

## PROYECTO: ONDAS SÍSMICAS. Pequeña introducción a la lectura de un sismograma

*La única utilidad inmediata de todas las ciencias es enseñarnos cómo controlar y regular acontecimientos por medio de sus causas.*

David Hume

### En este documento que vas a encontrar:

Introducción / Objetivo General de la Unidad / Dónde encuadrar esta actividad en el currículo oficial / Metodología a seguir / Productos / Temporalización / Evaluación / Referencias /

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto acerca al alumnado al terreno de la geofísica. Al estar asociado a la asignatura optativa de Cultura Científica, lo hará desde una perspectiva más divulgativa y menos academicista, con poco rigor matemático pero muy asociado al uso de las TIC. La diversidad de herramientas y simuladores tecnológicos permite profundizar en la comprensión conceptual respecto al punto base establecido por el currículo, sin para ello, exigir, ni siquiera, una mínima base de destreza matemática. Con ello se pretende sortear una de las mayores pegadas que ofrecen los estudiantes de disciplinas humanísticas y de ciencias sociales a la elección de asignaturas de corte más científico – tecnológico

¿Qué relación existe entre un terremoto y las ondas sísmicas que provoca? Sin duda, conocer uno de los dos sucesos desemboca en información sobre el otro, y viceversa. Este proyecto se centra en el registro palpable de uno de ellos: los sismogramas. A través de la lectura de las ondas sísmicas en los sismogramas, los científicos han conseguido extraer numerosa información acerca de la composición interna de la Tierra y de la forma, estructura, origen y localización de los procesos que las provocan, los terremotos. Dada la complejidad de la correcta lectura de un sismograma, el presente proyecto solo pretende abordar superficialmente la lectura de un sismograma (algo propio del entorno universitario) a partir de su relación con la localización geográfica de la causa que las producen: los terremotos. Esa será la actividad final.

La relación entre las ondas sísmicas y su causa ha de ser contextualizada. Por ello, las primeras sesiones, de un carácter más teórico, se dedican al conocimiento de la geosfera, en sus vertientes del modelo estático y dinámico, así como de la explicación de los parámetros que caracterizan a un terremoto. No obstante, al no ser el objetivo de este proyecto el exclusivo contenido teórico, sino también el manipulativo, rápidamente se pasa a sesiones dedicadas al manejo de las herramientas tecnológicas que posibiliten el aprendizaje a través de la manipulación

Las herramientas y simuladores empleados provienen, en su mayor parte, del grupo IRIS [1] (Incorporated Research Institutions for Seismology) un consorcio de investigación formado por numerosas universidades del mundo que contiene una de las mayores bases de terremotos registrada, junto a sus sismogramas asociados. Su vertiente educativa [2] es amplia y goza de multitud de simulaciones de eventos propios de la geofísica, de carácter gratuito, de los cuales se han implementado varios durante las sesiones para potenciar la visualización y comprensión de conceptos abstractos. Además de IRIS, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) [3] así como el Instituto Geográfico Nacional (IGN) [4] también aportan registro de actividad sísmica útil, tanto en su vertiente educativa como la de investigación

## 2. OBJETIVO GENERAL DE LA UNIDAD DIDÁCTICA

El objetivo general de la Unidad Didáctica consiste en familiarizar al alumnado de primero de Bachillerato de la asignatura optativa de Cultura Científica con la geosfera, y en particular, con uno de los fenómenos que en ella se da: los terremotos. Para hacerlo, se establecen tres perspectivas y/o bloques conceptuales, de modo que el docente que pretenda emplear el siguiente material, pueda secuenciar cualesquiera de ellos de una forma indistinta, pero, a su vez, correlativa (siendo en este proyecto conveniente su aplicación conjunta):

- Contextualización conceptual: geosfera y parámetros de un terremoto
- Registro de sismos de IRIS. Herramientas y manejo
- Ondas sísmicas. Sismograma y epicentro de un terremoto

La temporalización de cada uno de los bloques no exige de más de una, dos o a lo máximo, tres sesiones; de modo que puedan implementarse rápidamente, pero, que, a su vez, promuevan un incentivo conceptual al alumnado. Se trata de otorgar al docente material complementario del que pueda disponer y secuenciar, sin que eso le conlleve una demora en otros aspectos del currículo oficial

En este caso, los bloques están fuertemente interrelacionados. El primer bloque aporta el soporte conceptual, mientras que el segundo detalla el soporte tecnológico. Ambos deben ser puestos en práctica durante las sesiones propias del tercer bloque

## 3. ENCUADRE EN EL CURRÍCULO OFICIAL

Los contenidos acerca de la Tierra y la vida se encuentran dentro del currículo propuesto para la asignatura de Cultura Científica en 1º de Bachillerato

Según el Real Decreto por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato 1105/2014 del 26 de diciembre [5] y del Decreto 52/2015 de la Comunidad de Madrid [6] que establece el currículo de Bachillerato para la Comunidad de Madrid, las ondas sísmicas se enmarcan dentro del bloque 2. *La Tierra y la vida* de la asignatura de Cultura Científica de 1º de Bachillerato

A su vez, todo ello se especifica dentro de dicho bloque, en los Criterios de Evaluación 2 y 3, así como en los estándares de aprendizaje 2.1 y 3.1

2.1 Utiliza la tectónica de placas para explicar la expansión del fondo oceánico y la actividad sísmica y volcánica en los bordes de placa

3.1 Relaciona la existencia de diferentes capas terrestres con la propagación de las ondas sísmicas a través de ellas

Esto permite pautar y desarrollar los contenidos aquí propuestos en concordancia con la ley educativa presente

Los contenidos se implementan coordinados con criterios de evaluación propios de un bloque más transversal asociados al uso de herramientas tecnológicas y de valoración de la información científica descritos en el Bloque 1. *Procedimientos del trabajo*

#### 4. TEMPORALIZACIÓN POR SESIONES

El desarrollo de las sesiones incluye tanto los contenidos temporalizados, como las herramientas didácticas asociadas para alcanzar el aprendizaje significativo del alumno

Durante la implementación de las sesiones, se parte desde cero, sin asociar nivel alguno inicial para el alumno. Si bien, algunos de los contenidos pueden encontrarse en el currículum en niveles básicos de secundaria (1º E.S.O.), dado el carácter de asignatura optativa, se opta por comenzar los mismo desde el inicio y que no suponga perjuicio alguno al alumnado, aunque sea de la especialidad humanística o de ciencias sociales

Cada sesión está plantada para una duración de unos 50 minutos, si bien su tiempo de aplicación deberá ser fijado exclusivamente por el docente que aplique estos materiales en el aula

##### SESIÓN 1. GEOSFERA. Modelo estático y dinámico

Se define la geosfera como la parte sólida del planeta Tierra. Su estudio comprende las conocidas capas de núcleo, manto y corteza; si bien puede caracterizarse de distintos modos en función de los factores que predispongan su estudio. La geosfera es la capa mayoritaria del planeta, y sobre ella se sitúan las restantes capas de la hidrosfera, la biosfera y la atmósfera

La geosfera se expande desde la superficie de la Tierra hasta los 6370 km de profundidad. Este valor no es exacto, siendo solo una aproximación al planeta como esfera. Su forma real, denominada geoide, no es una esfera perfecta, de modo, que no desde todos los puntos de la superficie el radio del planeta es el valor exacto y preciso de los 6370 km.

