Disponible en: <https://opg.optica.org/jlt/abstract.cfm?URI=jlt-39-12-3671> (abril, 2024).
- SUBTEL (2021). Telecomunicaciones de Emergencia en Chile. Presentación. Disponible en: [https://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/rrs/2021-Americas/Forum/Session%203\\_Emergency%20Communications/SUBTEL%20Chile\\_%20TELECOMUNICACIONES%20DE%20EMERGENCIA%20EN%20CHILE.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-R/seminars/rrs/2021-Americas/Forum/Session%203_Emergency%20Communications/SUBTEL%20Chile_%20TELECOMUNICACIONES%20DE%20EMERGENCIA%20EN%20CHILE.pdf) (abril, 2024).
- "Periodic Reporting for period 1 - HECTOR (The New Generation of Distributed Fiber Optic Sensors for Critical Infrastructures)", CORDIS, Unión Europea, 2018. Disponible en: <https://cordis.europa.eu/project/id/826843> (Abril, 2024).

#### Nota aclaratoria

Asesoría Técnica Parlamentaria, está enfocada en apoyar preferentemente el trabajo de las Comisiones Legislativas de ambas Cámaras, con especial atención al seguimiento de los proyectos de ley. Con lo cual se pretende contribuir a la certeza legislativa y a disminuir la brecha de disponibilidad de información y análisis entre Legislativo y Ejecutivo.