

LA MODELIZACIÓN USANDO CORPOREIZACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Paula Tuzón, Jordi Solbes

Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i Socials, Universitat de València
paula.tuzon@uv.es, jordi.solbes@uv.es

RESUMEN: En este trabajo proponemos la corporeización como herramienta didáctica para enseñar modelos y conceptos en diferentes conceptos básicos de la física y la química que aparecen a lo largo de cursos generales y específicos de ciencia. Presentamos una propuesta de diez modelizaciones con corporeización de fenómenos a escala microscópica y macroscópica y mostramos los resultados de un análisis cualitativo de un proceso de corporeización según el esquema de trabajo general. Los resultados muestran la sencillez con la que se discuten conceptos aparentemente complejos y cómo se alcanza la comprensión de la idea aceptada científicamente a partir de la propia modelización de los alumnos. Estos resultados muestran además que esta herramienta conecta a los alumnos con una gran diversidad de propiedades del fenómeno.

PALABRAS CLAVE: modelización, corporeización, embodiment.

OBJETIVOS: Este trabajo pretende analizar cualitativamente cómo es el proceso de construcción de modelos a través de la corporeización y evaluar el impacto de la misma en la obtención de contenidos y en la adquisición de habilidades de modelización. Para ello, se muestra con detalle una modelización y los resultados de las diez modelizaciones realizadas.

MARCO TEÓRICO

La modelización en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales se presenta como una estrategia capaz de asegurar un aprendizaje significativo. Dentro del marco de enseñanza de las ciencias por indagación, la estrategia de modelización aparece como un punto clave, ya que ésta lo es también en la actividad científica cotidiana (Acher et al., 2007; Van Driel y Verloop, 2002). El modelo aún es más necesario cuando se da la imposibilidad de ver directamente el objetivo de estudio, porque se aparta mucho de la escala humana, tanto a nivel astronómico (*macro*) como molecular o atómico (*micro*), que plantean grandes dificultades (Palomar y Solbes, 2015; Tuzón y Solbes, 2016). La estrategia de modelización se basa en construir una idea que necesariamente ha de estar relacionada con el fenómeno real, donde tanto semejanzas como diferencias han de ser fácilmente identificables. Las primeras han de servir al para emitir hipótesis que sean contrastables durante el símil-estudio del fenómeno. Las segundas hacen que el modelo sea más accesible para la investigación que el fenómeno real. El desarrollo del modelo se concibe como un proceso iterativo, en el que se incluye la revisión del mismo tras la obtención de datos relacionados con el fenómeno objetivo (Chamizo, 2006).

Dentro de la estrategia de modelización, hacemos uso de la corporeización, donde los alumnos son los agentes activos del modelo que proponen. Los alumnos son quienes representan con sus propios cuerpos las propiedades del fenómeno, lo que los hace mantenerse constantemente en contacto con la evolución del mismo (a diferencia de si se modeliza a través de un dibujo o una maqueta, donde las propiedades se externalizan). La corporeización se presenta hoy en día como una estrategia exitosa cuya eficacia para favorecer el aprendizaje ha sido demostrada en campos como la neurociencia y la psicología cognitiva (Johnson-Glenberg et al., 2012; Barsalou, 2008). La clave radica en la activación física de un gran número de neuronas sensor-motoras de una manera tal que sea congruente con el concepto que se esté aprendiendo, lo que propicia un aprendizaje mucho más profundo que desde la mera observación. Además, la interacción con el grupo (con otros agentes) es un valor añadido a este tipo de “activación congruente”, sobre todo de cara a la aparición de propiedades emergentes.

METODOLOGÍA

En este trabajo analizamos diez propuestas de modelización con corporeización micro y macro orientadas para estudiantes de últimos cursos de la ESO, bachillerato o cursos de ciencia general. El objetivo es analizar cualitativamente cómo es el proceso de construcción del modelo y evaluar el impacto de la corporeización en la obtención de contenidos y en la adquisición de habilidades de modelización.