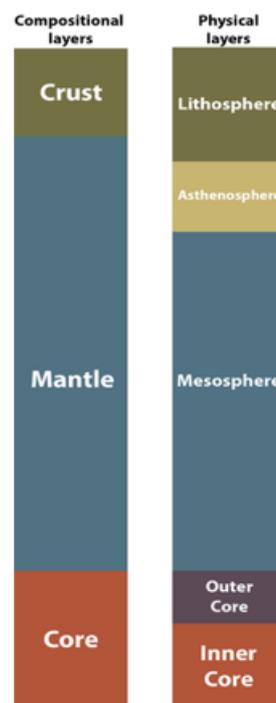
Salvando las discontinuidades y las inhomogeneidades existentes en el interior de la Tierra, tanto la presión como la densidad aumentan a medida que se profundiza en su interior. Este proceso no es similar con otras magnitudes. Algunos coeficientes que describen la física de la materia que compone el interior de la Tierra fluctúa no siguiendo una proporcionalidad directa con la profundidad, de modo que no resulta posible establecer una generalización sencilla

Siguiendo una estructura debido al comportamiento de las rocas, se pueden distinguir cuatro capas: litosfera, astenosfera, mesosfera y endosfera. Estas capas se corresponden con la estratificación reológica de la Tierra, basada en las propiedades físicas de sus componentes

Por otra parte, existe otra clasificación en función de la composición de los materiales. En ella se distinguen tan solo tres capas: corteza, manto y núcleo. Pudiendo, a su vez, subdividir esta última en el núcleo externo, de carácter líquido y el núcleo interno, sólido.

Ambas distribuciones mantienen puntos de convergencia, dado que la composición de los materiales ayuda a determinar las propiedades físicas de los mismos. En el gráfico de la derecha, se puede observar que el manto se corresponde en gran parte con la mesosfera, y el núcleo, incluyendo tanto el núcleo externo como el interno con la endosfera

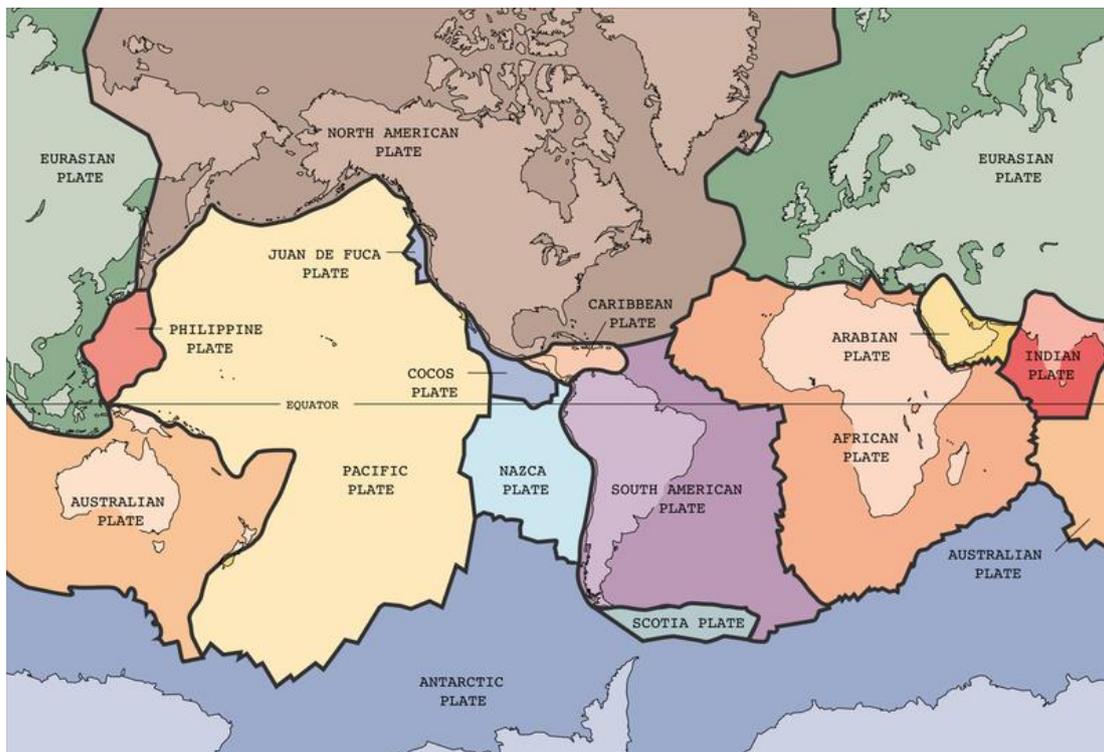
La principal diferencia radica en la litosfera y la astenosfera, ya que ambas capas se expanden desde la corteza hasta la parte superior del manto superior.



Capas de la Tierra. CCA 3.0  
Wikimedia Commons

**Modelo dinámico.** Según el comportamiento de los materiales se pueden distinguir las siguientes capas:

**Litosfera.** Se trata de la capa más superficial. Puede extenderse desde unos pocos kilómetros de profundidad (10 km en las zonas más delgadas de la corteza oceánica) hasta los pocos cientos de kilómetros. En comparación al modelo estático su rango incluye la corteza y la parte superior del manto superior



Placas tectónicas. De dominio público. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tectonic\\_plates.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tectonic_plates.png)

La litosfera constituye la capa límite térmica de la Tierra. Se trata de una capa fría y rígida que se corresponde con las denominadas placas tectónicas. Existen siete grandes placas tectónicas, que, a su vez, se rodean de menores placas tectónicas o subdivisiones de las mismas. Son la euroasiática, norteamericana, sudamericana, pacífica, africana, australiana y antártica. No obstante, no todas ellas presentan la misma actividad sísmica y volcánica, asociada a su velocidad de traslación

En general, la actividad sísmica y volcánica se centra en los bordes de placa; si bien, también existen otros fenómenos como la sismicidad intraplaca o el vulcanismo asociado a los hot spots que pueden llegar a ser de relevancia. Durante las próximas sesiones se volverá e incidirá en este punto

