



FACULTAD DE CIENCIAS EN
FÍSICA Y MATEMÁTICAS



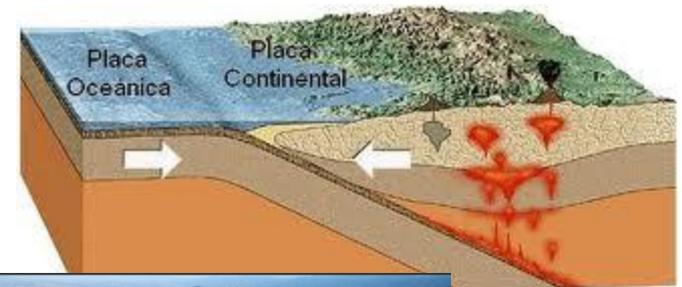
Monitoreo sísmico por fibra óptica

Dr. Víctor I. Ruiz Pérez

Facultad de Ciencias en Física y Matemáticas, UNACH, Octubre de 2018.

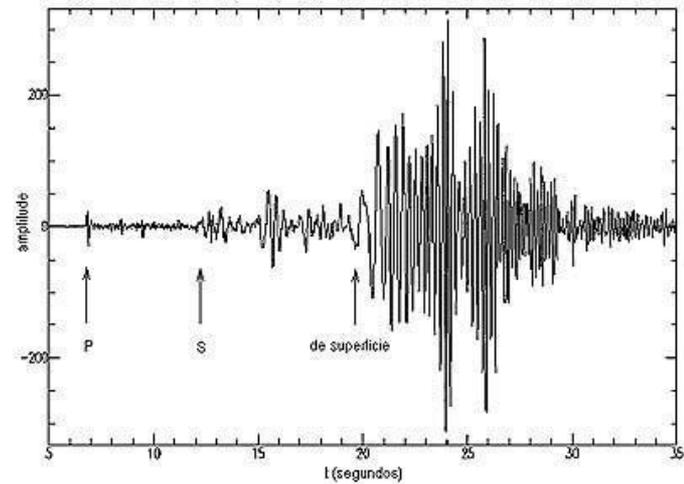
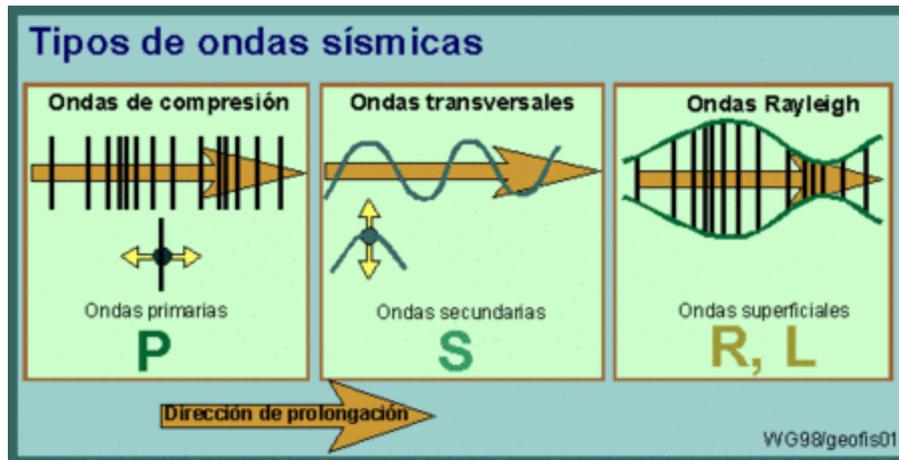
¿Que es un sismo (terremoto)?

- ▶ Fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas.
- ▶ Originadas por: Fallas geológicas, fricción en el borde de placas tectónicas, procesos volcánicos.
- ▶ Efectos: movimientos o ruptura del suelo, corrimientos y deslizamientos de la tierra,



