



# Progresión del aprendizaje del modelo de inmunidad y vacunas en educación secundaria

## Learning Progression of the Immunity and Vaccines Model in Secondary Education

Marta Gómiz-Aragón, María del Mar Aragón-Méndez, José María Oliva  
*Departamento de Didáctica, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.*  
marta.gomiz@uca.es, mariadelmar.aragon@uca.es, josemaria.oliva@uca.es

**RESUMEN** • El objetivo de este estudio es caracterizar la progresión del aprendizaje del modelo de inmunidad y vacuna en estudiantes de 3.º de la ESO. Para ello, se tomó una muestra de 207 estudiantes, a los que se les administró un cuestionario de respuesta abierta que evaluaba su desempeño en diferentes variables de progreso. Las respuestas se evaluaron mediante una rúbrica que fue analizada mediante el modelo de Rasch. Sus resultados revelaron una secuencia de niveles de dominio de aprendizajes no lineal que presentaba desfases en el avance en las diferentes variables de progreso. Además, la secuencia obtenida sirvió para identificar cinco hitos en la progresión del aprendizaje de este tópico, cuyo interés se discute con vistas al diseño de una secuencia didáctica para este tema.

**PALABRAS CLAVE:** Progresión de aprendizaje; Mapas de constructo; Secuencias de enseñanza-aprendizaje; Análisis de Rasch; Modelo de inmunidad y vacunas.

**ABSTRACT** • This study aims to characterize the learning progression of the immunity and vaccine model among lower secondary school students. A sample of 207 students was assessed using an open-ended questionnaire designed to evaluate their performance across various progression variables. Responses were scored using a rubric and analyzed through the Rasch model. The findings revealed a nonlinear sequence of learning mastery levels, with discrepancies in progression across different variables. Furthermore, the identified sequence highlighted five key milestones in the learning progression of this topic, which are discussed in relation to the design of an educational sequence for this subject.

**KEYWORDS:** Learning progression; Construct maps; Teaching-learning sequences; Rasch analysis; Immunity and vaccine model.

Recepción: mayo 2024 • Aceptación: noviembre 2024 • Publicación: marzo 2025

## INTRODUCCIÓN

La complejidad del modelo de inmunidad y vacunas (MIV) supone un reto en el aula de educación secundaria (Siani et al., 2024). En concreto, presenta dos obstáculos principales: el alto grado de abstracción de los elementos y mecanismos inmunitarios, y la multitud de interrelaciones entre conceptos propias de los sistemas biológicos, lo que exige un pensamiento complejo (Momsen et al., 2022). Además, la inmunidad tiene una dimensión colectiva, que suele pasar desapercibida en las propuestas didácticas (Gómiz-Aragón et al., 2022). Todo ello justifica la necesidad de investigaciones sobre este tema, al tratarse de un contenido curricular de interés para la alfabetización científica y el pensamiento crítico de los estudiantes (Beniermann et al., 2021; García-Carmona, 2021; Uskola et al., 2021).

Podemos establecer diferentes niveles de sofisticación del MIV. De forma global, se puede describir una evolución del modelo descriptivo, de carácter eminentemente macroscópico, al modelo científico, que incluye aspectos genéticos. Los niveles intermedios son el modelo microscópico-celular y el modelo submicroscópico-molecular. El modelo microscópico-celular resulta apropiado para la enseñanza en 3.º de la ESO, dado que es en este nivel cuando se introduce por primera vez este tema en el currículo (Real Decreto 217/2022; Ministerio de Educación y Formación Profesional, 2022). En este MIV se pueden distinguir diferentes aspectos: funcionamiento del sistema inmunitario, composición de las vacunas, mecanismo de acción de las vacunas, importancia de la vacunación, limitaciones de las vacunas y cuestiones sociocientíficas sobre la vacunación (Gómiz-Aragón et al., 2024). Cada uno engloba una serie de conceptos y conforma una variable de progreso.

Entre las propuestas sobre cómo abordar este tópico en educación secundaria, hay estudios centrados en las ventajas de enseñar inmunología para fomentar el pensamiento crítico (Akmal et al., 2024; Anderson et al., 2020). Otros destacan la importancia de abordar explícitamente los bulos y las creencias conspirativas sobre las vacunas (Bellver Ribelles et al., 2024; Cetinkaya y Saribas, 2023). Manzoni de Almeida et al. (2016) hacen una propuesta de aprendizaje basada en la indagación para promover el pensamiento crítico y la capacidad de evaluar la validez de la información científica en el ámbito de la inmunología.