**Astenosfera.** Se corresponde a la capa de baja velocidad sísmica que se haya en el nivel inmediatamente inferior a la litosfera. Su carácter más plástico (de roca sólida, pero fundida), permite el movimiento horizontal de la litosfera, y, por tanto, de las placas tectónicas sobre ella. Su límite no está bien definido, pero se cree que puede alcanzar hasta los 700 km de profundidad, profundidad desde la cual ya no se detectan terremotos

Algunos autores cuestionan la existencia de la astenosfera, explicando el movimiento de las placas tectónicas a través de la transmisión de energía por corrientes de convección en el manto

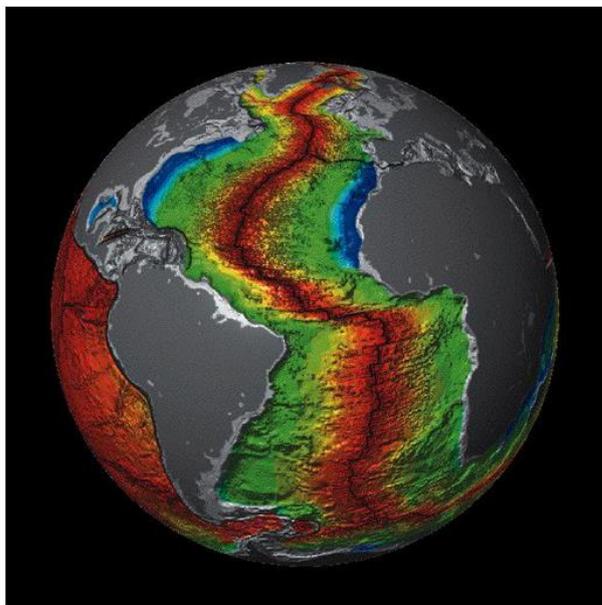


**Modelo estático.** Según la composición de los materiales se pueden distinguir las siguientes capas:

**Corteza.** Capa más externa y conocida. Su profundidad es variable en función del tipo de corteza, siendo el límite de todas ellas la discontinuidad de Mohorovic, donde comienza el manto.

Se pueden distinguir tres tipos de corteza:

- **Corteza oceánica.** Corteza y de menos espesor y edad. Su espesor puede alcanzar desde los 6 hasta los 10 km, con una fina capa de sedimentos por encima de ella. Está formada por roca volcánica, principalmente basalto. Presenta gran actividad volcánica en las dorsales, estando su actividad sísmica delimitada en su mayor parte, a los bordes de placa
- **Corteza continental.** Corteza de mayor espesor y antigüedad que la corteza oceánica. Su espesor puede alcanzar hasta los 30 km de profundidad, con una gruesa capa de sedimentos por encima de ella de hasta 5 km. En su parte más inferior abundan las rocas de tipo metamórfico e ígneo. Presenta menor actividad ígnea pero una mayor actividad sísmica asociada a las fallas
- **Corteza orogénica.** Corteza de mayor espesor donde no se pueden encontrar zonas jóvenes. Se delimita a zonas concretas donde su rango se puede expandir hasta los 60 -70 km de profundidad.



Corteza del océano Atlántico. En rojo la corteza más joven y en verdes la más antiguas. La corteza se origina en las dorsales oceánicas y se expande por el fondo oceánico

De dominio público. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atlantic\\_Oceanic-Crust.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atlantic_Oceanic-Crust.jpg)

**Manto.** Zona de profundidad intermedia que ocupa el mayor porcentaje de volumen del planeta. El manto está formado principalmente por rocas que contienen gran cantidad de silicatos, como el olivino o la perovskita. Conforme aumenta la profundidad se van produciendo rocas más densas debido al aumento asociado de la presión. A pesar de mantener una composición semejante, los cambios de fase del material debido a la presión dan lugar a discontinuidades, más presentes en la parte superior del manto. El manto inferior es mucho más homogéneo

**Núcleo.** Zona de mayor profundidad, y densidad, que alcanza hasta el centro de la Tierra. A partir de la discontinuidad de Gutenberg desaparecen las ondas sísmicas transversales, las ondas S, lo cual está asociado a la presencia de un medio fluido por el cual estas no se propagan. Es el núcleo externo.

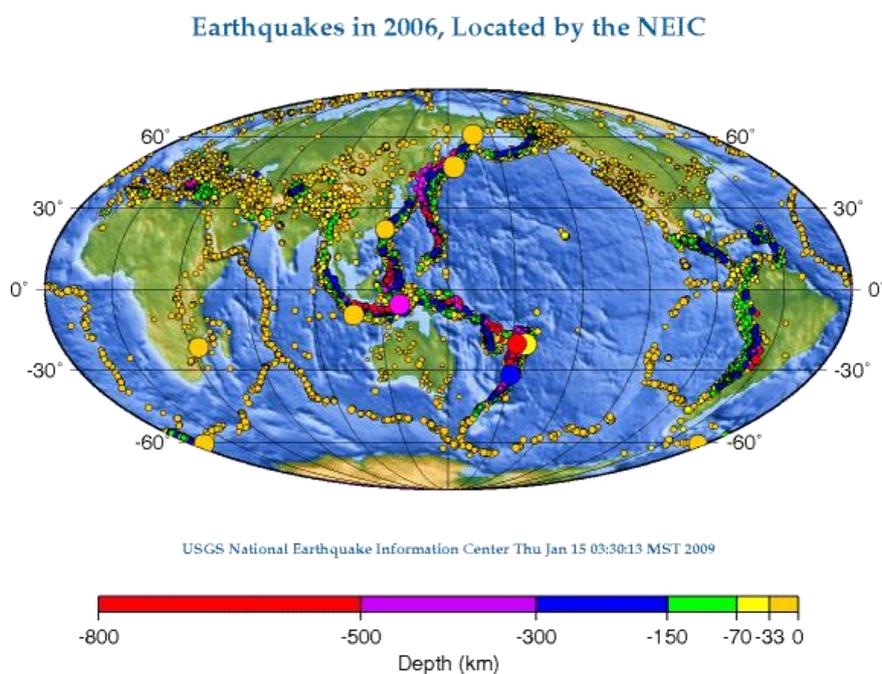
La zona de sombra desaparece sobre los 5100 km de profundidad, en la discontinuidad de Lehmann, origen del núcleo interno, sólido. A pesar de la elevada temperatura, el núcleo interno es sólido debido a la altísima presión existente a esa profundidad.

## SESIÓN 2. TERREMOTOS. Parámetros descriptores

Los terremotos son un fenómeno físico asociado a la tectónica de placas. Se definen como la liberación de energía en forma de ondas sísmicas debido a la acumulación de esfuerzos en el interior de la Tierra.