Las diez propuestas se han presentado espaciadas en el tiempo según la evolución del temario en el curso de *Ciencias para maestros* del Grado en Maestro/a en Educación Primaria de la Facultad de Magisterio de la Universidad de Valencia. Estas propuestas son, en la escala macro: 1) Fases de la Luna y eclipses, 2) retrogradación de los planetas, 3) sistema solar a escala, 4) discusión científica entre el modelo geocéntrico y el heliocéntrico, 5) leyes de Kepler, 6) evolución estelar. En la escala micro: 7) Representación de los estados de la materia, 8) propagación de ondas, 9) modelos atómicos y nucleares, 10) propiedades de las partículas atómicas.

Las propuestas las ha implementado uno de los investigadores y han sido observadas y grabadas, como mínimo, por otro investigador con el siguiente esquema de trabajo:

- i) Se les da a los alumnos, distribuidos en equipos de 4 ó 5 personas, una introducción con los ingredientes necesarios para realizar la modelización.
- ii) Después de un tiempo para pensar cómo corporeizar el fenómeno, se selecciona a un equipo para que salga, ante todos los demás, a realizar la corporeización en vivo.
- iii) El resto de equipos no tienen un papel pasivo, dado el modelo presentado por sus compañeros, tienen que a) identificar los elementos del modelo y sus funciones; b) enumerar todas las propiedades o dinámicas que sí se modelizan y cómo; y c) enumerar las limitaciones del modelo propuesto (i.e., decir qué no están representando sus compañeros, bien por falta de refinamiento o por imposibilidad).
- iv) El equipo que hace la corporeización no puede hablar, sólo emitir sonidos, en caso de formar parte de la representación; tampoco pueden dar explicaciones *ad hoc* sobre el modelo que presentan.
- v) Después de la corporeización, se ponen en común los apartados a), b) i c) del punto iii), que el profesor investigador dinamiza.
- vi) Se analizan las limitaciones del modelo y se invita a otro equipo a volver a realizar la corporeización del modelo refinado y vuelve a comenzar el proceso desde el punto iii).

El proceso es iterativo hasta que se consensua un modelo y se completa el proceso de refinamiento.

La evaluación de esta técnica de modelización se ha dado en dos fases. Para la primera, se ha construido una rúbrica de evaluación cualitativa sobre el proceso de construcción de los modelos. Para la segunda, se ha elaborado un cuestionario donde se evalúa la adquisición de contenidos y habilidades de modelización, comparando con un grupo control. Esta segunda fase todavía está en curso. La rúbrica de evaluación cualitativa sobre el proceso de construcción de los modelos se ha hecho siguiendo el mismo esquema que el descrito en el punto iii) del párrafo anterior, con las tres partes, a), b) y c), para cada una de las iteraciones. En cada iteración, también se analizan las aportaciones para refinar el modelo que hacen los grupos que no corporeizan.

RESULTADOS

Los 10 ejercicios de modelización se han realizado en dos grupos de 45 y 47 alumnos, X e Y respectivamente, del Grado en Maestro/a de Educación Primaria, de la Univesidad de Valencia, en un curso general sobre ciencias, *Ciencias para maestros*.

A continuación presentamos los resultados cualitativos de una modelización macro, 1) *Fases de la Luna y eclipses*, según el esquema presentado en Metodología. Todas las discusiones abiertas fueron guiadas por el investigador a través de preguntas.

Las indicaciones previas a la modelización que se les dieron a los alumnos fueron las siguientes: *A partir de la observación de la evolución en la forma de Luna a lo largo de 28 días (sea a través de un calendario lunar o de un registro que hayan llevado a cabo), pensad cómo representaríais las distintas fases lunares con vuestros cuerpos, en un modelo heliocéntrico.*

Primera iteración:

a,b) El equipo que corporeizó la modelización presentó tres elementos, cada uno representado por un estudiante: La Tierra, el Sol y la Luna, equidistantes y en línea. El Sol inmóvil, la Tierra sin trasladarse pero rotando sobre sí misma y la Luna orbitando alrededor de la Tierra sin rotar, marcando las 4 fases lunares más importantes: llena, nueva, cuarto creciente y cuarto menguante (Figura 1 izquierda).