Con el fin de desarrollar nuevas secuencias de enseñanza-aprendizaje (SEA), interesa averiguar cuál es la progresión del aprendizaje del MIV e identificar las dificultades asociadas, ya que este ejercicio es una herramienta útil para el diseño de SEA (Scott et al., 2020). Según estos autores, los estudios de progresión de aprendizaje enriquecen las investigaciones de diseño, al informar sobre cómo evoluciona la comprensión de los estudiantes en torno a un determinado tema. De ahí que tenga sentido discutir la relación entre la progresión de aprendizaje y la secuenciación y presentación de contenidos de una SEA, así como los retos de secuenciar conocimientos de forma lineal (Prieto Ruz et al., 2002).

Dado que no existen estudios previos que exploren la progresión del aprendizaje del MIV, es necesario plantear secuencias que propongan la evolución del MIV, teniendo en cuenta su complejidad y considerando diversas variables de progreso. En este marco, el objetivo de esta investigación es comprender cómo los estudiantes de 3.º de la ESO desarrollan su comprensión del MIV, identificando la progresión del aprendizaje subyacente. Se concretan cuatro preguntas de investigación:

- PI.1 ¿Qué dificultad relativa presentan las distintas variables de progreso del MIV?
- PI.2 ¿Cómo varía la dificultad relativa de los niveles de dominio considerados a lo largo de todas esas variables?
- PI.3 ¿Esos niveles de dominio se pueden integrar en bloques definidos que sirvan para inferir hitos de aprendizaje?
- PI.4 ¿Qué caracteriza globalmente cada una de esas etapas, en caso de existir?

## MARCO TEÓRICO

La progresión de aprendizaje se define como el desarrollo de secuencias de pensamiento cada vez más complejas en torno a ideas centrales (Plummer et al., 2020) e implica el desarrollo de un constructo. El término *constructo* se relaciona con la comprensión de un conjunto específico de conceptos y actitudes sobre un atributo subyacente (Wilson, 2023), como puede ser un modelo científico. Esta concepción está ligada a la forma en que se conceptualiza la modelización (Oliva, 2019). El aprendizaje basado en modelización puede entenderse como una evolución de los modelos implícitos y personales del alumnado hacia otros explícitos y más complejos, sofisticados y coherentes con el modelo científico (Nicolaou y Constantinou, 2014).

Las progresiones de aprendizaje no solo describen cómo las ideas de los estudiantes sobre un dominio específico se refinan a lo largo del tiempo (Corcoran et al., 2009; Duschl et al., 2011; Merritt y Krajcik, 2009). Invitan a pensar también que hay ciertos cambios cognitivos que una persona experimenta a medida que sus modelos se van aproximando al modelo científico (Clement, 2000), lo cual ayuda a la reflexión en torno a la planificación de la enseñanza a medio o largo plazo.

Para Jin et al. (2019), la progresión en el aprendizaje puede tomar diferentes formas: el enriquecimiento, la integración o la transformación del conocimiento. Estas ideas encajan dentro de las progresiones de aprendizaje evolutivas. Duschl et al. (2011) las conciben como aquellas que «refinan y definen las vías de desarrollo [del aprendizaje] mediante la identificación de niveles intermedios que luego se utilizan para reforzar la creación de significado y el razonamiento empleando intervenciones instructivas». La progresión del conocimiento científico también puede entenderse como un proceso de integración jerárquica (Pozo y Gómez-Crespo, 1998) en el que las ideas iniciales se enriquecen y (re)estructuran gradualmente en torno a un modelo escolar de referencia.

De una forma o de otra, la noción de progresión se relaciona con la capacidad de establecer niveles sucesivos de complejidad creciente en el conocimiento en un área específica. Esto ayuda a guiar a los estudiantes a través de una serie de etapas graduales hacia la comprensión de conceptos fundamentales. Esta concepción del aprendizaje se fundamenta en dos condiciones esenciales. Por un lado, debe existir cierta continuidad evolutiva en las ideas; pero, por otro, es necesario contemplar ciertos saltos o transiciones sutiles que marquen hitos en el aprendizaje.

En un número considerable de estudios, el constructo objeto de análisis se desglosa en dos o más dimensiones, que son aquellos aspectos fundamentales de la idea que se quiere estudiar. Wilson (2009) los llama «variables de progreso», las cuales se organizan en diferentes niveles de complejidad, que median entre los modelos o ideas de la ciencia que el alumnado debería comprender y aquellos otros que van adquiriendo a lo largo de su aprendizaje. Por lo tanto, sirven para monitorizar el progreso del estudiante y son indicadores que permiten evaluar su desarrollo en un dominio particular (Merritt y Krajcik, 2009). Estas variables de progreso son fundamentales en la investigación, especialmente al alinear los avances de diferentes variables, lo que permite identificar niveles de dominio de aprendizaje y marcar hitos en el proceso. Estos hitos se plantean en respuesta a las dificultades conceptuales que existen en la progresión del aprendizaje.

