

Buscando terremotos desde el aula

Looking for earthquakes in the classroom

JORDI DÍAZ

ICTJA-CSIC, c/Solé Sabarís sn, 08028 Barcelona. E-mail: jdiaz@ictja.csic.es

Resumen Presentamos un taller desarrollado por el ICTJA-CSIC para dar a conocer a los alumnos de secundaria los conceptos básicos de la propagación y registro de las ondas sísmicas. Se utiliza un sismómetro, diseñado específicamente para tareas de divulgación, que se instala en el centro educativo durante un periodo de unas semanas. Si se producen terremotos grandes con epicentro en cualquier lugar del planeta, o bien seísmos locales cercanos al centro, este aparato es capaz de registrarlos directamente en el aula, lo que permite que los alumnos se impliquen de una manera más personal en el estudio de la sismicidad.

Palabras clave: Sismómetro, terremoto, taller, ESO, bachillerato.

Abstract *We present here a workshop developed at the ICTJA-CSIC and aimed at making secondary school students familiar with the basic ideas of propagation and recording of seismic waves. We use a seismometer, specifically designed for science popularization, that is kept in the school for several weeks. If large earthquakes worldwide or local events located near the school do occur, this instrument allows to record them directly in the classroom. Hence, the students get involved in the study of seismicity in a more personal way.*

Keywords: *Seismometer, earthquakes, high school, workshop.*

INTRODUCCIÓN

El Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (ICTJA), perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), ha venido prestando en los últimos años una atención creciente a la divulgación científica, con el objetivo de dar a conocer al público su actividad investigadora, centrada en el estudio de nuestro planeta mediante múltiples metodologías geológicas y geofísicas. Podemos citar en este sentido la elaboración de material divulgativo específico, como el CD-Rom “GeomarCD”, el mantenimiento de páginas web desde donde dar a conocer tanto material propio como enlaces relevantes para el estudio de las Ciencias de la Tierra (<http://www.ictja.csic.es/edt/Divulga/>), la participación en eventos de carácter divulgativo o los contactos regulares con los medios de comunicación de masas, de forma especial con espacios de carácter divulgativo. En este contexto se ha desarrollado el taller “Buscando terremotos”, en el que se centra este trabajo.

El desarrollo de todas las ciencias de carácter experimental está directamente relacionado con la invención de los aparatos de observación y medida apropiados. Podemos decir que, al disponer de estos instrumentos, la forma de afrontar la actividad investigadora pasa de un enfoque filosófico, centra-

do en las ideas, a un enfoque científico, en el que, a partir de observaciones del mundo real se formulan, validan o rechazan diversas hipótesis para explicar los fenómenos físicos. A modo de ejemplos clásicos podemos citar la aparición, en el siglo XVII, de los primeros telescopios y microscopios, que impulsaron de forma decisiva el avance de la Astronomía o de la Biología. Como veremos en la siguiente sección, la aparición del sismómetro, instrumento clave para la sismología, fue mucho más tardía, ya que hubo que esperar hasta finales del siglo XIX.

En este taller se pretende dar a conocer los aspectos básicos de la propagación de las ondas sísmicas a partir de las observaciones obtenidas por un sismómetro instalado provisionalmente en el centro educativo. Finalmente se presentan el planteamiento y objetivos pedagógicos del taller y se comentan las diversas etapas en que está dividido.

SISMÓGRAFOS: UN POCO DE HISTORIA

Si bien hay noticias de dispositivos destinados a medir los efectos de los terremotos en la China del siglo II antes de Cristo, la aparición del instrumento paradigmático de la sismología, el sismómetro, se produce de forma muy tardía, entre el final del siglo XIX y las