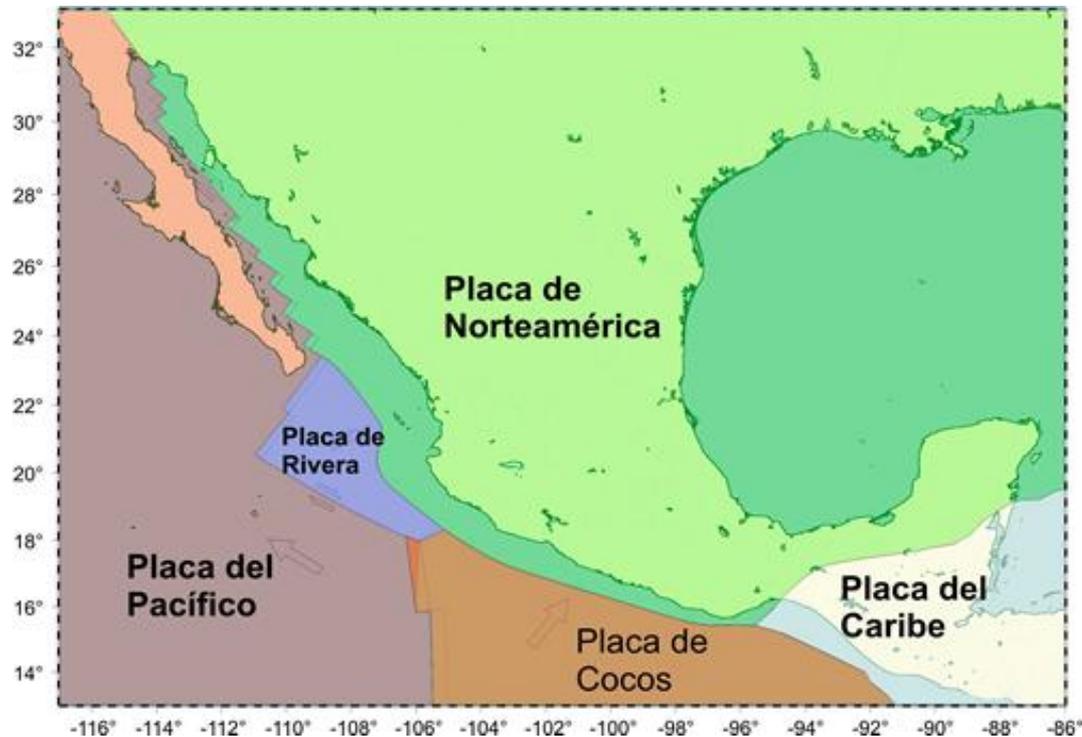
Propagación de ondas sísmicas

- ▶ **Ondas longitudinales, primarias P:**
Se propagan a velocidades de 8 a 13 km/s. Atraviesan líquidos y sólidos.
- ▶ **Ondas transversales, secundarias S:**
Se propagan a velocidades entre 4 y 8 km/s. Atraviesan sólidos.
- ▶ **Ondas superficiales:**
Se propagan a velocidades de ~ 3.5 km/s, interacción de ondas P y S.



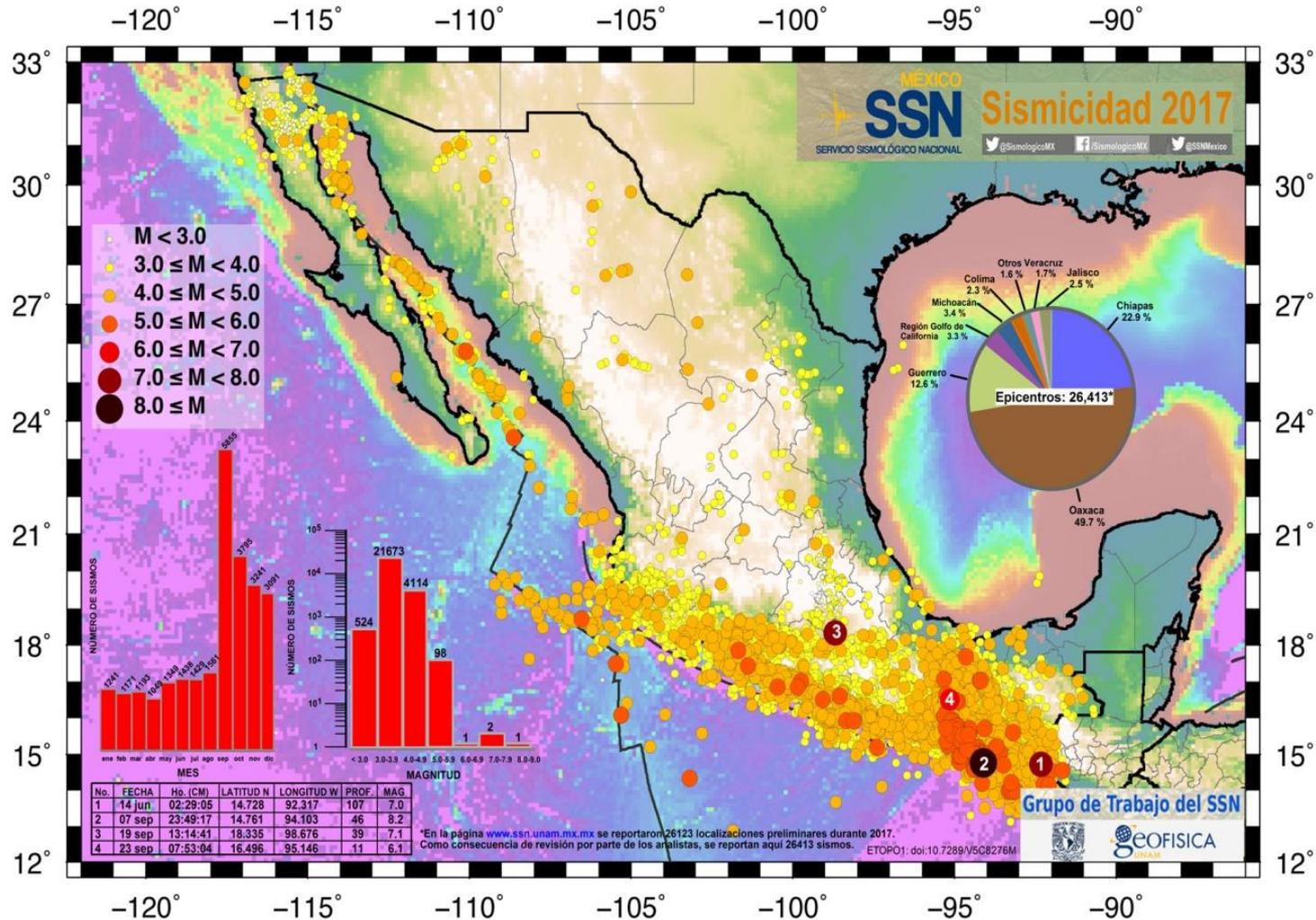
¿Porqué tiembla México?

