



Caracteritzant un terratrèmol a l'aula de Física.

Manel Juncà Ramon
Institut Ègara, Terrassa
mjunca7@xtec.cat

Caterina Solé Martín
Departament de Didàctica de la Matemàtica i les Ciències Experimentals, UAB.
caterina.sole@uab.cat

Resum • En aquest article es presenta una activitat de Física per a 2n de Batxillerat que té per objectiu que l'alumnat apliqui el que ha après sobre ones en el context del terratrèmol que va sacsejar Turquia el febrer del 2023. A partir d'una animació sobre el moviment de la terra registrat en diferents estacions sísmiques repartides al llarg d'Europa, així com el gràfic velocitat-temps d'una estació sísmica determinada, l'alumnat ha de caracteritzar l'equació d'ones del sisme. Aquesta activitat es proposa a l'alumnat de forma oberta i autònoma, però amb el diàleg constant amb el docent.

Paraules clau • Ones, terratrèmols, batxillerat

Characterizing an earthquake in Physics classroom.

Abstract • In this article we present an upper-secondary school Physics activity that aims to students apply what has been learned about waves in the context of the earthquake that shook Turkey in February 2023. Based on an animation of the recorded movement of the ground in seismic stations distributed throughout Europe, and the velocity-time graph of a specific seismic station, students have to characterize the wave equation of the earthquake. This activity is proposed to students in an open and autonomous manner, but with constant dialogue with the teacher.

Keywords • Waves, earthquakes, upper secondary school

INTRODUCCIÓ

El 6 de febrer del 2023 van tenir lloc diferents terratrèmols al sud de Turquia amb conseqüències devastadores per a la població, arribant a enregistrar un terratrèmol de magnitud sísmica de 7,8. Aquest moviment, i les seves posteriors rèpliques, va ser enregistrat a totes les estacions sísmiques repartides per tot Europa, permetent a la comunitat científica estudiar els sismes i la seva propagació.

Actualment, gràcies a la promoció de la ciència oberta aquestes dades, i moltíssimes d'altres, es troben en repositoris que permeten a la població no professional accedir-hi. Així, com a docents, tenim el nostre abast un gran volum de dades reals que poden ser susceptibles de portar a les nostres aules. El seu ús no està exempt de reptes, però també de moltíssimes potencialitats per treballar amb el nostre alumnat.

En el cas de dades geològiques, el consorci IRIS DMC d'universitats dels Estats Units compta amb molts recursos de visualització que permeten apropar-les a la població no professional. Entre ells, arran del terratrèmol turc es van compartir a través de les xarxes socials unes visualitzacions del *Ground Motion Visualization* (GMV) que permeten observar, en un interval de temps, si el moviment de la terra de diferents estacions sísmiques situades en diferents punts d'un mapa és cap avall (en blau) o cap amunt (en vermell), com es pot observar a la Figura 1. A més a més, també ofereixen el sismograma d'una estació de referència, tal com es pot veure a la Figura 2. Aquestes animacions en moviment, així com les dades des d'altres punts del món es poden trobar a: <https://ds.iris.edu/spud/gmv/20832260>.

Aquest tipus d'animacions ens permeten analitzar un fenomen real i interactuar amb constructes abstractes, i habitualment només matematitzats, com poden ser els fronts d'ona (López-Simó et al., 2020).

En aquest article s'explica la implementació d'una proposta d'aula que es va dur a terme amb l'alumnat de l'assignatura de Física de 2n de

Batxillerat a partir de l'estudi de les dades reals del terratrèmol del 6 de febrer del 2023 mitjançant l'ús de l'animació *Ground Motion Visualization* (GMV).

L'EXPERIÈNCIA

Aquesta activitat es va dur a terme amb l'alumnat de 2n de Batxillerat de l'Institut Ègara de Terrassa durant 1 hora. Prèviament a aquesta sessió s'havia treballat amb l'alumnat sobre ones, equacions d'ona i la seva caracterització. Aquesta activitat es va fer servir com a aplicació, ja que el terratrèmol va ocórrer durant el transcurs de la unitat didàctica i, veient la seva potencialitat, es va incorporar en la programació. L'alumnat va treballar per grups de forma autònoma a partir d'un repte inicial i amb el diàleg constant del docent.