primeras décadas del siglo XX. Ello se debe en buena medida a que la comprensión sobre cómo se propagan los efectos de los terremotos no se alcanzó hasta la segunda mitad del siglo XIX, cuando el geólogo e ingeniero irlandés R. Mallet estableció el concepto de onda sísmica. Hasta entonces el hecho bien conocido de que los efectos de un terremoto se pueden sentir a distancias lejanas de su punto de origen se intentaba explicar con teorías propuestas por algunos de los más grandes filósofos, basadas en supuestos “vientos subterráneos” (Aristóteles) o en la vaporización de agua en contacto con fuegos subterráneos (Descartes). La aparición de los primeros instrumentos capaces de registrar el movimiento sísmico no llega pues hasta la segunda mitad del siglo XIX y se produce básicamente en Italia, con el objetivo de estudiar la actividad del Vesubio. En 1889 se consigue registrar en Potsdam un terremoto con epicentro en Japón, en lo que suele considerarse el primer sismograma. Sin embargo el instrumento utilizado estaba ideado con el objetivo de detectar las oscilaciones de las mareas para efectuar correcciones en las medidas astronómicas. Los primeros sismómetros modernos nacieron alrededor del 1900 en Alemania y se basaban en péndulos mecánicos, lo que implicaba disponer de una masa inercial muy grande, de hasta 9 Tm. Equipos de estas características se instalaron en los principales observatorios existentes, entre los que cabe mencionar el Observatorio de Toledo y el Observatorio del Ebro. Ya en 1910, Galitzin presenta el primer sismómetro basado en el fenómeno de la inducción electromagnética, lo que permite utilizar equipos de menores dimensiones y abre el camino para el gran desarrollo de la sismología en la primera mitad del siglo XX, que permite, por primera vez, deducir del análisis de los registros la estructura interna de la Tierra (Shearer, 1999).

PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS DEL TALLER

El objetivo de esta actividad es dar respuesta, desde una óptica científica, a algunas de las principales preguntas que los estudiantes de ESO y bachille-

rato suelen plantearse en el ámbito de la sismología: dónde y porqué suceden los terremotos, cuál es su frecuencia, cómo los podemos registrar, cómo los localizamos y cómo se mide su magnitud etc. También se introducen aspectos menos conocidos relacionados con la propagación de las ondas sísmicas, como su utilidad científica para investigar la estructura y dinámica interna de nuestro planeta. Para dar relieve al peso de la instrumentación en el desarrollo científico, el taller se basa en la utilización de un sismómetro desarrollado especialmente con fines educativos por el Servicio Geológico del Reino Unido (Denton, 2008) que permite, por una parte, visualizar de forma clara los principios físicos en los que basa la observación y, de otro lado, obtener registros de calidad en el centro educativo, haciendo partícipes de la actividad investigadora al alumnado. La actividad se realiza por un investigador en activo, lo que permite crear vínculos entre los centros educativos y los de investigación.

ASPECTOS PEDAGÓGICOS DEL PROYECTO

Este taller permite trabajar diversos aspectos pedagógicos, que pueden modularse en función del nivel del alumnado. Sin duda los aspectos más relevantes hacen referencia al temario de Ciencias de la Tierra, pero el taller permite trabajar también temas relacionados con la Física e incluso con el medio social y natural. Es aconsejable, por tanto, que esta actividad se realice de forma coordinada con otras asignaturas.

Respecto a las Ciencias de la Tierra, se discuten temas como la estructura interna de la tierra y su diferenciación en corteza, manto y núcleo, la teoría de la Tectónica de Placas y en particular la relación entre la sismicidad y los límites de placas o las características de las fallas normales, inversas y de salto en dirección. Finalmente, se incide en cómo pueden usarse las propiedades de propagación de las ondas sísmicas para explorar la estructura litosférica a nivel global o para la identificación de recursos minerales

Por lo referente a la Física, el taller permite hacer observaciones referentes a la ley del péndulo, tales

Fig. 1. Sismómetro SEP.