- ▶ México está ubicado en una zona de alta sismicidad:
Se encuentran 5 placas tectónicas*.



* Nacional, Servicio Sismológico. [«Servicio Sismológico Nacional»](http://www.ssn.unam.mx). www.ssn.unam.mx. Consultado el 2018-10-16.

Actividad sísmica durante el 2017



ESTADÍSTICAS DE LOS SISMOS REPORTADOS POR EL SSN

AÑO	TOTAL DE SISMOS	MAGNITUD							
		No calculable*	0 - 2.9	3 - 3.9	4 - 4.9	5 - 5.9	6 - 6.9	7 - 7.9	8 - 8.9
1990	796	1	12	247	510	24	2	0	0
1991	728	4	2	183	509	29	1	0	0
1992	614	1	4	184	398	27	0	0	0
1993	916	1	47	274	548	40	5	1	0
1994	622	0	20	192	383	24	3	0	0
1995	678	0	17	188	438	26	6	2	1
1996	789	0	8	203	543	32	2	1	0
1997	1019	13	44	388	533	34	6	1	0
1998	1024	2	11	453	532	21	5	0	0
1999	1099	1	12	542	527	11	4	2	0
2000	1052	9	28	463	531	18	2	1	0
2001	1344	9	8	704	585	32	6	0	0
2002	1688	0	4	880	760	40	4	0	0
2003	1323	0	5	728	568	18	3	1	0
2004	1346	0	2	669	639	33	3	0	0
2005	1210	0	1	678	514	17	0	0	0
2006	1355	0	0	792	544	19	0	0	0
2007	1528	0	1	728	764	33	2	0	0
2008	1955	0	4	1154	780	15	2	0	0
2009	2301	0	5	1648	610	37	1	0	0
2010	3462	0	23	2454	954	27	3	1	0
2011	4272	0	44	3357	839	27	5	0	0
2012	5244	1	21	4106	1054	50	10	2	0
2013	5360	0	56	4221	1046	33	4	0	0
2014	7607	1	237	6365	954	42	7	1	0
2015	10946	1	251	9056	1605	30	3	0	0
2016	15547	0	557	13501	1453	29	7	0	0
2017	26363	0	505	21619	4155	80	2	1	1

INFORMACIÓN SUJETA A CAMBIOS

* **Magnitud no calculable:** en algunos eventos sísmicos localizados (en general, de magnitud pequeña), no es posible establecer con precisión la magnitud con los datos disponibles hasta el momento.

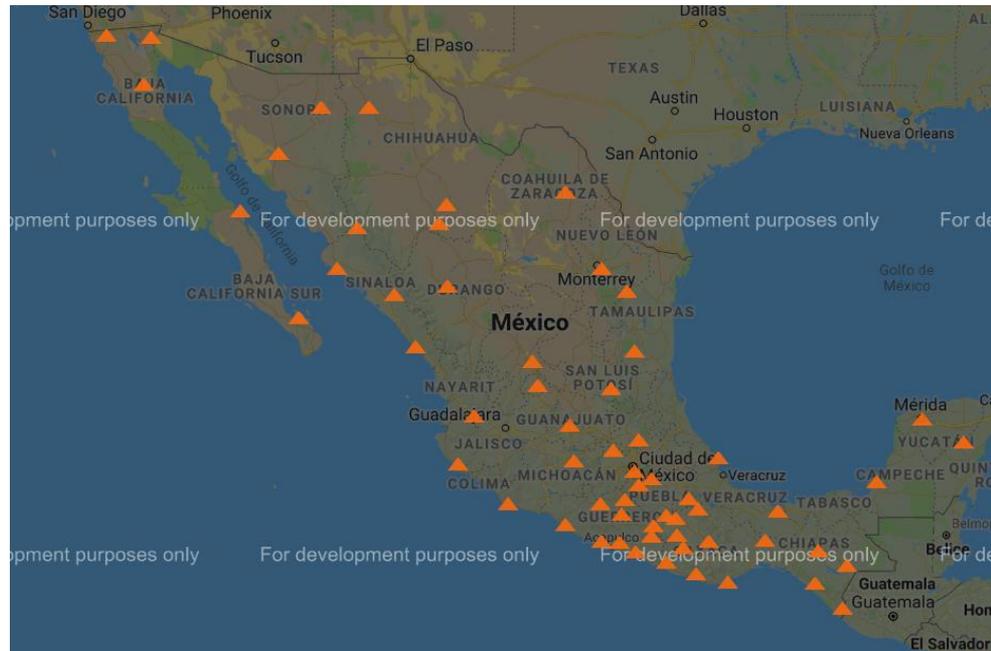
¿Porqué detectar y medir ondas sísmicas?

Seguridad de miles de personas:

- ▶ Estimación de peligrosidad de terremotos: Tiempo de origen y duración, lugar, tamaño.
- ▶ Vulnerabilidad de estructuras: Evitar colapso, minimizar daños estructurales.
- ▶ Evaluación de riesgos: Alertas, advertencias, alarmas para la preparación y respuesta a emergencias.

