



# Modelización de la propagación de ondas con corporeización

**Jordi Solbes Matarredona, Tatiana Pina Desfilis**  
Universidad de Valencia



**PALABRAS CLAVE**

- CORPOREIZACIÓN
- MODELIZACIÓN
- ESTADOS DE LA MATERIA
- PROPAGACIÓN DE ONDAS

Fotos de los autores

**En este trabajo presentamos la modelización de la propagación de las ondas utilizando el cuerpo del alumnado (*embodiment* o corporeización). La corporeización permite distinguir entre ondas transversales y longitudinales, que se propagan en diferentes estados de la materia. Se incluye la explicación de cómo realizar las modelizaciones manteniendo las distancias interpersonales de seguridad impuestas por la COVID-19.**

La modelización es una actividad esencial en la enseñanza de las ciencias junto con la indagación y la contextualización (Solbes, Jiménez-Liso y Pina, 2019). La modelización implica construir modelos, es decir, elaborar esquemas, representaciones o estructuras simplificadas, parciales y provisionales de objetos, fenómenos, procesos o ideas que tienen el papel de describir, explicar y predecir diferentes aspectos de estos (Couso y otros, 2020). Los modelos toman muchas formas –incluyendo objetos físicos, planos, construcciones mentales, ecuaciones matemáticas y simulaciones por computadora– y permiten familiarizar al alumnado con los procedimientos de trabajo de los científicos y científicas, quienes elaboran modelos para explicar los problemas hasta que surgen dificultades que obligan a cambiarlos (Solbes, Silvestre y Furió, 2010). El modelo es aún más necesario cuando es imposible ver directamente el sistema objeto de estudio porque se aparta mucho de la escala humana, ya sea a nivel macro (por ejemplo, el sistema Tierra, Sol y Luna) como micro (por ejemplo, los modelos atómicos o moleculares), cuyo tamaño dificulta la comprensión al alumnado (Palomar y Solbes, 2015; Solbes, Silvestre y Furió, 2010). El desarrollo del modelo se concibe como un proceso iterativo, en el que se incluye la revisión de este tras la obtención de datos relacionados con el fenómeno objeto de estudio.

Dentro de la estrategia de modelización podemos hacer uso de la corporeización, donde los alumnos y alumnas son agentes activos del modelo que se propone. El alumnado es quien representa con su propio cuerpo las propiedades del fenómeno, lo que le hace mantenerse constantemente en contacto con la evolución de este (a diferencia de si se modeliza a través de un dibujo o una maqueta, donde las propiedades se externalizan). La corporeización se presenta como una estrategia cuya eficacia para favorecer el aprendizaje ha sido demostrada en campos como la lingüística, la neurociencia y la psicología. La clave radica en la activación física de un gran número de neuronas motoras y de la corteza extratrial que comunica la corteza motora con la visual, lo que parece propiciar un aprendizaje más profundo que la mera observación, en particular de los modelos de sistemas en movimiento (Petit y otros, 2019).

■  
**Dentro de la modelización podemos utilizar la corporeización, donde el alumnado es el agente activo del modelo que se propone**

En este trabajo, analizamos la modelización con corporeización de la propagación de ondas mecánicas, para lo que es necesario modelizar previa-

mente los estados de la materia por los que se propagan. Las actividades propuestas al alumnado aparecen a continuación precedidas por una A.

## ACTIVIDADES DE REPRESENTACIÓN CORPORIZADA DE LOS ESTADOS DE LA MATERIA

### A1. ¿En qué estados se encuentra la materia?

El alumnado menciona los tres estados de la materia usuales: sólido, líquido y gas. Desconoce el más abundante, el plasma, un gas ionizado frío, como la ionosfera, o caliente, como las atmósferas estelares. Tampoco conoce los condensados de Bose-Einstein y de Fermi.