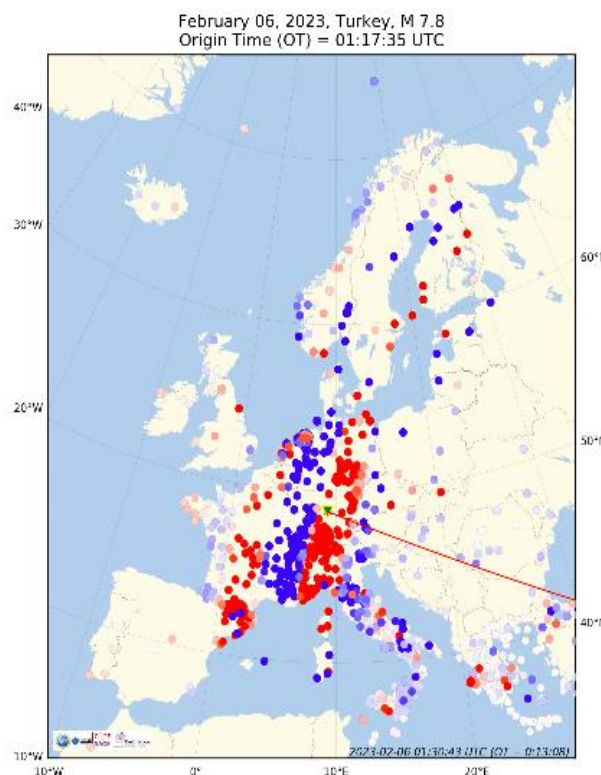


Figura 1: Exemple del *Ground Motion Visualization* d'un instant de temps a Europa on es mostren en blau les estacions sísmiques que estan detectant un moviment de la terra cap avall i, en vermell, les estacions que estan detectant un moviment de terra cap amunt del terratrèmol del 6 de febrer del 2023.

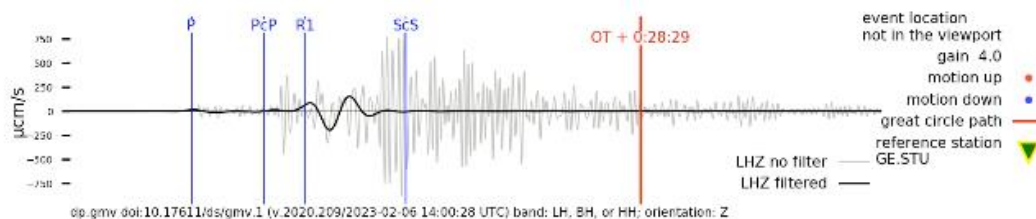


Figura 2: Exemple del *Ground Motion Visualization* de la velocitat dels moviments registrats d'una estació sísmica de referència a la zona d'Stuttgart (Alemanya) al llarg de 40min del 6 de febrer del 2023. En vermell es marca un instant de temps determinat.

El repte inicial

Inicialment, es va presentar a l'alumnat el context i es va mostrar la seqüència de l'avenç del terratrèmol pels sismògrafs europeus (es pot observar una captura d'un instant a la Figura 1), i les dades recollides per una estació sísmica concreta, que es pot observar a la Figura 2. Després de la sorpresa inicial per part de l'alumnat en veure que el terratrèmol es registrava fins i tot en les estacions sísmiques més properes a nosaltres, i que es podia observar un patró en el moviment, es va llençar el repte: caracteritzar l'equació d'ona del sisme.

Desenvolupament de l'activitat: trobem el període

Un cop llençat el repte, l'alumnat, organitzat en dos grups, va disposar-se a trobar els paràmetres de l'equació d'aquesta ona sísmica (amplitud, freqüència angular i nombre d'ona) aplicant el que s'havia treballat prèviament. Per tal de poder decidir per on començar, l'alumnat va haver de destinar una estona a discutir quines eren les magnituds representades en l'animació fent ús, per exemple, de les unitats que acompanyaven a cadascun dels valors representats. Aquest moment de discussió inicial, desorganitzat i una mica caòtic, va ser imprescindible per tal que l'alumnat es familiaritzés amb l'animació i pogués pensar estratègies per caracteritzar l'ona.

Un cop van tenir clar a què feia referència cada valor, tots dos grups van optar pel mateix: intentar trobar el període per poder calcular la freqüència angular mitjançant la seva relació inversa ($T = 2\pi/\omega$).