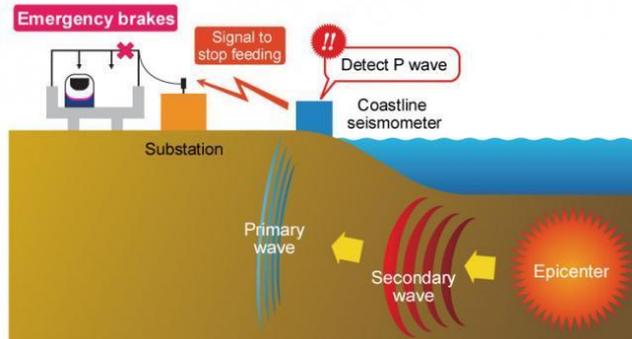


Red sismológica en México

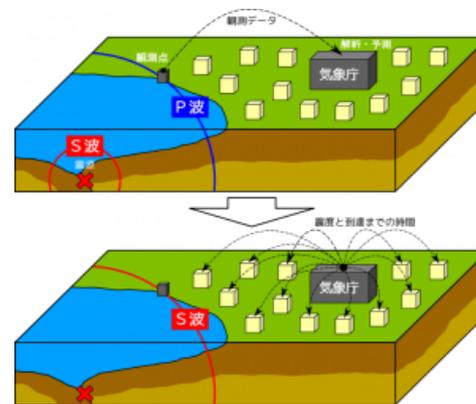


- ▶ El Servicio Sismológico Nacional (SSN) cuenta con 61 estaciones en operación, con 102 equipos para el registro de temblores.
- ▶ Envío de alertas: Sistema de Alerta Sísmica Mexicano (**SASMEX**), operado por el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico A. C. (**CIRES**).
- ▶ Datos: fecha y hora de origen, parámetros principales: (magnitud, coordenadas geográficas del epicentro, localización y profundidad).

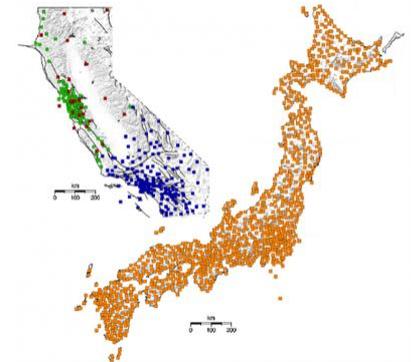
Funcionamiento de un sistema de alarma



En diez segundos da tiempo a buscar refugio, pero con más margen podrían salvarse más vidas



Sistema de detección de terremotos ShakeAlert



Sensores sísmicos en California vs sensores sísmicos en Japón

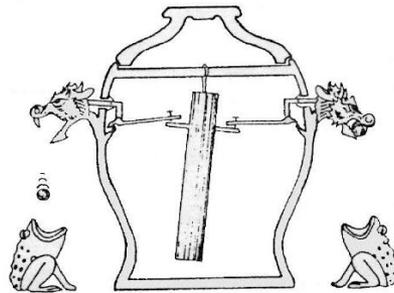
Se requieren 80 millones de dólares para iniciar el proyecto y 15 millones para mantenimiento anual

Sismometría

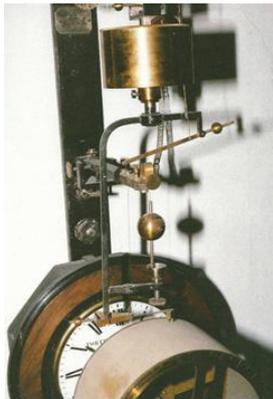
► Detección, registro y medición de sismos



Primer sismógrafo (China, 132 d. C.)



Sismoscopio de Jean de Hautefeuille (1703)