En función de su origen, los terremotos se pueden clasificar en:

- Tectónicos. Asociados a procesos tectónicos en el interior de la Tierra. Más del 90 % de los terremotos existentes son de este tipo. A su vez, en su mayor parte, son consecuencia directa del movimiento horizontal de las placas tectónicas, y, por tanto, dándose en mayor lugar en los bordes de las placas
- Volcánicos. Relacionados con procesos eruptivos de volcanes. Se distinguen a partir del régimen de frecuencia y del mecanismo, normalmente, asociado al colapso de la cámara magmática. Son de poca profundidad
- Artificiales o inducidos. Por ejemplo, en minas o embalses



Distribución de los terremotos en 2006. Se puede observar cómo convergen en los límites de placa.  
De dominio público. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earthquake\\_distribution\\_2006.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Earthquake_distribution_2006.png)

En función de su profundidad, los terremotos se pueden clasificar en:

- Superficiales. De profundidades menores a los 60 km
- Intermedios. Que alcanzan hasta los 300 km de profundidad
- Profundos. Su rango alcanza desde los 300 km hasta los 700 km, considerado el límite tectónico de este tipo de procesos

La distribución de los terremotos no es al azar. Como se puede observar en la imagen superior, en gran medida, coinciden con los bordes de placa. Los terremotos de carácter intermedio y profundo se distribuyen a partir de las zonas de subducción, denominadas zonas de Wadati-Benioff

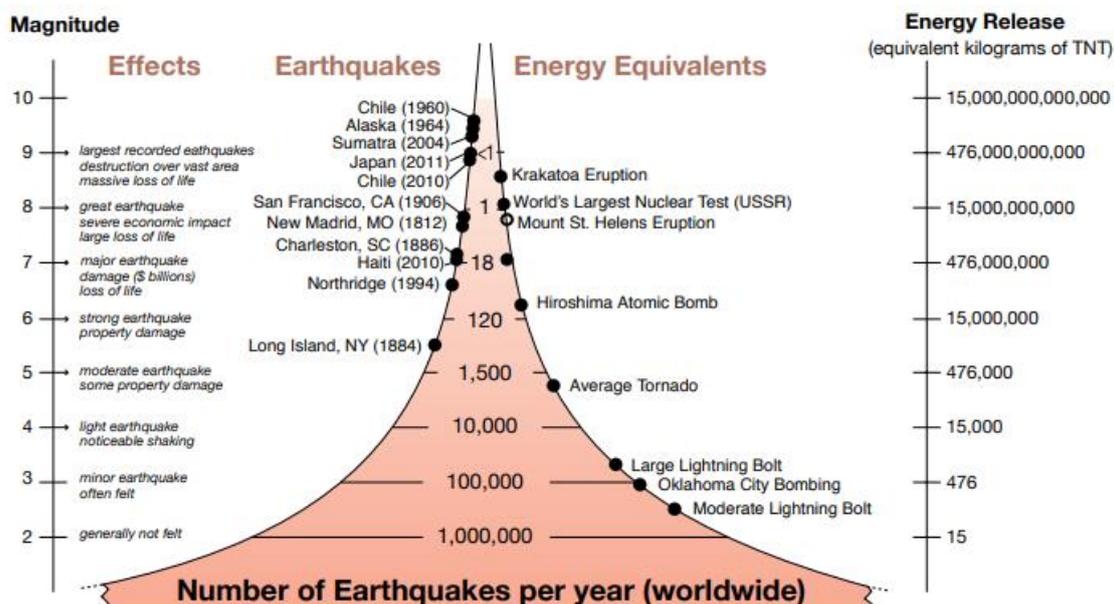
Existen multitud de parámetros que caracterizan a un terremoto. Para no dilatar demasiado el proyecto, este se centra, exclusivamente en dos de ellos, la localización y la medida del tamaño

Se denomina hipocentro el lugar del interior de la Tierra donde se produce la fractura y la consecuente liberación de energía. Si se prolonga este punto sobre la vertical hasta la superficie terrestre, se obtiene el epicentro. El hipocentro y el epicentro describen la localización del foco del terremoto

Medir el tamaño del terremoto es algo más complejo. Por supuesto, no se debe caer en la falta de rigor asociado a la terminología coloquial como la escala de Richter. La escala de Richter se trata de una magnitud definida en el siglo XIX, exclusiva para California, y a partir del uso del sismógrafo Gutt – Anderson, ya en desuso.

Actualmente, la medida más objetiva del tamaño del terremoto se realiza a través de la magnitud. La magnitud de un terremoto mide la energía liberada por el terremoto en su fractura. Existen, a su vez, varias escalas de magnitud; fundamentadas en una escala logarítmica (lo que implica que subir un grado de magnitud conlleva la existencia de un sismo que libera 10 veces más energía)

- Escala  $M_L$ . Se trata de la adaptación de la escala de Richter, que satura para terremotos de mediana magnitud, lo que hace que no sea útil para medir una magnitud superior a 4.
- Escala  $m_b$ . Escala basada en las ondas internas. Satura para magnitudes menores de 7
- Escala  $M_w$ . Escala empleada para los sismos de mayor magnitud, basada en los parámetros de fractura de la falla



Número de terremotos en función de su magnitud. Imagen elaborada por el consorcio IRIS.

[https://www.iris.edu/hq/inclass/fact-sheet/how\\_often\\_do\\_earthquakes\\_occur](https://www.iris.edu/hq/inclass/fact-sheet/how_often_do_earthquakes_occur)

Tampoco se debe confundir la magnitud de un terremoto con su intensidad. Ambos miden el tamaño de un terremoto, pero la intensidad lo hace a través de una perspectiva subjetiva. Este parámetro mide el tamaño del terremoto a partir de sus efectos, daños en sus edificios, en terrenos o cómo lo han percibido las personas. La única forma de asignar intensidad es asociarlo a algún efecto, no mediante ningún instrumental. La escala de uso actual en la UE es la escala EMS – 98, que divide la intensidad en XII grados, denominados en números romanos

Para finalizar la sesión, se realizan una serie de preguntas para testear el conocimiento que tiene el alumnado sobre los terremotos, incluso en su ámbito más cercano