La progresión de aprendizaje no es un proceso espontáneo, sino que requiere una enseñanza dirigida (Shea y Duncan, 2013) que sirva de guía en el avance del alumnado (Carney et al., 2023). Los términos «trayectoria» o «itinerario» de progresión de aprendizaje reflejan la idea de que la adquisición de nuevos conocimientos depende del conocimiento existente (Duncan y Gotwals, 2015). En algunos casos, la definición de la trayectoria de progresión se desarrolla teóricamente, con mayor o menor apoyo empírico (Duncan y Hmelo Silver, 2009), mientras que, en otros, la progresión se determina a partir de datos de la investigación.

Las investigaciones empíricas sobre progresiones de aprendizaje pueden realizarse mediante análisis longitudinales o transversales. Los primeros hacen un seguimiento del aprendizaje de un grupo de estudiantes a lo largo del tiempo, identificando hitos en su avance hacia el modelo de referencia. A menudo, esta progresión se define como «hipótesis» (hipótesis de progresión), como un plan flexible que se ajusta conforme se recopilan datos sobre la efectividad de la enseñanza (Upahi y Ramnarain, 2022). Ejemplos de estudios longitudinales son los trabajos de Plummer et al. (2020) sobre el movimiento celeste, el de Uskola et al. (2018) sobre el modelo de inmunidad, el de Puig y Jiménez-Aleixandre (2022) sobre el uso de pruebas en la toma de decisiones, el de Armario et al. (2021) sobre el fenómeno de las mareas o el de Rodríguez-Mora et al. (2022) sobre el desarrollo de competencias científicas.

Los estudios transversales que analizan la dificultad de distintos elementos de un constructo se realizan con estudiantes de distinto nivel de formación, definiendo, normalmente, diferentes variables de progreso y sus respectivos niveles de dominio (v.g. Hadenfeldt et al., 2014; Pedrera et al., 2023), cuyas dificultades relativas se comparan entre sí. Posteriormente, se identifican bloques de niveles de dificultad similar que ayudan a definir etapas de progresión. Esto se observa en estudios como el de Stevens et al. (2010) sobre modelización de la estructura de la materia, el de Neumann et al. (2013) sobre la noción de energía, los de Liu y Lesniak (2005) y Morell et al. (2017) sobre naturaleza y propiedades de la materia o el de Osborne et al., (2016) sobre argumentación científica. A pesar de las limitaciones propias de los datos transversales, este enfoque proporciona una proyección razonable sobre cómo los estudiantes podrían aprender como resultado de la instrucción y si establecen conexiones entre los distintos aspectos o dimensiones del tópico estudiado (Stevens et al., 2010).

Para desarrollar progresiones de aprendizaje de forma operativa se usan, comúnmente, los mapas de constructo (*construct map*), término acuñado por Wilson (2009) para referirse a una ordenación cuidadosa de niveles de rendimiento posible para una característica específica. Estos mapas son escalas ordinales o rúbricas que establecen niveles de competencia sobre un tópico determinado, e informan sobre cómo se desenvuelven los estudiantes.

Los mapas de constructo revelan una jerarquía en términos de la dificultad de los componentes cualitativamente diferentes del constructo (Black et al. 2011), donde un aspecto particular de la cognición es necesario para alcanzar el siguiente nivel, o al menos lo facilita (Carney et al., 2023). Esto no implica necesariamente un orden cronológico estricto, es decir, no está inevitablemente relacionado con una secuencia temporal de desarrollo cognitivo. Sandoval (2014) señala que los mapas de constructo ayudan a explicitar las hipótesis sobre cómo los estudiantes progresarían; sin embargo, se centran en desarrollar una estructura de evaluación para un constructo en particular y no pretenden guiar directamente las actividades en el aula. Las progresiones de aprendizaje sí tienen este propósito.

No existe una única forma de establecer una progresión de aprendizaje. Wilson (2012) propone el modelo de Rasch (1960) como metodología de abordaje. Dicho modelo proporciona un enfoque probabilístico mediante el que se estima, en función de la información procedente del conjunto de respuestas, la respuesta más probable de una persona a un determinado ítem. Ofrece la ventaja de interpretar medidas individuales y discretas en términos de un espectro continuo de rasgos subyacentes generales que abarcan a todas las personas y proporciona estimaciones de la dificultad relativa de las tareas. En el análisis de Rasch, se construye una escala única latente en unidades denominadas *logits* (Masters, 1982) que permite cuantificar comparativamente la dificultad de cada ítem y el desempeño de cada estudiante. Esto facilita el escalado de un conjunto de elementos de evaluación, como los niveles de una rúbrica para diferentes variables de progreso. Así, se puede investigar la progresión en el aprendizaje del alumnado sin necesidad de realizar pruebas pretest y postest.