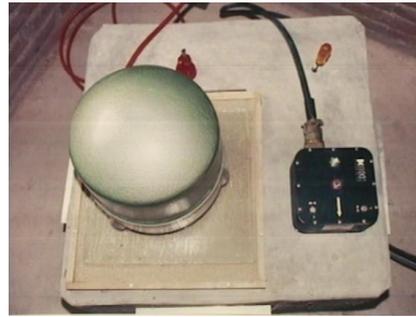


Sismógrafo de Cecchi

Equipo de medición convencionales



Sismógrafo Wiechert



Sismómetro STS-2



Sismógrafo
electromagnético



Instrumento de
estación
telemétrica digital



Sismómetro de
banda ancha Guralp
6TD



Reloj GPS de alta
precisión CMG-
GPS2

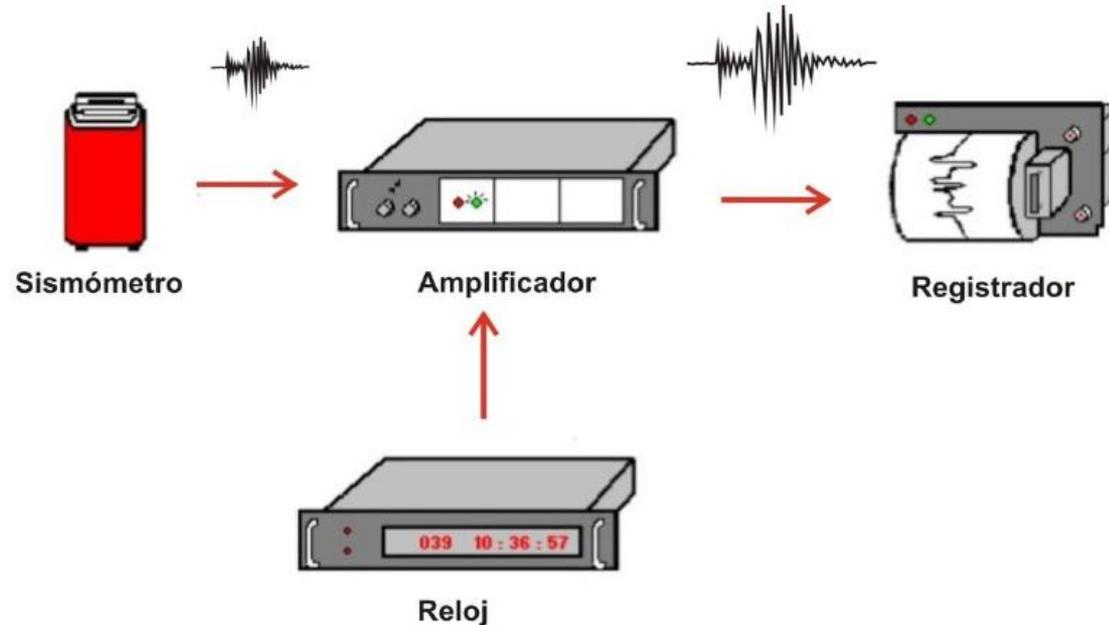


Estación sismológica
(caseta)



Sensor protegido
con material aislante

Sismógrafos modernos



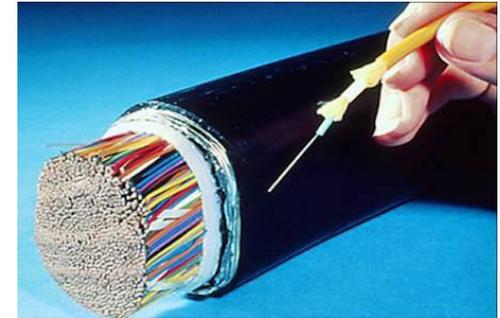
Avances en la tecnología electrónica han generado dispositivos más pequeños, livianos y de alta sensibilidad y precisión, medir en 3 direcciones, y registrar ondas de período largo o corto.

La información se guarda en un sistema de adquisición de datos (16 o 24 bits) con GPS y se envía vía satelital o internet a centros de investigación.

¿Porqué usar fibra óptica?

Requerimientos prácticos:

- ▶ Se requiere de un gran número de puntos de medición.
- ▶ Medición en espacios abiertos.



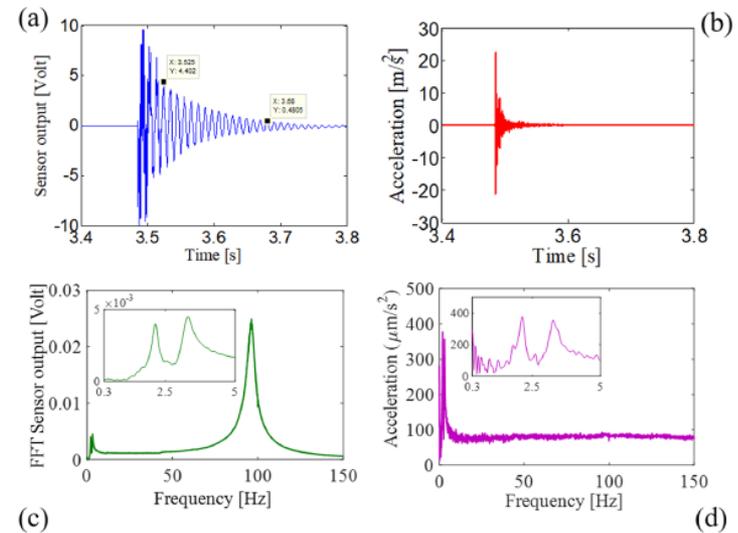
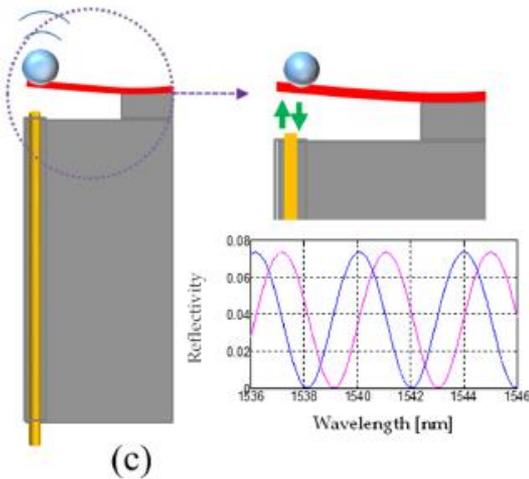
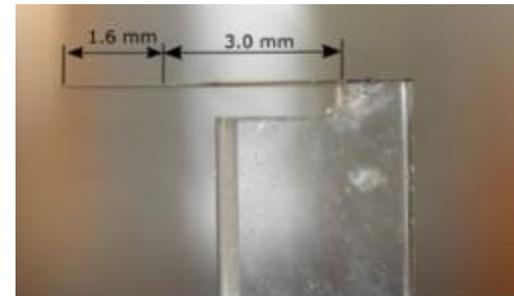
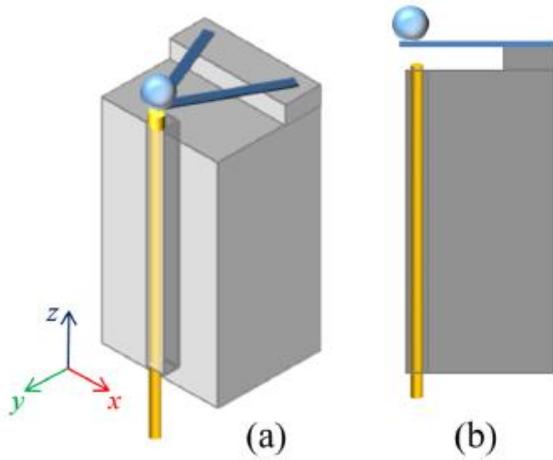
Dificultades con los sensores convencionales:

- ▶ Sensores convencionales: relativamente pesados, voluminosos y difíciles de transportar
- ▶ Son afectados por interferencia electromagnética
- ▶ Su instalación requiere grandes cantidades de cable o de redes inalámbricas de comunicación de datos.
- ▶ La complejidad incrementa al requerirse la instalación de un gran número de sensores.

Ventajas de la fibra óptica:

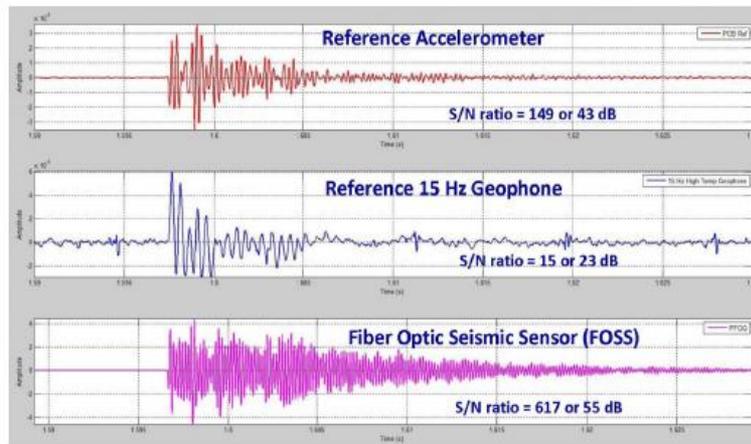
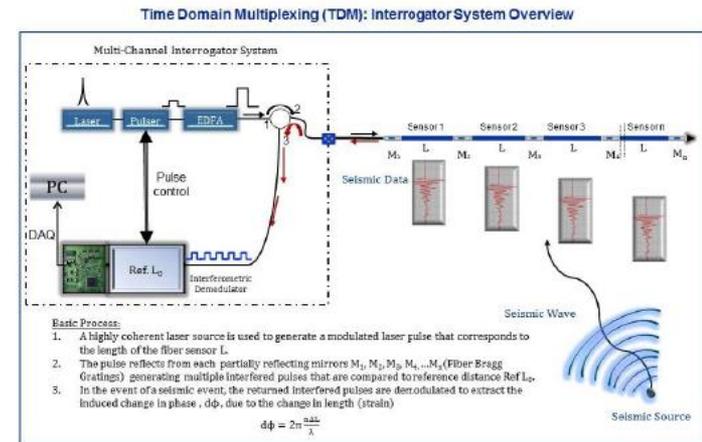
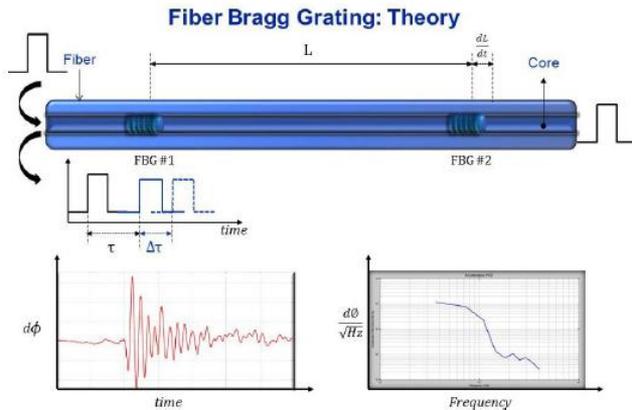
- ▶ Son ligeros,
- ▶ Son pequeños,
- ▶ Inmunes a interferencia electromagnética,
- ▶ Basta un solo cable,
- ▶ La misma fibra sirve como medio de transmisión,
- ▶ Operación remota (sistema de interrogación a distancia y en un lugar seguro)
- ▶ Sensado quasi-distribuido y distribuido, ideal para grandes áreas.

Configuración Fabry-Perot, Sensor puntual.