### A2. ¿Cómo realizaríais la representación corporeizada de un sólido?

Para la corporeización del sólido se pide que salgan 8-10 estudiantes a la pizarra. Suelen ponerse amontonados, muy cerca unos de los otros. A veces se abrazan para indicar el enlace, lo que favorece el siguiente paso. Se les hace recordar cómo se distribuyen los átomos, por ejemplo, en la sal. Entonces señalan que, además de enlazados, están ordenados. Por lo que se distribuyen ordenadamente en dos filas de cuatro o cinco estudiantes o tres filas de tres, pero no acaban de resolver el enlace, ya que se enlazan con el de delante pero no con el de al lado, o viceversa. Por eso hay que decirles que deben poner una mano sobre el hombro del estudiante de enfrente y la otra sobre el de su derecha o izquierda. En un contexto de emergencia sanitaria como el actual debido a la COVID-19, se les informa que deben elevar los brazos, manteniendo la posición anteriormente explicada, pero sin llegar a tocarse (imagen 1). Y de este modo el alumnado queda ordenado, enlazado y quieto.



**Imagen 1.** Corporeización de un sólido manteniendo la distancia interpersonal

### A3. ¿A qué temperatura os encontráis?

El alumnado desconoce la respuesta, por lo que conviene recordar que la temperatura no es una propiedad de las partículas, sino que es una magnitud relacionada con la energía cinética media de las partículas y, por tanto, es una propiedad del material en su conjunto. Las partículas, sean átomos o moléculas, solo estarían quietas a 0 K, lo que permite plantear qué sucede a otra temperatura. Acertadamente señalan que vibran o se agitan, lo que permite introducir la agitación térmica.

#### A4. ¿Cómo se produce el cambio de estado? Realizad la representación corporeizada.

El alumnado representa el cambio de estado dispersándose por el aula. De nuevo hay que hacerles reflexionar sobre qué tipo de cambio han representado y qué es necesario para que se produzca. Entonces se dan cuenta de que han pasado directamente de sólido a gas y que han necesitado un incremento de temperatura. Al preguntarles qué sucede al incrementar la temperatura responden que los átomos vibran con más velocidad



Imagen 2. Corporeización de un gas

(o amplitud) y que esta vibración provoca la ruptura de enlaces, pasando de sólido a líquido. En cuanto al recipiente, de importancia en el mantenimiento de la forma en el líquido, se les puede sugerir que se aproxime a la pared lo que, en muchas clases, por falta de espacio ya sucede desde el inicio. Tras preguntar qué pasa si se sigue calentando el líquido, responden que aumenta aún más la vibración (o agitación térmica) y esta vez el alumnado se dispersa por el aula, corporeizando correctamente el cambio de líquido a gas (imagen 2).

### ACTIVIDADES DE REPRESENTACIÓN CORPOREIZADA DE LA PROPAGACIÓN DE ONDAS

#### A5. Un modelo de movimiento ondulatorio debe explicar, en primer lugar, cómo se produce y cómo se propaga una onda en un medio. Sugerid, a modo de hipótesis cualitativas, posibles respuestas a estos problemas.

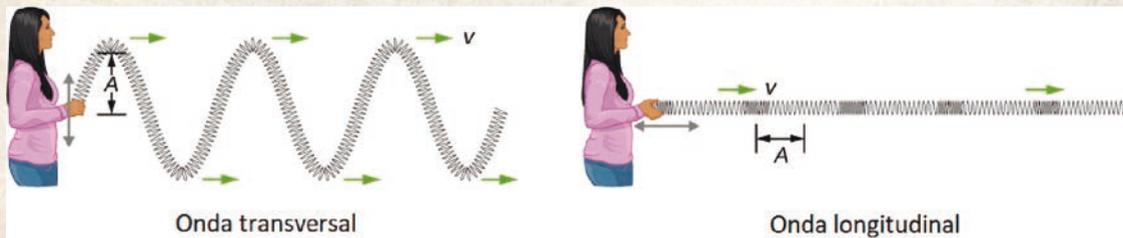
Las aportaciones realizadas en el aula llevan al alumnado a indicar que una onda es una perturbación que se propaga a través de un medio (necesario para la transmisión de las ondas mecánicas) gracias a la transmisión de las vibraciones desde el foco a las partículas adyacentes, que se ponen también a vibrar.