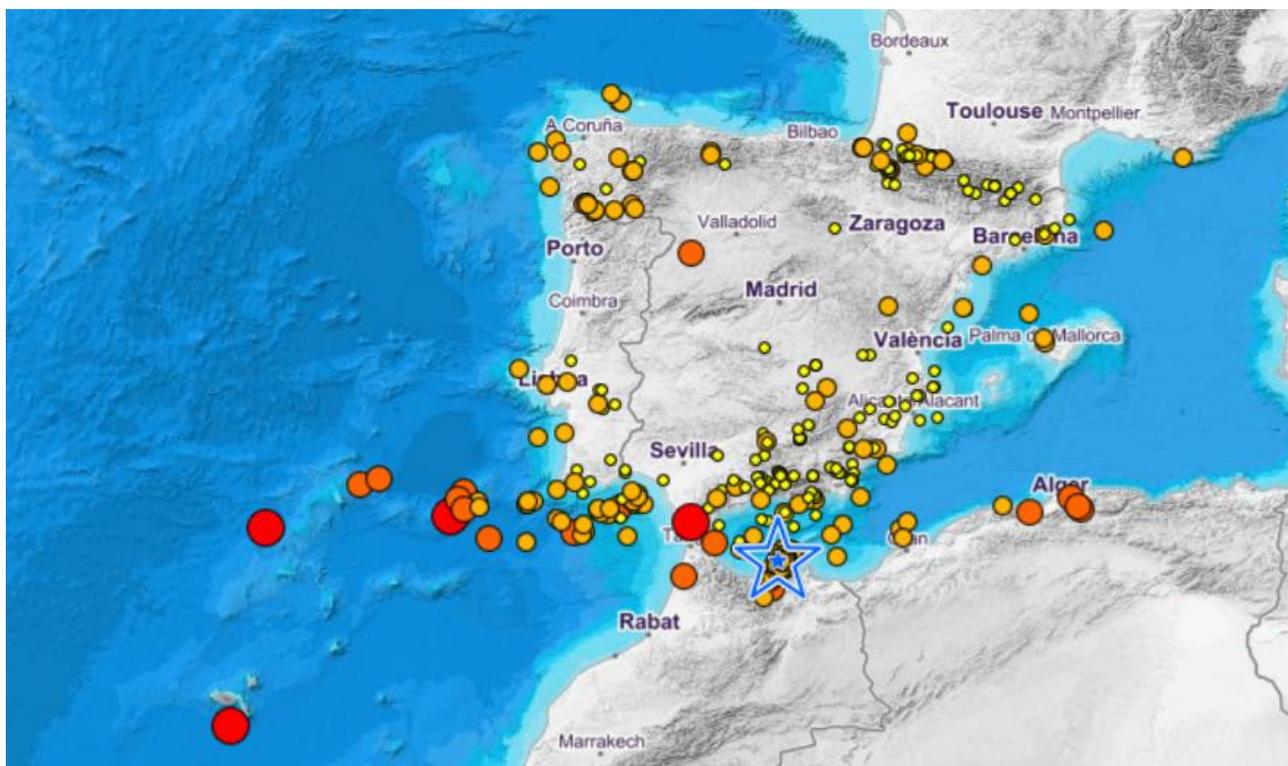
**Pregunta 1.** ¿Has sentido alguna vez alguna vez algún terremoto?

**Pregunta 2.** ¿Es la Península Ibérica una zona muy proclive a los terremotos?

**Pregunta 3.** ¿Dónde pueden localizarse la mayor parte de ellos?

**Pregunta 4.** ¿Son terremotos de mucha magnitud?

Una vez sondeado, se muestra a los alumnos la página web del IGN [4] (Instituto Geográfico Nacional) que contiene registros de terremotos en la Península Ibérica y sus alrededores.



Captura de los terremotos acontecidos en los últimos 30 días. Puntos de mayor tamaño, indica terremotos de mayor magnitud. Extraída de la web del IGN. <http://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/prox.html#>

La imagen muestra que la sismicidad es mayor en la zona sur de la península. Otras zonas de sismicidad apreciable es la cordillera pirenaica y la comunidad autónoma de Galicia

Los terremotos de mayor magnitud se concentran en zonas interiores del océano Atlántico. Una de esas fallas dio lugar al famoso terremoto de Lisboa de 1751 [8], cuyo epicentro no se encuentra en Lisboa, pero que lleva su nombre debido a la destrucción de la ciudad a consecuencia del tsunami generado tras este.

La página web del IGN también ofrece otras posibilidades. Además de proporcionar datos más técnicos y de terremotos de localizaciones globales, y no tan regionales, contiene registros de tabulación de intensidades que pueden ser de más utilidad durante la sesión

### SESIÓN 3. IRIS. Herramientas de catálogo

La tercera sesión del proyecto se trata de una sesión más práctica y menos técnica. Una vez conocidos los descriptores básicos con los que poder empezar a catalogar los terremotos, se pretende que los alumnos empiecen a manejar las herramientas tecnológicas a su disposición. Entre ellas cabe destacar la base de datos de IRIS [9]

La extensa base de datos de IRIS muestra un mapeado actualizado de los últimos terremotos acontecidos. La interfaz permite mostrar distintos ítems, que catalogan los terremotos según nuestra preferencia. De este modo, se pueden conocer la distribución según la profundidad, la magnitud, la localización geográfica... que permita interpretar los datos en base a la teoría estudiada

Algunas cuestiones por parte del docente pueden ser:

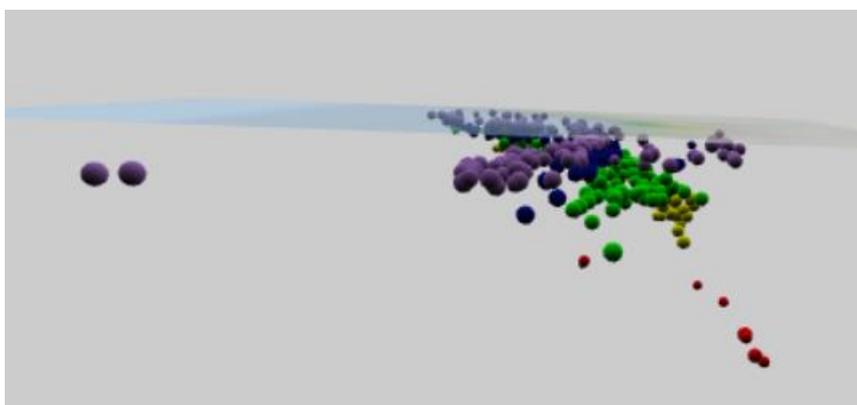
**Pregunta 1.** Realiza un mapa de los últimos 1000 terremotos mostrando los límites de placa ¿Existe alguna correspondencia?



Interfaz de la base datos de IRIS. Extraída de la web de IRIS. (IRIS Earthquake Browser)

**Pregunta 2.** Si se realiza un zoom en la zona que colinda Sudamérica con el Océano Pacífico ¿Cómo es esa distribución de los terremotos en función de la profundidad?

Te puedes ayudar de la representación en 3D que ofrece la interfaz



Representación en 3D. Extraída de la web de IRIS. (IRIS Earthquake Browser)

**Pregunta 3.** ¿Esa última distribución está relacionado con el proceso de subducción de las placas tectónicas?

**Pregunta 4.** ¿Son terremotos de mucha magnitud?

**Pregunta 5.** ¿Dónde se localizan los terremotos de mayor profundidad?

**Pregunta 6.** ¿Qué zonas del planeta se puede afirmar que son de mayor riesgo sísmico?

A partir de la manipulación de la base de datos, cada docente puede crear multitud de cuestiones más según su interés o motivación. Del mismo modo, se puede dejar vía libre al alumnado para que manipule e interprete

Otra de las posibilidades son las estadísticas que ofrece la interfaz. Con ellas, y a partir de otros programas, también se pueden realizar estudios estadísticos de mayor rigor a presentar por los alumnos en unos breves minutos sobre una región concreta.