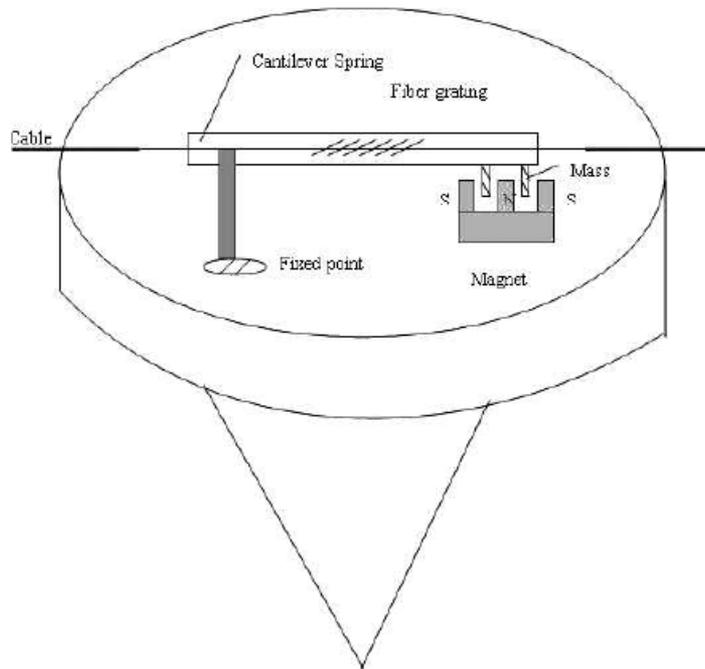


M. Cisco, et. al., "Opto-mecanic lab-on-fibre seismic sensor detected the Norcia earthquake", Scientific Report, Vol. 8:6680, 2018.

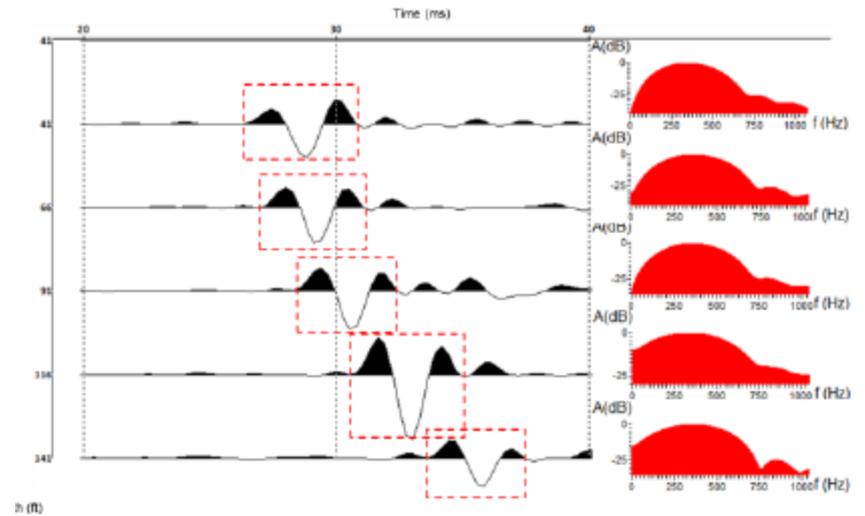
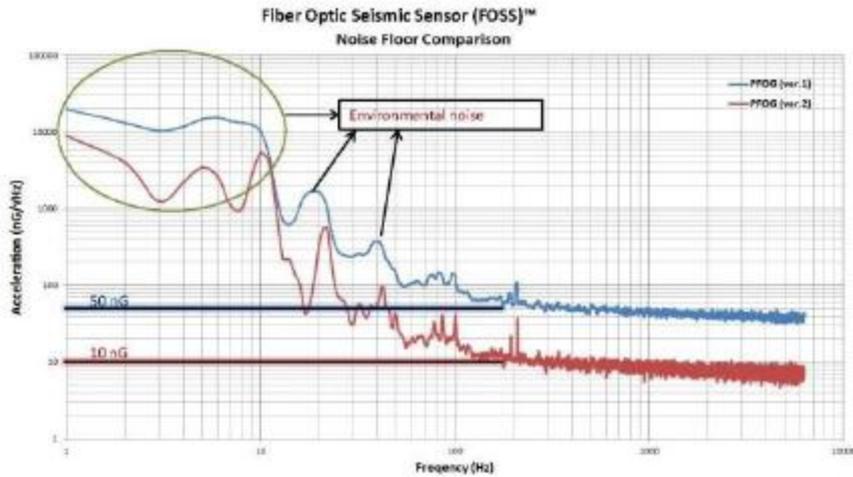
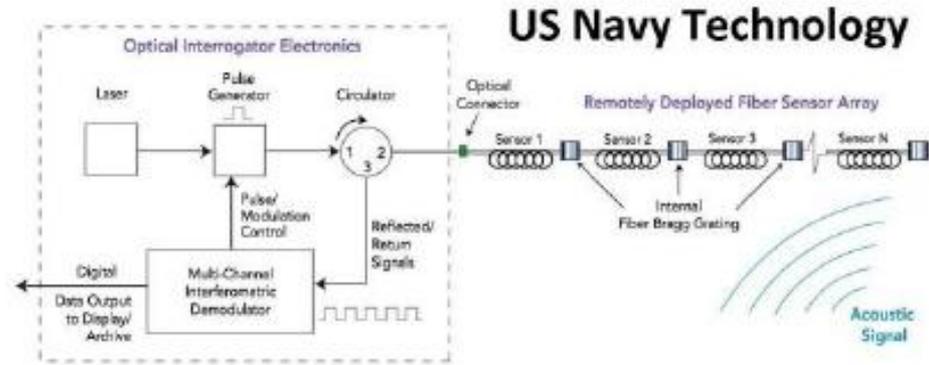
Sensor quasi-distribuido con fibras de rejillas de Bragg.