El instrumento utilizado (Fig. 1) es un péndulo horizontal equipado con un sistema detector basado en el fenómeno de la inducción electromagnética. La señal obtenida se amplifica y se convierte a digital, tras lo cual se pasa a un ordenador personal, equipado del software adecuado para su visualización, análisis y almacenamiento. El periodo propio del sensor, cercano a los 12 segundos, lo hace apropiado para el registro de seísmos lejanos. De este modo es posible registrar (en función del nivel de ruido existente) eventos de magnitud superior a 6.5 originados en cualquier punto del planeta. Se puede adquirir en la red en forma de “kit”, incluyendo todos los elementos necesarios, lo que facilita mucho la realización del taller (http://www.mindsetsonline.co.uk/product_info.php?products_id=9047).

Este tipo de instrumentos podrían construirse en el aula a partir de materiales simples, si bien no es tan sencillo lograr un aparato que sea plenamente operativo y que pueda visualizarse en el ordenador. Una buena recopilación de “recetas” para la construcción de este tipo de instrumentos puede encontrarse en <http://www.seismicnet.com/infoeqip.html>.

como la relación periodo propio/longitud o la longitud efectiva de un péndulo compuesto. Permite también ver una aplicación práctica del fenómeno de la inducción electromagnética, al poder verificar como el movimiento de una bobina en el interior de un campo magnético genera una corriente inducida. Finalmente, el taller da pie a discutir los temas referentes a la propagación de ondas elásticas (reflexión y refracción, tipos de ondas, velocidades de propagación).

DESARROLLO DEL TALLER

El desarrollo del taller consta de tres fases bien diferenciadas. En una primera sesión, se instala el sismómetro en el centro educativo y se presentan los conceptos básicos sobre la sismología y sobre el instrumento mediante una charla. En la segunda fase el instrumento queda operativo en el centro adquiriendo datos en tiempo real. En la tercera y última fase se analizan conjuntamente con el alumnado los registros obtenidos. Con anterioridad a la realización del taller es fundamental establecer una comunicación fluida entre el investigador a cargo del taller y el equipo docente del centro, tanto para ajustar el nivel de la charla como para que los docentes recojan las principales dudas y preguntas relacionadas con la sismología.

Primera sesión: instalación del sismómetro e introducción a los conceptos básicos de la Sismología

Esta fase comienza por el montaje del instrumento y del software necesario para su utilización. En general esta actividad se lleva a cabo sin la presencia del alumnado, aunque, si el grupo es reducido y hay disponibilidad horaria, se puede también implicar a los alumnos, dado que la complejidad del montaje es escasa. La charla se inicia recogiendo las preguntas formuladas por el alumnado en la sesión previa, que suelen centrarse en el porqué, el cuándo y el cómo suceden los terremotos. Se pone énfasis en la explicación física del fenómeno sísmico, dejando en segundo plano los aspectos sociales, dado que estos suelen centrar la atención de los medios de comunicación y son por ello más conocidos por el alumnado. El desarrollo de la charla incluye una explicación visual de cómo se genera un terremoto y de cuáles son sus efectos sobre el terreno. A continuación se enmarca la actividad sísmica dentro de la teoría de la Tectónica de placas. Para ello se recurre a software específico que permite visualizar la ubicación de los grandes terremotos en el planeta, así como mostrar el hecho de que la actividad sísmica es consustancial con la dinámica de la Tierra y no debe pues tomarse como un hecho excepcional. Para un análisis posterior de la sismicidad mundial, existen varias páginas web que ofrecen información sobre la actividad sísmica en el Planeta casi en tiempo real (<http://www.iris.edu/seismon/>).

Se introduce el fenómeno de la propagación de las ondas sísmicas a través del planeta utilizando

el software público “Seismic Waves” (<http://pods.binghamton.edu/~ajones/#Seismic%20Waves>), que permite una visualización gráfica de las principales características de esta propagación. Una vez se han presentado las ondas sísmicas, se plantea entonces cómo registrar esta actividad.