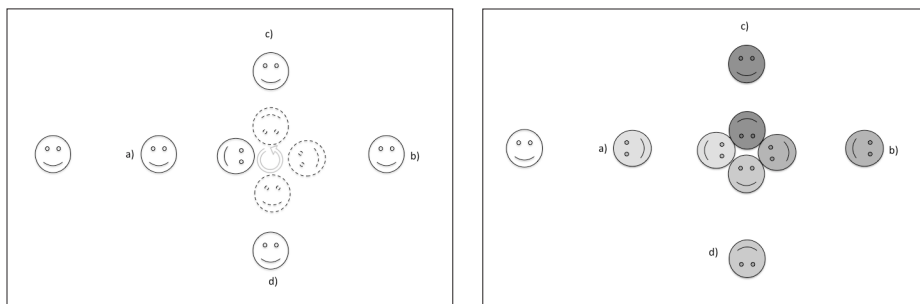


Fig. 1. Fases lunares, donde las caras y sus orientaciones representan alumnos corporeizando los tres astros: Sol (a la izquierda de cada imagen), Luna (posiciones a, b, c y d) y Tierra (centro). A la izquierda, se representa la primera corporeización de los grupos X e Y, donde la Luna se traslada pero no rota. A la derecha, se anula la rotación terrestre y cada tono de gris corresponde con la representación del par Tierra-Luna en una determinada fase.

En ambos grupos X e Y, todos los elementos del modelo presentado y sus funciones fueron identificadas por los estudiantes que no lo corporeizaban. En concreto, todos acordaron (Figura 1)

que las posiciones c) y d) de la Luna representaban los cuartos menguante y creciente, pero no se pusieron de acuerdo en si a) y b) eran Luna nueva o llena respectivamente. Parte de la clase argumentaba que a) era llena y b) nueva porque en este segundo la Tierra eclipsaba el Sol, es decir, impedía que la luz del Sol llegase a la Luna. La otra parte de la clase disentía argumentando que en a) la parte iluminada de la Luna era justamente la que la Tierra no podía ver, poniendo de manifiesto la necesidad de fijar el observador en la Tierra. El grupo que representaba la coreización manifestó no tener muy claro cómo habían representado estas dos fases. Se dejó la discusión ahí y se procedió a analizar las limitaciones.

- c) Cuando se les preguntó por las limitaciones del modelo, hubo un estudiante que señaló que el modelo no estaba a escala, que el Sol debía estar mucho más lejos. Se discutió sobre esta cuestión y ante la imposibilidad física de realizar un modelo exacto a escala se aceptó una aproximación donde el Sol estaba de manera diferenciada más lejos que la Luna y la Tierra entre sí.

Otra limitación del modelo fue la representación de la rotación de la Tierra, ante lo cual hubo una pequeña discusión. Se acabó concluyendo que, dado que la Tierra tiene un periodo de rotación mucho más pequeño (24 horas) que lo que tarda la Luna en dar una vuelta entera alrededor de la Tierra (28 días), lo mejor era eliminar la rotación terrestre y representar únicamente la fotografía de cada fase lunar, es decir, eliminar la dinámica de movimiento permanente en la representación (Figura 1 derecha). Esto además enlazó con el comentario en el apartado anterior sobre la necesidad de fijar el observador en la Tierra. El debate sobre las diferencias entre que el observador esté en el hemisferio norte o sur y la dirección de traslación de la Luna alrededor de la Tierra se dejó para una clase posterior; en este debate se discuten las diferencias entre creciente y menguante según dicho observador. Otra limitación del modelo que salió a colación fue que no se representaba la traslación de la Tierra pero todos acordaron que era preferible no hacerlo por un argumento similar al anterior: el periodo de traslación de la Tierra (365 días) es mucho mayor que lo que tarda la Luna en dar una vuelta sobre la Tierra, por lo cual, en cuanto a lo que a las fases lunares se refiere, se pueden desacoplar ambos movimientos. No se comentó nada sobre la rotación de la Luna sobre sí misma.

Segunda iteración:

- a,b) En la segunda iteración se le pidió a otro equipo que saliera incorporando al modelo los elementos de la discusión. En el grupo X, en cada fase, la Tierra, representada por un alumno, miraba hacia la Luna en una posición fija, mientras que en el grupo Y la Tierra permanecía inmóvil mirando sólo hacia a) (Figura 2).