**Pregunta Extra.** Centrando el estudio de la zona mediterránea, estudie y clasifique los últimos terremotos en función de su profundidad y de su magnitud ¿Qué conclusiones se pueden extraer de ellas?

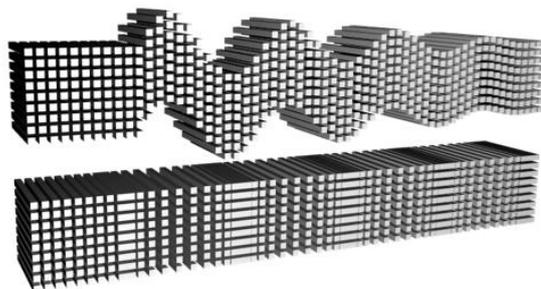
#### SESIÓN 4. ONDAS SÍSMICAS. Medida de tiempos de llegada

La principal consecuencia de un terremoto es la liberación de energía en forma de ondas sísmicas. Un terremoto libera diversos tipos de ondas, que, a su vez, modifican su naturaleza y propiedades según avanzan por el medio en el que se propagan. Lo hacen tanto por el interior de la Tierra como por la superficie libre que es la superficie de la Tierra

Del mismo modo que el terremoto es la causa de las ondas sísmicas, conociendo estas últimas, se puede conocer el origen que las provoca. Las ondas sísmicas constituyen la principal fuente de información sobre su origen, junto al propio estudio sísmico en el terreno. A su vez, las ondas sísmicas también aportan información sobre el medio en el que se propagan, en este caso el interior del planeta, siendo la principal fuente de información sobre la estructura interna de la Tierra explicada en sesiones anteriores. Así, Inge Lehmann fue la primera científica en postular la existencia del núcleo interno de la Tierra y de la discontinuidad que lleva su nombre a partir del registro sismológico y las zonas de sombra entre los  $105^\circ$  y los  $143^\circ$  [Enlace explicativo en vídeo animado para profundizar [https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/zonas\\_de\\_sombra\\_sismicas](https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/zonas_de_sombra_sismicas)]

Una de las características principales de una onda, ya sea sísmica o de otro origen, es la dirección de vibración de las partículas respecto a dirección de propagación

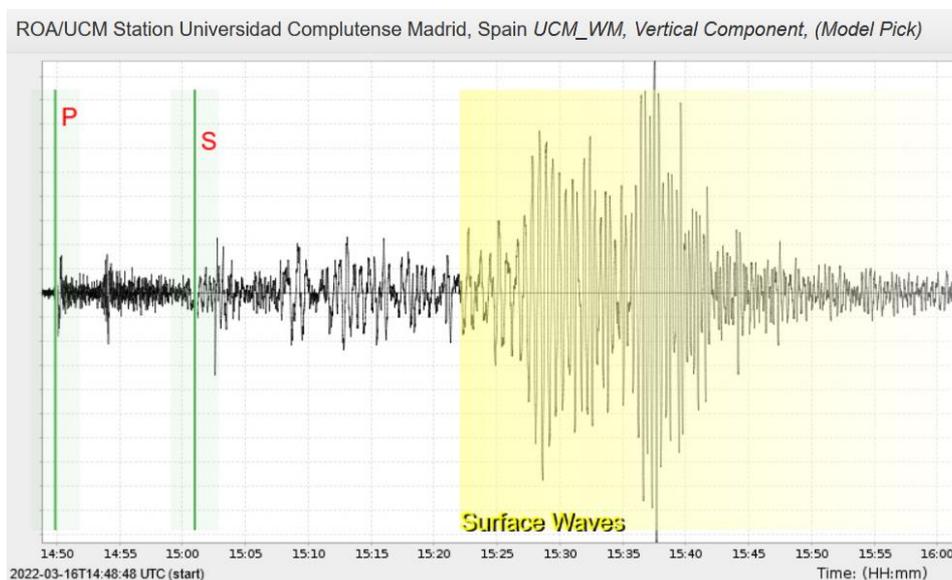
- Ondas longitudinales. Se trata de ondas donde la dirección de propagación de la onda es la misma que la dirección de vibración de las partículas del medio por las que se propaga la onda
- Ondas transversales. Se trata de ondas donde la dirección de propagación de la onda es perpendicular a la dirección de vibración de las partículas de las partículas del medio por las que se propaga la onda



Ondas transversales (arriba) y longitudinales (abajo). *DaveLezenka*, CC BY - SA 4.0  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:S-p-waves.png>

En atención al medio por el que se propagan, las ondas sísmicas pueden dividirse en ondas internas y ondas superficiales. Las ondas internas se propagan por el interior de la Tierra, dando información tanto del terremoto que las provocan como del medio por el que se propagan

- Ondas P. Se trata de ondas de tipo longitudinal. Son las primeras en llegar al registro sismográfico, y, por ende, las de mayor velocidad de propagación. En general, la velocidad de las ondas P aumenta con la profundidad, dando un valor máximo sobre los 13,7 Km/s. En zonas como la astenosfera o el núcleo externo, su velocidad de propagación disminuye sensiblemente
- Ondas S. Se trata de ondas de tipo transversal. Son las segundas en llegar al registro sismográfico. En general, su velocidad también aumenta con la profundidad, siendo siempre menor a la de las ondas P. Su velocidad máxima ronda los 7,20 km/s. Las ondas S no se propagan por el núcleo externo de la Tierra, prueba fundamental del carácter fluido de este, ya que las ondas transversales solo se propagan por medio sólidos (según la física clásica, no la relativista)