#### A6. ¿Cómo se pueden mover las partículas del medio?

Las partículas vibran y esta vibración puede ser paralela o perpendicular a la dirección de propagación, lo que permite distinguir las ondas longitudinales y transversales.

#### A7. Producid ondas longitudinales y transversales en un muelle

El alumnado mueve el muelle en todas direcciones sin saber explicar a qué onda corresponde cada movimiento. En este punto se debe explicar que, si se mueve verticalmente el muelle, se producen ondas transversales, en las que la onda se propaga en dirección horizontal pero la vibración de las partículas del medio se produce de manera vertical o perpendicular a esa dirección de propagación. Mientras que, si se mueve horizontalmente el muelle, se generan ondas longitudinales (o de compresión), en las que la vibración de las partículas del



**Imagen 3.** Onda transversal y longitudinal desplazándose en un muelle helicoidal. Fuente: modificado a partir de <https://courses.lumenlearning.com/suny-osuniversityphysics/chapter/16-1-traveling-waves/>

medio se produce en la misma dirección que la perturbación, es decir, de forma paralela a la dirección de propagación de la onda (imagen 3).



**Imagen 4.** Representación de la propagación de una onda transversal (izquierda) y una longitudinal (derecha) con un muelle largo o *slinky*

Los dos tipos de onda se pueden mostrar de una forma sencilla con un muelle largo o un *slinky* (imagen 4) (Lozano y Solbes, 2014). Si la demostración se hace antes de la corporeización favorece la comprensión de las ondas longitudinales, pero también se puede hacer después de la corporeización para obligarles a reflexionar más en la misma.

### A8. ¿Cómo representaríais con vuestro cuerpo la propagación de ondas en un sólido?

Como ya han representado los estados de la materia, cuando se pide que 8-10 estudiantes representen una onda que se propaga por un sólido se colocan en 2-3 filas enlazados por los brazos o con los brazos alzados, pero sin tocarse (situación COVID, imagen 1), y suelen propagar una onda transversal elevándose y agachándose de forma sucesiva. A veces no tienen claro cómo hacer la longitudinal. Esto obliga a realizar una 2.ª iteración, para que vean que la onda longitudinal se puede representar mediante un empujón hacia delante o hacia atrás.

### A9. ¿Cómo corporeizaríais la propagación de ondas en un líquido?

Si se pide a los alumnos y alumnas que propaguen una onda por un líquido, estos se colocan en 2-3 filas, pero sin brazos que los enlace o sin alzar. Al haber representado los dos tipos de ondas en un sólido, repiten inconscientemente el proceso (imagen 5). Sin embargo, en el interior de los medios líquidos solo se transmite la onda longitudinal, no la transversal, ya que no hay enlaces lo suficientemente fuertes que permitan la propagación de ese

movimiento perpendicular (aunque sí que se pueden producir ondas superficiales transversales en líquidos). Entonces se les explica que en la 1.ª iteración se han transmitido las dos vibraciones debido a que se sigue interactuando visualmente y se ve el movimiento del resto del alumnado. En la 2.ª iteración se les puede pedir que cierren los ojos y que sea el alumnado de la última fila el que produzca la vibración. El empujón (representación de la onda longitudinal) se transmite, de manera más evidente, cuando pueden entrar en contacto físico la persona de delante y la de detrás, pero la acción de agacharse y elevarse del alumnado (representación de la vibración perpendicular) no, ya que no hay contacto ni físico ni visual (enlaces), siendo coherente con el fenómeno físico de que las ondas transversales no se transmiten en medios líquidos. En caso de necesitar mantener la distancia interpersonal, el alumnado debería mantener los ojos abiertos para corporeizar la transmisión de la onda longitudinal (imagen 5).