No obstante, sus resultados no deben interpretarse como el único criterio de decisión en la secuenciación didáctica, ya que existen otros factores que influyen en la instrucción, como la lógica interna de

los contenidos enseñados o el uso de ciclos de aprendizaje, haciendo que este no sea un proceso lineal, sino iterativo (Wilson, 2012).

## METODOLOGÍA

### Instrumento de recogida de información

Se utilizó un cuestionario de respuesta abierta (tabla 1) con seis ítems asociados a los seis aspectos o variables de progreso del MIV, cuyo diseño y validación se describe en estudios previos (Gómiz-Aragón et al., 2024). La primera parte del cuestionario incluía los ítems sobre el funcionamiento del sistema inmunitario, en el contexto de la infección y de las vacunas. La segunda trataba sobre la vacunación, en concreto sobre la importancia colectiva de la vacunación y los argumentos empleados en el debate sociocientífico sobre su obligatoriedad.

Tabla 1.  
Cuestionario para explorar el MIV del alumnado.

Parte	Aspecto tratado	Ítems
1	Funcionamiento del sistema inmunitario	I1. ¿Qué ocurre en nuestro cuerpo cuando nos contagiamos?
	Composición de las vacunas	I2. ¿De qué están hechas las vacunas?
	Mecanismo de acción de las vacunas	I3. ¿Es lo mismo vacunar que curar? Explica tu respuesta.
2	Importancia de la vacunación	I4. A la hora de controlar una enfermedad infecciosa, para cada una de las frases indica si estás de acuerdo o no y explica por qué. Habiéndome vacunado yo es suficiente, da igual lo que hagan los demás. Cuantas más personas estén vacunadas de una enfermedad mejor para todos. Da igual si la gente se vacuna o no, las enfermedades son un proceso natural y no podemos controlar su evolución.
	Limitaciones de las vacunas	I5. ¿Piensas que corremos algún riesgo al vacunarnos? ¿Por qué? Si crees que sí, indica cuáles.
	Cuestiones sociocientíficas sobre la vacunación	I6. Hay personas que no se vacunan o que deciden no vacunar a sus hijos e hijas. ¿Cuáles piensas que son sus razones? Coméntalas.

### Participantes

En el estudio participaron un total de 207 estudiantes de 3.º de la ESO (14-15 años), 111 mujeres y 96 hombres. De ellos, 105 ya habían tratado el tema del sistema inmunitario en el currículum, mientras que 102 no. Se procuraba así disponer de una variedad de niveles de desempeño entre los participantes. Esto es fundamental en un estudio transversal como este, que pretende identificar hitos y bloques de niveles de desempeño que puedan definir una posible secuencia de dificultad en la progresión.

### Procedimientos de análisis de la información

En el análisis de datos se combinaron procedimientos cualitativos y cuantitativos. Un análisis cualitativo previo permitió categorizar las respuestas de los estudiantes en seis escalas progresivas –una para cada ítem– de cuatro categorías. Cada categoría se corresponde con escalas ordinales de cuatro niveles

de dominio, donde cada nivel supone un avance en el dominio del MIV (tabla 2). Esta escala progresiva de niveles de dominio constituye el mapa de constructo de la investigación.

Tabla 2.  
Mapa de constructo del MIV.

Variables de progreso (ítems)	Niveles de dominio			
	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
I1. Funcionamiento del sistema inmunitario	Interpretación restringida a hechos observables	Descripción en términos bélicos sin explicar mecanismos	Descripción parcial: sin incluir la memoria inmunitaria	Descripción adecuada: incluyendo la memoria inmunitaria
I2. Composición de las vacunas	Descripción equívoca de la composición	Descripción de la composición basada en la dosis	Descripción parcial: vacunas no virulentas o antigénicas	Descripción adecuada: vacunas no virulentas y antigénicas
I3. Mecanismo de acción de las vacunas	Descripción equívoca del mecanismo de acción	Descripción como refuerzo del sistema inmunitario	Descripción parcial: activación del sistema inmunitario	Descripción adecuada: activación del sistema inmunitario y la memoria inmunitaria
I4. Importancia de la vacunación	Falta de reconocimiento de la importancia	Reconocimiento de la importancia individual	Reconocimiento de la importancia colectiva sin mencionar la inmunidad de grupo	Reconocimiento de la importancia colectiva justificando la inmunidad de grupo
I5. Limitaciones de las vacunas	Afirmación de la ausencia de riesgo	Reconocimiento de riesgos incorrectos o inespecíficos	Reconocimiento acertado de efectos secundarios	Reconocimiento acertado de riesgos y efectos secundarios
I6. Aspectos sociocientíficos	Desconocimiento de argumentos antivacunas	Reconocimiento de argumentos antivacunas incorrectos	Reconocimiento de razones antivacunas socioculturales o científicas	Reconocimiento de razones antivacunas socioculturales y científicas