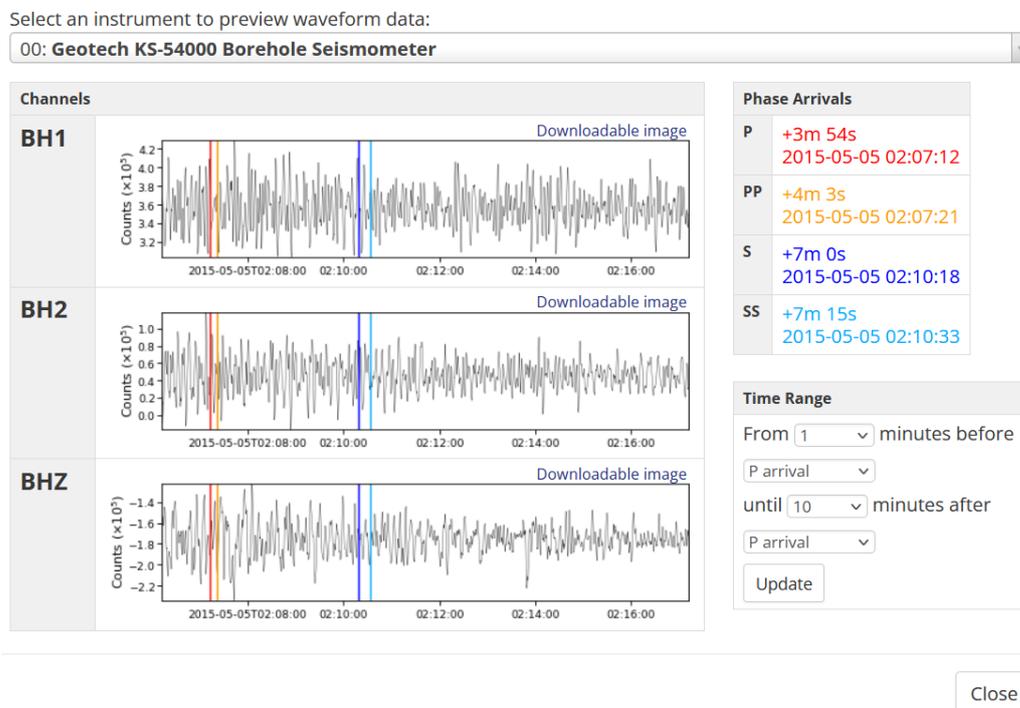


Interfaz de IRIS. Registro sísmico de la estación ROA/UCM del terremoto del 16 de marzo de 2022, cercano a las costas de Japón Extraída de la web de IRIS. (IRIS Station Monitor)

Las ondas superficiales no pueden propagarse por el interior de la Tierra. A medida que profundizan, la amplitud de la onda disminuye hasta desaparecer; de modo que solo pueden propagarse por superficies libres de esfuerzos como la superficie libre de la Tierra.

- Ondas Love (LQ). Se trata de las primeras ondas superficiales en alcanzar el punto de registro, tras las ondas S. Se distinguen por su componente transversal horizontal que las convierte en las más destructivas
- Ondas Rayleigh (LR). Las ondas de este tipo tienen una velocidad algo menor que las ondas S, de modo que se observan después en el registro sismográfico. La trayectoria que describen las partículas del medio al propagarse la onda es elíptica retrógrada y ocurre en el plano de propagación de la onda, lo que hace que no se propaguen por medios líquidos
- Ondas canalizadas. Tipo de ondas superficiales especiales que solo acontecen en la capa granítica de la corteza terrestre

De nuevo, para finalizar la sesión se acude a las herramientas de las que dispone IRIS. En este caso, el registro en las estaciones sísmicas de los principales terremotos[10]. La interfaz permite clicar y seleccionar aquellos terremotos más recientes y de más importancia, ofreciendo su registro sísmico en función de la estación seleccionada



Interfaz de IRIS. Registro sísmico de la estación CMLA del terremoto del 5 de mayo de 2015 en Marruecos. Extraída de la web de IRIS. (IRIS Wilber 3). <http://www.ds.iris.edu/wilber3>

Tras seleccionar un terremoto y una estación en concreto, se desglosa una pantalla con los datos obtenidos. La diferencia entre los tiempos de llegada de las ondas S y las ondas P es lo que se necesita para localizar el epicentro de un terremoto; objetivo final de la última sesión. La interfaz lo realiza directamente, si bien, se pueden establecer diferentes opciones de visualización.

## SESIÓN 5. ACTIVIDAD FINAL

*Actividad: localizar el epicentro de un terremoto a partir de sismogramas*

Durante la última sesión los alumnos deberán implementar los conocimientos pautados de sesiones anteriores; en especial, acerca del manejo de la amplísima base de datos que ofrece IRIS

La actividad propuesta para la sesión presenta las siguientes características:

- Se trata de una tarea de entrega individual
- Elaboración propia durante la sesión lectiva (en caso de no terminarse, se podrá finalizar en casa)
- El formato de entrega será a través de un informe explicativo. El informe incluye capturas de los resultados y explicación de las herramientas implementadas. Será evaluado a través de una rúbrica de evaluación (*Véase apartado 5. Evaluación*)

¿En qué consiste la actividad?

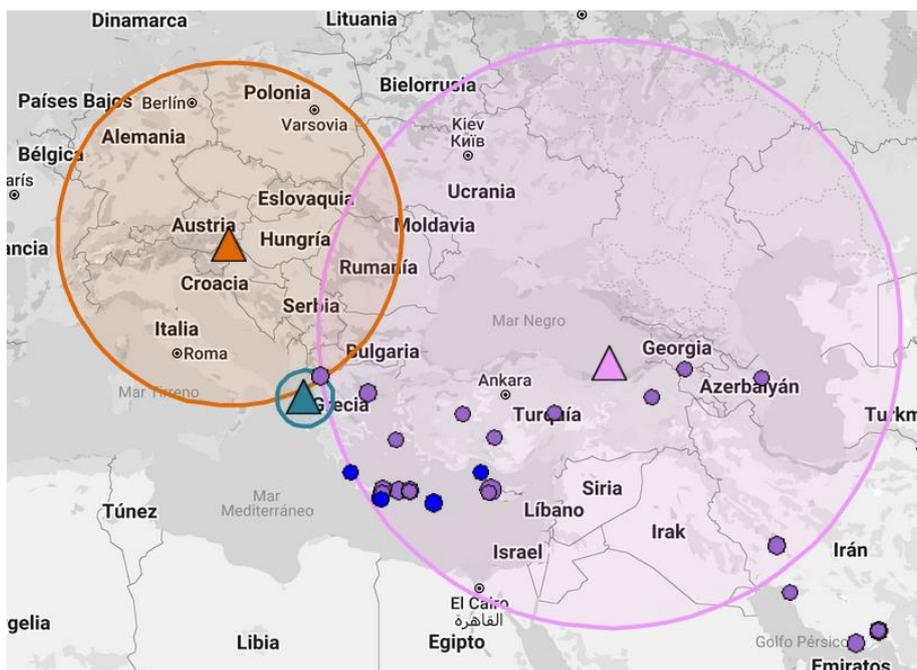
Cada alumno debe individualmente localizar el epicentro de un terremoto concreto que le solicite el docente. Dada la base de datos tan amplia, no habrá problemas de reincidencia; si bien, para la convergencia del proceso, conviene seleccionar terremotos de poca profundidad sísmica.