En este momento se presenta de forma detenida el sismómetro instalado en el aula, haciendo hincapié en los fenómenos físicos en los que se basa y relacionando el instrumento con aparatos mucho más cercanos al alumnado pero basados en los mismos principios, desde los sensores del airbag de los coches hasta las consolas con rotación automática de la imagen, pasando por la pastilla de las guitarras eléctricas. Se observa entonces el registro del instrumento en tiempo real, invitando a los alumnos a generar sus propios “terremotos” mediante el registro de uno o más saltos, lo que suele provocar un ambiente menos formal que facilita el diálogo entre los estudiantes y los investigadores. Finalmente, se expone como el hecho de que el análisis detallado de las peculiaridades de su propagación constituye una de las principales herramientas disponibles para investigar la estructura y dinámica interna de nuestro planeta.

Segunda fase: Registro de la actividad sísmica

Una vez todo el equipo está configurado y en marcha, se deja en depósito en el centro durante un periodo de 3 o 4 semanas. En la medida de lo posible, se recomienda encontrar una ubicación cercana al nivel de suelo y alejada de motores, calderas y otras fuentes continuas de vibraciones (Fig. 2). El investigador muestra al responsable del equipo do-

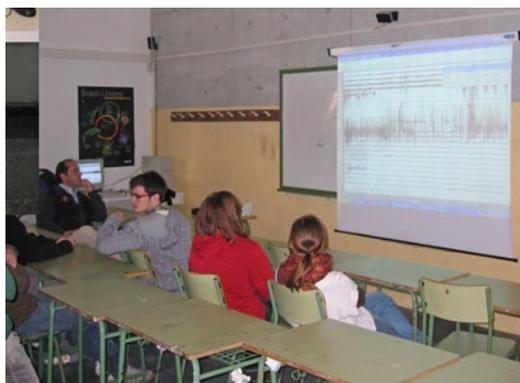
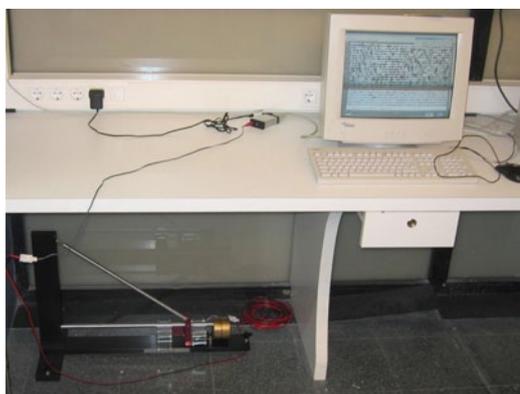


Fig. 2. El sismómetro en el aula.

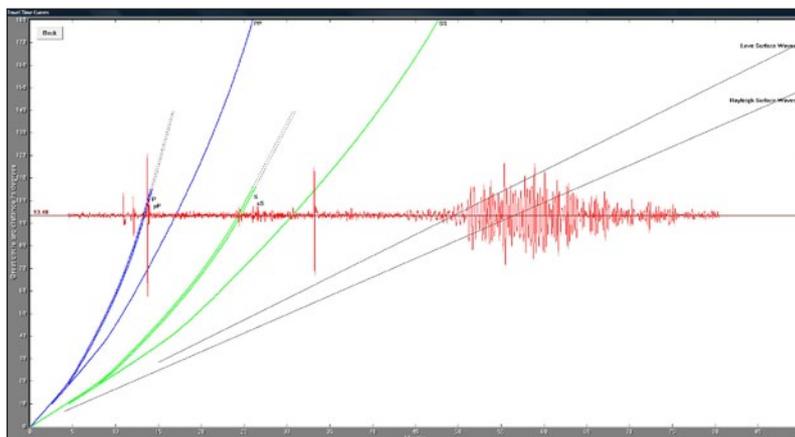
Fig. 3. Página web del IGN



cente como intervenir en el equipo en el caso de que un golpe accidental pueda dejarlo fuera de uso. El registro puede hacerse mediante un ordenador del centro o a través de un ordenador portátil proporcionado por el investigador. Existe la posibilidad de habilitar la red informática del centro para visualizar el registro en tiempo continuo en un segundo ordenador instalado en un laboratorio o en una sala de informática, de manera que el alumnado no pierda el contacto con el taller durante el tiempo de registro.