**Imagen 5.** Corporeización de una onda transversal (arriba) y longitudinal (abajo) manteniendo la distancia interpersonal

#### **A10. ¿En qué medios se propagan las ondas sonoras? ¿Son longitudinales o transversales?**

Como el sonido se propaga en gases, líquidos y sólidos (les hacemos recordar el ejemplo de los indios con la oreja pegada en los raíles del tren), se tratará de una onda longitudinal, es decir, la vibración se transmitirá gracias a sucesivas compresiones y enrarecimientos del medio.

#### **A11. En los terremotos se propagan dos tipos de ondas, las P o primarias (llegan antes a los sismógrafos) y las S o secundarias (que llegan después). Se ha comprobado que las S no se propagan en el núcleo de la Tierra y las P sí. ¿Qué nos prueba sobre la naturaleza de dichas ondas y el estado del núcleo?**

Si el alumnado ha entendido toda la explicación responderá que las ondas P se propagan en todos los estados de la materia, como el sonido, y que por tanto son longitudinales. Mientras que las ondas S, al no propagarse por el núcleo ponen de manifiesto que son de tipo transversal y que el núcleo no es sólido, sino líquido.

#### **A12. Hemos visto que en una onda no hay transporte neto de materia. ¿Qué se propaga entonces?**

Se propaga la vibración, es decir, energía.

## CONCLUSIONES

Estas propuestas de corporeización están orientadas a alumnos y alumnas de los últimos cursos de primaria, de secundaria o cursos universitarios de ciencia general. Otras propuestas que también se han implementado con alumnado son, en la escala macroscópica: 1) sistema Tierra-Sol-Luna, 2) retrogradación de los planetas, 3) sistema solar a escala, 4) modelo geocéntrico y heliocéntrico: paralaje, y 5) leyes de Kepler. Y, en la escala microscópica, además de las ya vistas (estados de la materia y propagación de ondas): 6) corriente continua y alterna, 7) modelos atómicos y nucleares y 8) reacciones nucleares y químicas (Solbes, Jiménez-Liso y Pina, 2019).

Estas propuestas han sido testadas y evaluadas en grupos experimentales encontrando, tanto mediante cuestionarios como mediante electroencefalografía (EEG), una mayor comprensión de los modelos respecto a grupos control que aprendían por medio de transmisión con imágenes (Petit y otros, 2019). ◀

### Nota

\* AGRADECIMIENTOS: Este trabajo ha sido financiado por MINECO y FEDER a través del proyecto EDU2015-69701-P

### Referencias bibliográficas

- COUSO, D., y otros (coords.) (2020): *Enseñando Ciencia con Ciencia*. Fundación Lilly y FECYT. Madrid. Penguin Random House.
- LOZANO, O.; SOLBES, J. (2014): *85 experimentos de física cotidiana*. Barcelona. Graó.
- PALOMAR, R.; SOLBES, J. (2015): «Evaluación de una propuesta para la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía en secundaria». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 33, núm. 2, pp. 91-111. Disponible

en línea en: <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/v33-n2-palomar-solbes>. [Consulta: mayo de 2021]

- PETIT, M. F., y otros (2019): «Modelling with embodiment in science education: an evaluation under two approaches». Bolonia. ESERA Conferencia.
- SOLBES, J.; SILVESTRE, V.; FURIÓ, C. (2010): «El desarrollo histórico de los modelos de átomo y enlace químico y sus implicaciones didácticas». *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, vol. 24, pp. 83-105. Disponible en línea en: <https://ojs.uv.es/index.php/dces/article/view/2402> [Consulta: mayo de 2021]
- SOLBES, J.; JIMÉNEZ-LISO, M. R.; PINA, T. (eds.) (2019): *Propuestas de educación científica basadas en la indagación y modelización en contexto*. Valencia. Tirant lo Blanch.

### Direcciones de contacto

Jordi Solbes Matarredona

[jordi.solbes@uv.es](mailto:jordi.solbes@uv.es)

Tatiana Pina Desfilis

[tatiana.pina@uv.es](mailto:tatiana.pina@uv.es)

Universidad de Valencia

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES, en diciembre de 2020 y aceptado en abril de 2021 para su publicación.