El primer grup va proposar obtenir la informació del gràfic velocitat-temps com el que es mostra a la

Figura 2. En aquest gràfic l'alumnat va identificar una oscil·lació i mitja de forma clara i, tenint en compte que els períodes són iguals, van mesurar els semiperíodes de les tres 'panxes' que apareixen a la Figura 2 en negreta. Per fer-ho van aturar el vídeo quan la marca vermella amb el temps era a les posicions inicial i final de les semioscil·lacions. En calcular l'interval de temps dels tres semiperíodes, l'alumnat va obtenir que dos d'ells eren iguals, però que el tercer era diferent. Aquesta diferència va sorprendre molt a l'alumnat i els hi va generar molts dubtes: és correcta la manera com ho estem calculant? Per què ens dona un resultat diferent? Davant la sorpresa, mitjançant la conversa amb el docent van calcular com era de gran aquesta diferència en termes relatius a la mesura. En ser d'aproximadament el 5%, van acceptar el mètode que havien utilitzat com a bo, però sorgia un nou dubte: Quin dels dos valors del semiperíode utilitzaven com a la seva mesura final? En aquest punt, i davant del bloqueig de l'alumnat, se'ls va presentar un mètode habitual per reduir l'error relatiu de les mesures: mesurar el temps d'un nombre més gran d'oscil·lacions i fer-ne la mitjana. Com que estaven treballant amb semiperíodes van continuar fent-ho així obtenint un període de 2 min i 6 segons.

El segon grup va optar intentar trobar les dades que els permetessin calcular el període a partir d'un instant de temps determinat de l'animació de la Figura 1, enlloc del gràfic velocitat-temps recollit a la Figura 2. La dada temporal la donava el temps de la part inferior dreta del mapa. L'alumnat d'aquest grup va prendre dues mesures de temps, una quan un sismògraf determinat passava de color blau a color vermell, i una segona mesura

quan el mateix sismògraf tornava a fer el canvi de vermell a blau. Considerem que fixar-se en el moment de la transició de color de blau a vermell o de vermell a blau és una bona estratègia, ja que és una zona molt clara i concreta del mapa que ens permet treballar amb unes dades més acurades. En aquest cas, en ser la transició entre moure's cap avall a fer-ho cap amunt, ens trobem en un dels extrems del moviment harmònic simple, concretament en l'extrem inferior amb velocitat zero.

Un cop avançades les dues estratègies es va fer una posada en comú entre els dos grups on l'alumnat, amb l'ajuda del docent, veient l'animació i fixant-se amb la relació entre la Figura 1 i la Figura 2, van adonar-se que les dues estratègies plantejades eren equivalents. En aquest punt, i pel fet que aquell dia eren especialment pocs alumnes a l'aula, la classe va discórrer com un sol grup, amb la fusió dels dos grups anteriors.

Desenvolupament de l'activitat: trobem la longitud d'ona

Un cop trobat el període, i per tant, la freqüència angular de l'ona, van decidir que el següent paràmetre a determinar seria la longitud d'ona. En aquest pas l'alumnat es va trobar amb més dificultats que en el cas del càlcul del període. Per tal de fer-ho, la Figura 2 ja no els hi era d'utilitat ja que representa un gràfic velocitat-temps, i segurament pel fet de ser un tipus de representació menys treballat a l'aula, a l'alumnat li va costar fixar-se en l'animació de la Figura 1 com a font de dades. Amb el diàleg amb el docent, es va emfatitzar que el que s'estava intentant determinar era una longitud, i per tant havien de buscar una magnitud relacionada amb l'espai. Davant d'aquesta reflexió, l'alumnat, ara sí, va adonar-se que el moviment recollit a la Figura 1 es trobava en un mapa, i per tant, allà es podia mesurar una longitud de forma gràfica. Per fer-ho havien de trobar dos sismògrafs que es trobessin, en un mateix instant de temps, en el mateix estat d'oscil·lació, i després, mesurar la distància entre ells. Cal notar que l'aproximació és similar a la de la mesura del període pel fet d'utilitzar el canvi

entre el blau i el vermell (extrem inferior) per fer-ho més acuradament.