Durante este periodo, se anima al equipo docente a mantenerse informado de los terremotos de magnitud importante (magnitud > 6.5 a nivel mundial o > 4.5 en la Península Ibérica) que se produzcan, mediante la consulta de las páginas web que monitorizan la actividad sísmica a escala global. (http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/quakes_big.php, <http://www.emsc-csem.org/#2>). Dadas las características provisionales de la instalación, hay que tener en cuenta que las posibilidades de obtener registros de calidad son limitadas, especialmente si la actividad sísmica se produce durante las horas diurnas, dado que en las horas de más actividad humana, el tráfico rodado, los motores, los sistemas de calefacción/refrigeración o el propio movimiento del alumnado por el centro generan un nivel de vibraciones en el suelo

Fig. 4. Identificación de las diversas fases sísmicas en un registro obtenido en aula.



que es suficiente para enmascarar las señales sísmicas (ruido sísmico). El contacto entre el equipo docente y el investigador responsable del taller se mantiene mediante el e-mail o teléfono, procurando resolver las incidencias que puedan presentarse.

Tercera fase: Conclusiones

La tercera fase del taller se realiza después de unas 3 o 4 semanas de la instalación del sismómetro. Este intervalo resulta adecuado, ya que permite tener una probabilidad razonable de registrar eventos y permite que el alumnado mantenga vivo el interés en el taller. Antes de empezar la sesión, resulta recomendable reservar un tiempo para inspeccionar los datos. En función de si se han podido o no registrar eventos sísmicos regionales o globales, el desarrollo de la sesión se modifica, focalizándola en la búsqueda de esas señales o bien centrando la atención en las variaciones temporales en el registro sísmico. Como se ha comentado anteriormente, el grado de actividad antrópica tiene un reflejo directo en el nivel de ruido sísmico, es decir, en la intensidad media de la señal registrada. Ello permite observar en los registros sísmicos las variaciones entre el día y la noche, los fines de semana y los días laborables, los periodos de cambio de aulas en el centro etc.

La sesión empieza invitando a los alumnos a buscar los eventos que hayan podido registrarse, para lo cual conviene disponer de una conexión en tiempo real a la red. Este proceso puede realizarse en grupos, lo que facilita la interactividad y permite al alumnado sensibilizarse de forma directa con el nivel de actividad sísmica en el planeta. Utilizando los principales servicios de localización epicentral disponibles en la web (Fig. 3), se identifica el evento con más probabilidades de haber sido registrado, teniendo en cuenta fundamentalmente su magnitud y su región epicentral. Aunque no hay una regla fija, es esperable registrar terremotos de magnitud superior a 6.5 / 7 que ocurran en cualquier lugar del planeta así como seísmos de magnitud superior a 5 / 6 con epicentro en Europa o el Norte de África. A continuación, utilizando herramientas como "Google Earth", se busca la distancia entre el epicentro y el lugar de registro. Conociendo la distancia, el tiempo origen del terremoto y una tabla de tiempos de propagación, se identifica el intervalo de tiempo en el cual debería haberse registrado la señal. Finalmente, se muestra cómo desplazarse a través del registro sísmico hasta localizar y seleccionar este periodo y se presenta el resultado obtenido. Si el tiempo lo permite se puede discutir la presencia de diversas fases sísmicas, analizar las diferencias en contenido frecuencial en la señal o discutir otros aspectos de los resultados (Fig. 4.).

Como actividad complementaria se presentan diversos recursos online, (http://www.sciencecourseware.org/eec/Earthquake_es/, <http://www.geology.sdsu.edu/visualgeology/geology101/index>).

htm) que permiten reproducir de forma virtual el proceso de localización epicentral.

Tal y como se ha comentado previamente, en caso de no haberse obtenido registros claros, la atención se dirige hacia las variaciones del nivel de ruido de la señal, invitando al alumnado a plantear hipótesis sobre las razones que pueden explicar estas variaciones.