En primer lugar, se deben registrar los tiempos de llegada de las ondas P y S

- Se accede a la base de datos de IRIS: Wilber 3
- Se selecciona el terremoto indicado por el docente para cada alumno. La interfaz permite realizar un cribado en función de sus parámetros como la profundidad o la magnitud para localizarlo más fácilmente
- Una vez seleccionado, se clic en una estación
- Se lee el registro sísmico, obteniendo la diferencia entre los valores de los tiempos de llegada de la onda P y la onda S:  $t^P - t^S$
- El proceso debe realizarse, al menos, para tres estaciones sísmicas distintas. Eso sí, con los datos de un mismo terremoto de origen

En segundo lugar, se debe emplear la app de triangulación sísmica [11], que también ofrece IRIS

- A partir de los tiempos de llegada, se determina la distancia epicentral a la que se encuentra la estación sísmica. Para ello debe emplearse una curva de tiempo de llegada de las ondas, que representa los tiempos de llegada en función de la distancia epicentral. Existen pequeñas variaciones de estas gráficas en función de la profundidad del foco sísmico (más fáciles de encontrar para focos más superficiales, de ahí la restricción inicial)
- En la app se registran una de las estaciones seleccionadas. Se indica su ubicación (longitud y latitud) así como la distancia epicentral a la que se encuentra del epicentro. La app permite trabajar en grados y en radianes
- Se repite el proceso para las tres estaciones
- El punto geográfico donde cortan las secciones abarcadas por las tres estaciones sísmicas es el epicentro del terremoto
- La app contiene una base de datos de algunos terremotos recientes que permite contrastar de manera visual si el resultado obtenido es correcto



Interfaz de la app de triangulación. Extraída de la web de IRIS. <https://www.iris.edu/app/triangulation/>

## **5. EVALUACIÓN**

La Unidad Didáctica desarrollada se encuentra dentro del bloque de contenidos de la Tierra y la vida, de modo, que deberá ser evaluada mediante las pruebas consensuadas para este bloque de contenidos por el departamento encargado de la asignatura.

De este modo, los contenidos referidos a las primeras sesiones, los cuales constituyen contenidos ordinarios sumados a contenidos de profundización no requieren de herramientas de evaluación distintas a las establecidas en las programaciones de cada uno de los departamentos. Muchas de las actividades pautadas, como las pequeñas preguntas, no se verán evaluadas, o bien, puede incluirse en el apartado de actividades de clase; ya que solo pretenden acercar el conocimiento al alumnado desde una visión más divulgativa que academicista. Así ocurre con las preguntas de las sesiones 2 y 3

La actividad de entrega, propuesto para la sesión final, sí que requiere de un método de evaluación distinto. Para ello se adjunta a continuación una rúbrica de exposición que contiene los principales ítems a valorar por el docente. Esta herramienta puede ser empleada por el docente, o bien adaptada según su necesidad. Tan solo constituye un borrador orientativo a uso según la conveniencia del docente que palpa su aula desde dentro

La rúbrica valora aspectos argumentativos, así como de búsqueda de información ajustada al discurso y el material a elaborar. De especial relevancia será el uso de un correcto lenguaje técnico

En la rúbrica, cada categoría puntuará dos puntos sobre la nota final. A su vez, dentro de cada categoría, la puntuación aumentará en 0,5 puntos por cada nivel asignado

**RÚBRICA PARA EVALUAR: DEFENSA Y EXPOSICIÓN ORAL**

Alumno:

Calificación Final:

CATEGORÍA	4	3	2	1	TOTAL
<u>Búsqueda de información</u>	Realiza una búsqueda de información complementaria ajustada a la necesidad. Cita las fuentes	Realiza una contrastada búsqueda de información complementaria, que, en ocasiones, no cita	En algunas ocasiones las citas o fuentes de información empleadas son de dudosa certeza científica	No recurre a fuentes de información complementarias ajustadas a criterios científicos.	
<u>Uso del lenguaje</u>	El lenguaje técnico y las expresiones científicas son las adecuadas para garantizar una correcta explicación	Empleado un correcto lenguaje técnico. No obstante, existe confusión en ocasiones puntuales	Las argumentaciones se basan, mayormente, en un lenguaje coloquial poco científico	Apenas existen argumentaciones y explicaciones, todas ellas asociadas a tecnicismo no correctos o inexistentes	
<u>Contenido y comprensión</u>	Contiene toda la información relevante. El alumno la comprende. Argumenta las ideas durante el trabajo	El contenido está bien hilado y elaborado, solo en su mayor parte. A su vez, comprende el contenido en su mayor parte, pero no en su totalidad	La actividad no comprende toda la información necesaria. La comprensión conceptual subyacente es tan solo parcial	La información está deslavazada. La comprensión de los conceptos teóricos empleados es nula, o casi nula	
<u>Manejo de la herramienta</u>	Las herramientas tecnológicas se implementan correctamente. Se explica su uso, y se otorgan correctos resultados	El uso de las herramientas es correcto en la mayor parte de la actividad, excepto en algún momento puntual. Se explica su uso	El uso de las herramientas es correcto en la mayor parte de la actividad, pero no se explica su uso, a pesar de otorgar resultados correctos	El uso de la herramienta es inadecuado, lo que conlleva una mala interpretación de los datos e incorrectos resultados	
<u>Estructura y limpieza</u>	El resultado del trabajo es muy visual. La información está bien estructurada y dispuesta, limpia y bien ordenada	Contiene todos los elementos necesarios, pero faltándole un punto de creatividad, orden o desarrollo explicativo	A pesar de contener los elementos básicos, su organización, diseño y limpieza no son los adecuados	La actividad no contiene todas las partes necesarias para considerarse una actividad completa	

## 6. REFERENCIAS Y PÁGINAS WEB

- [1] Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS)  
<https://www.iris.edu/hq/>
- [2] Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS). Educación  
<https://www.iris.edu/hq/inclass/>
- [3] Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)  
<https://www.usgs.gov/>
- [4] Instituto Geográfico Nacional (IGN)  
<http://www.ign.es/web/ign/portal>
- [5] Boletín oficial del Estado (2015). “Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato”
- [6] Boletín oficial de la Comunidad de Madrid (2015). “Decreto 52/2015, de 21 de mayo, del Consejo de Gobierno, por el que se establece para la Comunidad de Madrid el currículo del Bachillerato”.
- [7] Courtillot et al (2003). “Three distinct types of hotspots in the Earth’s mantle”. Earth and Planetary Science Letters. Vol 205. Pag 295 - 308
- [8] Kozak, Jan T and Charles D. James. (1998). “Historical Depictions of the 1755 Lisbon Earthquake” Puede encontrarse en [nisee.berkeley.edu](http://nisee.berkeley.edu).
- [9] Base de datos de terremotos de IRIS  
<https://ds.iris.edu/ieb>
- [10] Base de datos de terremotos del IRIS a partir de sus registros en estaciones sísmicas  
<http://www.ds.iris.edu/wilber3>
- [11] App de triangulación sísmica ofertada por IRIS  
<https://www.iris.edu/app/triangulation/>