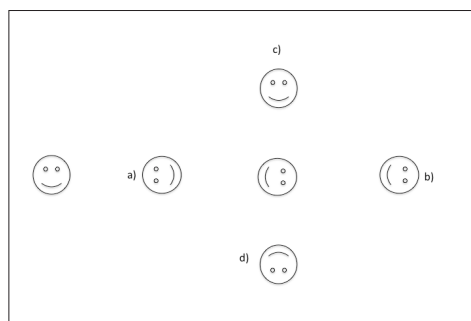


Fig. 2. Representación en el grupo Y en la segunda iteración, donde la Tierra, representada por un alumno, tiene una orientación fija.

Se dieron dos discusiones diferentes del modelo según el grupo:

- Grupo X: Un alumno argumentó que la parte de Luna que veía la Tierra en a) era oscura y por tanto que esa debía ser la fase nueva, mientras que en b) la parte de la Luna vista por la Tierra estaba iluminada. Respecto a a), varios estudiantes dijeron sólo se podía esta fase de día, ya que la parte de la Tierra que podía ver la Luna en esta posición era la iluminada por el Sol. Aquí vino una discusión sobre si la Luna se podía ver o no de día y sobre si esta acción de “ver o no ver la Luna” era o no bimodal. Los alumnos concluyeron que la Luna se podía ver de día y que además, había una gradación según las horas del día. Respecto a b), los alumnos que habían hablado sobre el eclipse en la iteración anterior, lo volvieron a poner sobre la mesa. Otro alumno dijo que el Sol era mucho más grande de cómo estaba representado y que podía iluminar perfectamente a la Luna. Otro alumno dijo que la Tierra y la Luna no tenían por qué estar alineados. Todos acordaron que este era el modelo adecuado.
- Grupo Y: En este grupo se empezó argumentando que a) era la fase llena porque estaba iluminada por el Sol y b) era la nueva porque “*la Tierra estaba de espaldas a la Luna*”, de modo que no la podía ver. En este caso, la eliminación de la rotación de la Tierra de “manera extrema” había llevado a confusión. Después de un momento de reflexión, se dejó a los alumnos discutir sobre si la Luna nueva no se ve por estar de espaldas a ella o por estar a oscuras. Esta discusión se mezcló con la rotación terrestre y la cantidad de horas en las que puede “verse” la Luna. Al finalizar la discusión los alumnos tomaron la argumentación descrita en el grupo X.

c) En ambos grupos, se decidió que una representación definitiva para la fase llena era marcar claramente la desalineación de la Tierra y la Luna, haciendo que el alumno que representaba la Tierra se agachara un poco. Otros alumnos propusieron olvidar los cuerpos y centrarse sólo en las cabezas como representación de los astros. Además, un alumno propuso incorporar una luz (linterna) al Sol, para facilitar la interpretación.

Después de esta modelización se les pidió a los alumnos que modelizaran un eclipse solar y un eclipse lunar. Los alumnos aprovecharon las discusiones sobre la alineación de la modelización anterior para proponer sus modelos.

El resto de modelizaciones (Tabla 1) se desarrollaron siguiendo el mismo esquema. En todas ellas se observaron dos fases: Una en la que los estudiantes ponían de manifiesto sus ideas previas sobre el fenómeno, muchas de ellas correspondientes a las ideas catalogadas como falsas concepciones comunes (Driver, 1985). Por ejemplo, en los estados de la materia, representar el aumento de la temperatura en los átomos, “engordándolos”. En otra fase, los alumnos proponían nuevas ideas analizando las limitaciones del modelo inicial. Estas ideas aparecían a través de la discusión. Por ejemplo, en el caso de la modelización de los átomos, la necesidad de que en el núcleo haya una fuerza fuerte para evitar la repulsión de los protones.

Tabla 1.
Resumen de los resultados de las modelizaciones realizadas.
Las opciones (a, b, c...) indican representaciones diferentes según equipos de alumnos.