Una vez finalizada la sesión, los datos quedan a disposición del centro para poder destinar más tiempo a la búsqueda de otros registros, elaborar un informe de la actividad etc. Se ofrece así mismo una página web de soporte (<http://www.ictja.csic.es/edt/Divulga/Recursos1.html>) donde se resumen los principales recursos online relacionados con la actividad, incluyendo catálogos sísmicos online, guías para la construcción de sismómetros, software de acceso libre etc.

CONSIDERACIONES FINALES

El taller “Buscando terremotos” ofrece una buena oportunidad para introducir a los alumnos de secundaria en el mundo de la sismología a través del uso directo de un sismómetro instalado en el aula. La idea es implicar al alumnado en la obtención y análisis de sus propios registros sísmicos, lo que pretende servir para captar su interés por este campo. En función de los objetivos de cada centro, se pueden priorizar aspectos pedagógicos diversos, desde la física a geología, pasando por aspectos sociales o por la aplicación práctica del método científico (observación, planteamiento de hipótesis, validación o negación). Los centros interesados en el taller pueden contactar directamente con el autor para programar la actividad.

Cabe mencionar que actualmente se ha solicitado financiación para crear una red permanente de sismómetros en centros educativos, a semejanza de las existentes en países como Reino Unido, Francia o Estados Unidos. El establecimiento de esta red facilitaría que los alumnos pudieran localizar con sus propios datos los eventos regionales que sucedan, incrementando así el interés pedagógico del proyecto. Por otro lado, el disponer de un equipo permanente haría posible que el alumnado de cada uno de los centros implicados tuviera ocasión de realizar las actividades de forma continua. Esta red pretende sumarse a otras redes científicas educativas ya existentes, como la red de instrumentación meteorológica Edumet (Costa y Mellado, 2008), reproduciendo el éxito conseguido por ellas.

BIBLIOGRAFÍA

Costa, M. y Mellado, J. (2008). La xarxa Edumet: meteorología en directe sense moure's de l'aula. *Ciències*, 9, 7-10.

Denton, P. (2008). Seismology in schools: 10 years on. *Astronomy and Geophysics*, 49, 6.13-6.14

Sellés, J. y Bonán, L. (2000). Problemas de enseñanza-aprendizaje del tema mecanismos focales. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8.1, 54-61.

Shearer, P.M. (1999). *Introduction to Seismology*. Cambridge University Press, Cambridge, MA.

PARA SABER MÁS:

Sismología en la escuela:

UK school seismology project | 'real science with real data' | British Geological Survey (BGS) <http://www.bgs.ac.uk/schoolseismology/schoolSeismology.cfc?method=viewLatestQuake>

Seismology in Schools - Irlanda
<http://www.dias.ie/sis/>

IRIS Seismographs in Schools - USA
<http://www.iris.edu/hq/sis>

SISMOS à l'École - França
<http://www.resif.fr/sis-ecole.php>

Terremotos en la red:

IRIS Seismic Monitor <http://www.iris.edu/seismon/>
Instituto Geográfico Nacional - <http://www.ign.es/ign/layout/sismo.do>
Live Internet Seismic Server <http://earthquake.usgs.gov/monitoring/>
Virtual Earthquake <http://www.sciencecourseware.com/virtualearthquake/>

Recursos educativos:

ORFEUS: Educational seismology links
<http://www.geofys.uu.se/lz/myweb/seismology.educational.shtml>
IRIS - For Educators
<http://www.iris.edu/hq/audience/educators>
Learn (USGS Earthquake Hazards Program) <http://earthquake.usgs.gov/learn/>
Teach the Earth (SERC portal) Docs Pedagogiques EOST Strasbourg
<http://eost.u-strasbg.fr/pedago/Accueil.html>
This Dynamic Earth--Contents [USGS]
<http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic.html>
Plates Project
<http://www.ig.utexas.edu/research/projects/plates/index.htm> ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 19 de mayo de 2011 y aceptado definitivamente para su publicación el 15 de julio de 2011.