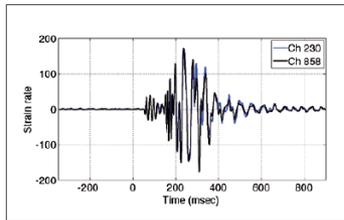
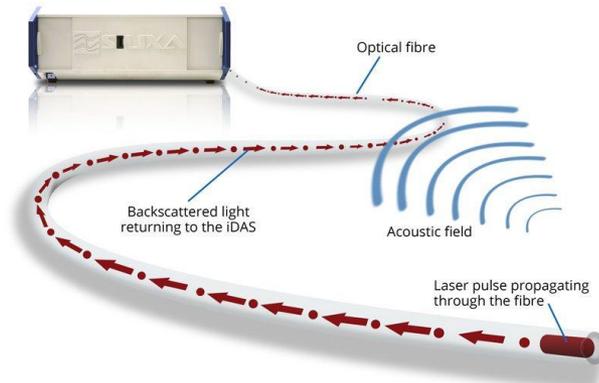
B. N. Paulsson, T. He. "A Fiber-Optic Borehole Seismic Vector and Acoustic Sensor System for Geothermal Site Characterization and Monitoring", Energy Procedia, 63, 2014, pp. 4323-4338.



Sensor cuasi-distribuido

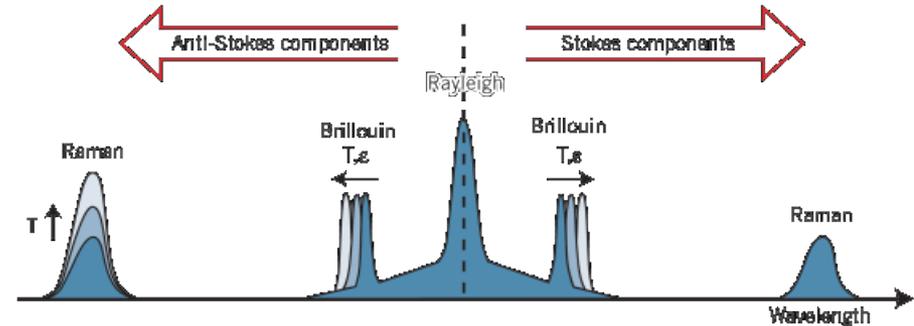


Sensor distribuido



SCATTERING EFFECTS WITHIN FIBER OPTIC CABLES*

FIG. 1



*Caused by temperature, T , or strain ϵ .

$$L = \frac{\text{tiempo } c}{2n} \quad \Delta l = \frac{cT}{2n}$$

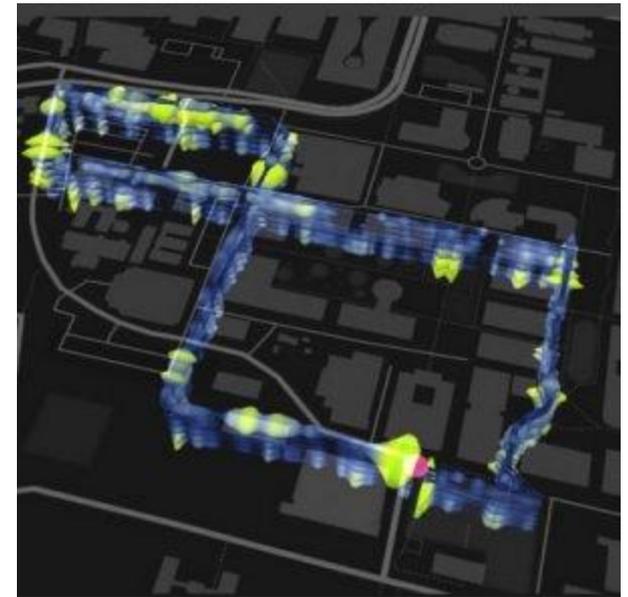
- ▶ El elemento sensible es toda la fibra óptica sin transductores adicionales.
- ▶ Se envían pulsos de señal y se registra la señal reflejada vs tiempo.
- ▶ Se ha usado para medir: temperatura, estrés y datos acústicos.
- ▶ Método rentable y fácil de implementar.

Red de monitoreo por fibra óptica

- ▶ Emplear las redes nacionales de fibra óptica existentes
- ▶ Emplear sistemas de interrogación y áreas de medición estratégicos.

Red Nacional de Fibra Óptica

CFE
Comisión Federal de Electricidad



Proyecto: "Billion Sensors Earthquake Observatory"

Trabajo por realizarse

- ▶ Revisión de diferentes configuraciones de sensores de fibra óptica existentes: esfuerzo (compresión, tensión) en estructuras civiles, presión, ondas acústicas.
- ▶ Analizar configuraciones puntuales, cuasi-distribuidos, distribuidos.
- ▶ Implementación en redes existentes de fibra óptica.
- ▶ Obtener infraestructura y financiamiento.

Agradezco su atención