El primer punt seleccionat va ser el mateix sismògraf de referència que apareix a les dades de l'animació situat a Stuttgart (Alemanya). L'alumnat va deixar transcórrer el vídeo fins que van poder seleccionar un moment on hi havia un canvi de color al sismògraf de referència de Stuttgart. A continuació, va sorgir un altre dubte: quin podia ser un bon segon sismògraf per calcular la distància?

La imatge del vídeo pausat mostrava un seguit de punts que complien el requisit d'estar en el següent front d'ones amb el mateix estat de vibració (amb velocitat zero i a l'extrem inferior). La decisió la van prendre per qüestions de practicitat a l'hora de fer la mesura: al ser complicat de situar amb certa precisió algun dels sismògrafs en un mapa mut d'Europa, van optar per un que fos situat a la costa, ja que era fàcilment identificable. Pel perfil litoral van seleccionar un sismògraf que aproximadament era situat a Dunkerque (França).

Ara amb els dos punts, només calia mesurar la distància, però no trobaven la manera de fer-ho. Aquí, el docent va proposar fer servir l'eina de "mesurar distàncies" de Google Maps, ja que tenien les dues ciutats localitzades i l'animació original no contenia cap escala o la possibilitat de determinar latituds o longituds. La seva mesura va ser des de Stuttgart fins a Dunkerque amb aproximadament una longitud de 550 km.

Per tal d'incentivar el debat, el docent va replicar el procediment dut a terme per l'alumnat, però aquesta vegada escollint diferents ciutats. En aquest cas, el docent va escollir Roma i Lió, que en un instant de temps, es trobaven cada una en un front d'ones amb el mateix estat d'oscil·lació, un després de l'altre. En aquest cas, la mesura sortia de 750 km aproximadament i es va llençar la pregunta: quina de les dues és correcte? L'alumnat va argumentar que la mesura feta pel docent no era correcta perquè la línia que dibuixaven aquestes dues ciutats "era molt inclinada". A partir d'aquesta discussió es va poder consensuar la idea que la mesura s'ha de prendre de manera que els punts formin una perpendicular al front d'ones. Tot i que la seva elecció inicial no responia a aquest

motiu explícit, degut al fet que la seva mesura Stuttgart - Dunkerque complia raonablement aquesta condició van donar la mesura de 550 km per bona.

Desenvolupament de l'activitat: discutim sobre l'amplitud

Malauradament, en aquest moment el temps de classe s'estava esgotant i es va aprofitar per obrir un diàleg en gran grup de l'últim paràmetre que mancava per caracteritzar l'ona: l'amplitud. Es va discutir verbalment la forma d'obtenir l'amplitud, encara que fos de l'oscil·lació més gran. Aquí, l'alumnat va adonar-se de la rellevància d'haver estat utilitzant dades de velocitat, i no d'elongació d'aquesta ona, i per tant, que no es podia obtenir l'amplitud directament com el valor màxim del gràfic. Seguidament, van proposar utilitzar la velocitat màxima per obtenir l'amplitud, ja que, $v_{\max} = A \cdot \omega$, on coneixien ω . Amb tots els paràmetres determinats, ja es podia escriure l'equació d'ona del sisme. Finalment, el docent va fer notar a l'alumnat que l'amplitud màxima de cada oscil·lació no es mantenia al llarg del temps, sinó que s'esmoreïa.

Altres camins per explorar

Per continuar amb aquesta experiència, podria ser interessant proposar explorar el càlcul de la velocitat de propagació de l'ona. A més, es podria utilitzar per fer una predicció del temps que trigarien a arribar els efectes del terratrèmol a un sismògraf determinat i comprovar-ne el desviament amb la mesura donada per l'animació. També es podria comparar el valor obtingut en aquesta mesura amb el que apareix a la literatura. La velocitat de propagació obtinguda amb aquesta experiència és d'aproximadament 4400 m/s, sent una dada consistent amb les velocitats de les ones sísmiques que són d'entre 2 i 8 km/s.

D'altra banda, es podria aprofundir en la idea que la nostra font d'obtenció de les dades era, majoritàriament un gràfic de velocitat-temps, però en canvi estàvem intentant caracteritzar l'equació d'ona $y(x, t)$. A l'alumnat aquest fet no va semblar preocupar-los o ser-ne del tot conscients fins al moment de necessitar determinar l'amplitud de

l'ona. Podria ser interessant plantejar quines similituds i diferències tenen les dues funcions i perquè són equivalents els paràmetres obtinguts a partir de la velocitat per la funció $y(x, t)$. Com que les funcions posició i velocitat són una la derivada de l'altre, les parts sinusoidals són equivalents, ja que, l'argument del sinus i del cosinus són iguals. Així, si obtenim la longitud d'ona o el període amb la funció velocitat, serà la mateixa per la funció posició.