Modelización	Iteración 1	Iteraciones posteriores
2	a) Planetas en distintas órbitas a la misma velocidad. b) Planetas en distintas órbitas a velocidades distintas.	Se pone de manifiesto la necesidad de tener tanto órbitas de tamaños diferentes como diferentes velocidades y se marca el observador desde la Tierra.
3	Equivalencia escala astronómica con pasos humanos.	Representación corporeizada de las distancias interplanetarias en la calle.
4	a) Estrellas cercanas a la Tierra y órbita terrestre muy grande. b) Estrellas lejanas a la Tierra y órbita terrestre muy grande.	Se pone de manifiesto la necesidad de representar tanto una distancia grande entre la Tierra y las estrellas como una órbita terrestre pequeña en comparación a ésta.
5	Se corporeizan las tres leyes de Kepler una vez enunciadas.	Se refina la corporeización de la segunda ley de Kepler (velocidad orbital cambiante según distancia al Sol).
6	Se corporeizan los fenómenos de contracción gravitacional y expansión del gas. Dificultad en incorporar la fusión de núcleos durante el proceso	Se combinan ambos fenómenos: Fusión de núcleos con contracción gravitacional y posterior expansión del gas.
7	Se representan las partículas (átomos o moléculas) y los enlaces con los brazos o fijando las posiciones; con limitaciones en las primeras propuestas (átomos pegados, aumento de la temperatura representada de distintas maneras, etc.).	Se refina el modelo de sólido con estructuras organizadas y se discute el fenómeno de la dilatación. Se refina el modelo de líquido para representar cambio de forma pero no de volumen. Se refina el modelo de gas. Se representan los cambios de estado.
8	Se representa la propagación de las ondas longitudinales y transversales en sólidos, líquidos y gases. Se discute si es posible o no y cómo.	Se refina cada una de las propagaciones.
9	Se discute la composición de un átomo y su núcleo según p, n y e. A través de las limitaciones de este modelo se discute la presencia de más partículas subatómicas.	Se refina el modelo nuclear, se discute la presencia de quarks y la presencia de la fuerza fuerte.
10	Se trabajan las propiedades de las partículas según su carga eléctrica.	Se refina el modelo en presencia de otro tipo de cargas (fuerzas) y se discute el modelo junto con la propuesta de átomo y núcleo anterior.

CONCLUSIONES

La corporeización tiene como pieza clave la necesidad de conectar con muchas más propiedades del modelo que si se usan otro tipo de representaciones, como dibujos o maquetas. La construcción de modelos en sí misma permite a los alumnos interactuar con sus ideas previas, uno de los retos más importantes que ha de incorporar la enseñanza de las ciencias. Además, la representación en vivo de los modelos pone a los alumnos en la tesitura de tener que discutir todos los detalles del fenómeno y, según muestran los resultados, son capaces de proponer y entender de manera suficientemente autónoma propiedades que en un principio pueden resultar complejas. Después de esta serie de modelizaciones, hemos visto que los alumnos son capaces de llegar a las ideas aceptadas científicamente en cada una de ellas y de incorporar fenómenos no triviales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por MINECO y FEDER a través del proyecto EDU2015-69701-P.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHER, A., ARCÀ, M., y SANMARTÍ, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. *Science Education*, 91, 398-418.
- JOHNSON-GLENBERG, M. C., LINDGREN, R., KOZIUPA, T., BOLLING, A., NAGENDRAN, A., BIRCHFIELD, D., & CRUSE, J. (2012). Serious Games in Embodied Mixed Reality Learning Environments. *Games, Learning and Society Conference*. 8, 8.
- BARSALOU, L.W. (2008). Grounded Cognition *Annual Review of Psychology*. 59, 617-45.
- CHAMIZO, J. A. (2006). Los modelos de la química, *Educación Química*, 17(4), 476-482.
- DRIVER, R. (1985). *Children's ideas in science*. Buncingham: Open University Press.
- PALOMAR, R.; SOLBES, J. (2015). Evaluación de una propuesta para la enseñanza y el aprendizaje de la astronomía en secundaria. *Enseñanza de las ciencias*, 33(2), 91-111.
- TUZÓN, P.; SOLBES, J. (2016). Particle Physics in High School: A Diagnose Study. *PLoS ONE*. 11(6), Pág e0156526
- VAN DRIEL, J. H., y VERLOOP, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24, 1255-1272.