Un altre aspecte a considerar, i que possiblement seria pertinent discutir és el tipus d'ona sísmica que estem estudiant i les diferències entre elles (ones P, ones S i ones de superfície).

REFLEXIONS FINALS

Malgrat que aquesta activitat es situava com a aplicació per consolidar aspectes relacionats en com es caracteritzen les ones, hagués sigut interessant reflexionar amb l'alumnat a l'inici sobre el fet que una vibració sísmica pugui ser representada per una ona, i si això es dedueix de les observacions. D'altra banda, en aquest sentit, també hagués sigut interessant posteriorment reflexionar amb l'alumnat sobre si l'equació d'ona utilitzada es dedueix de les observacions o si aquesta és un model que apliquem i que té unes limitacions, i per tant, aprofundir en aspectes relacionats amb la naturalesa de l'activitat científica.

Aquesta activitat es presentava a l'alumnat sense cap tipus de guia inicial o bastida però amb el diàleg constant amb el docent. Això suposava un gran repte tant per l'alumnat com pel docent, però tot i així, es fa una valoració molt positiva del desenvolupament de l'activitat, possiblement condicionada a que el dia que es va implementar hi havia només dos grups d'alumnes a l'aula. En cas de tenir una aula amb molts més grups treballant alhora, creiem que seria convenient dissenyar una bastida per tal de poder acompanyar i guiar a tot l'alumnat. A més a més, en aquesta experiència només s'ha estudiat el terratrèmol des de la perspectiva de la Física, però seria molt interessant poder-ho fer conjuntament amb la Geologia,

incloent aspectes rellevants com els que presenta Aliberas i Arboleya (2011), entre d'altres.

També, hem pogut identificar diferents reptes i potencialitats en relació amb el que s'ha treballat en aquesta activitat. Sovint quan treballem el moviment ondulatori a l'aula presentem les equacions d'ona $y(x,t)$ i la seva corresponent representació gràfica. En aquest context, la representació gràfica corresponia a la velocitat-temps, i no a la posició temps representada habitualment. Per tal d'obtenir les dades, calia que l'alumnat interpretés la gràfica sense fer servir el "pilot automàtic", identificant, per exemple, ràpidament l'amplitud o la longitud d'ona, fet que portava a noves discussions que no havien sorgit fins al moment.

D'altra banda, el fet de treballar a partir d'un context real ens ha portat a la necessitat d'incloure aspectes com pensar la manera de reduir l'error en prendre unes dades, en el moment en que per a l'alumnat tenia sentit. A més a més, el fet que aquest sigui un context real, i que caracteritzar l'ona ens permeti predir, per exemple, el temps que trigarà en arribar un front d'ones a un sismògraf, fa que l'activitat tingui potencial per reflexionar sobre la importància dels models en la ciència (Izquierdo, 2014).

Sovint com a docents sentim que durant l'assignatura de Física de 2n de Batxillerat no hi ha espai ni temps per activitats contextualitzades, o on

aquest prengui realment valor, però petites activitats on vas sentint a l'alumnat dient "què guapo!" o "com mola!" mentre discuteixen sobre com caracteritzar un terratrèmol, si ens ho permeteu, fa que l'esforç prengui sentit.

AGRAÏMENTS

Volem agrair a l'alumnat participant de 2n de Batxillerat de l'INS Ègara la seva gran implicació en aquesta activitat. També a les persones que han revisat l'article per les seves interessants aportacions.

BIBLIOGRAFIA

- Aliberas, J., i Arboleya, M.L. (2011). El terratrèmol de l'11 de març del 2011 al Japó. *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i secundària*, (19), 39-46.
- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las "ciencias para todos." *Biografía*, 7(13), 69–85.
- López-Simó, V., Couso, D., i Simarro, C. (2020). Educación STEM en y para un mundo digital: el papel de las herramientas digitales en el desempeño de prácticas científicas, ingenieriles y matemáticas. *RED. Revista de Educación a Distancia*, 62(20).
<https://doi.org/10.6018/red.410011>