Categorizadas las respuestas, se realizó un análisis cuantitativo aplicando el modelo de Rasch, cumpliendo las escalas construidas, las condiciones de unidimensionalidad (Gómiz-Aragón et al., 2024). Primero, se determinó la dificultad relativa de las distintas variables de progreso del MIV (PI.1). Luego se mapeó, mediante un diagrama de Wright, el desempeño global del alumnado y la dificultad de los niveles de dominio contemplados en el mapa de constructo (PI.2). Para esto se usaron los umbrales de Andrich, que determinan los puntos de tránsito entre cada nivel de la rúbrica y el siguiente: del 1 al 2 (umbral 2), del 2 al 3 (umbral 3) y del 3 al 4 (umbral 4), comparando la dificultad relativa de dichos niveles.

Todos los análisis probabilísticos se realizaron mediante el *software* Winsteps® v.4.4.7 (Linacre, 2022) aplicado a escalas politómicas ordinales.

El tercer objetivo de este estudio (PI.3) es identificar hitos de aprendizaje a partir de la secuencia de dificultad del conjunto de niveles de la rúbrica utilizada. En cada pregunta, los niveles de dominio pueden abarcar diferentes grados de dificultad y solaparse con los de otras preguntas. Sin embargo, es posible que niveles diferentes de preguntas distintas presenten una dificultad similar, lo que puede generar solapamientos, así como ciertas discontinuidades. El mapa de Wright proporciona la información necesaria para identificar estos patrones. Las discontinuidades en la dificultad de dos ideas consecutivas en la progresión, ya sea dentro del mismo ítem o entre ítems diferentes, se denominan «escalones» de aprendizaje, y sirven para definir etapas e hitos clave en las transiciones entre niveles. En este estudio, se consideró que hay un escalón cuando la diferencia entre dos umbrales supera los 0,5 *logits* (PI.4).

## RESULTADOS

Para responder a la PI.1, la tabla 3 muestra las medidas de dificultad de cada variable de progreso de la rúbrica en unidades *logits*, procesadas mediante el modelo de Rasch. En este modelo, la escala de dificultad varía entre menos infinito y más infinito, aunque generalmente se encuentran en un rango de valores manejables, en este caso, aproximadamente de  $-1$  a  $+1$  (de menor a mayor dificultad). Debido a la estructura del modelo de Rasch, la suma de dificultades siempre debe ser cero, ya que representan valores relativos entre sí.

Tabla 3.  
Medida de dificultad de las variables de progreso.

<i>Ítem o variable de progreso</i>	<i>Dificultad (logits)</i>	<i>Error</i>
I1. Funcionamiento del sistema inmunitario	0,95	0,10
I2. Composición de las vacunas	-0,27	0,09
I3. Mecanismo de acción de las vacunas	0,29	0,09
I4. Importancia de la vacunación	-0,02	0,09
I5. Limitaciones de las vacunas	0,02	0,09
I6. Aspectos sociocientíficos	-0,97	0,09

La comparación de los valores obtenidos permite detectar la dificultad relativa de las distintas variables de progreso. Se observa que la mayor dificultad la presenta la comprensión del funcionamiento del sistema inmunitario (I1), seguida del mecanismo de acción de las vacunas (I3). La más sencilla se corresponde con los aspectos sociocientíficos relacionados con el reconocimiento de las razones socioculturales y científicas antivacunas (I6), a la que sigue el tema de la composición de las vacunas (I2). En posiciones intermedias se sitúan las limitaciones y la importancia de la vacunación (I4 y I5).

Para dar respuesta a la PI.2, un estudio más detallado a través del mapa de Wright permite examinar la dificultad relativa de los niveles de dominio de las distintas variables. El mapa de Wright (figura 1) proporciona una imagen de conjunto que permite hacer comparaciones de la habilidad de un estudiante necesaria para alcanzar un determinado nivel. A la izquierda del eje aparece la distribución de medidas de desempeño global del alumnado en el cuestionario en puntuaciones *logits*, siendo mayor cuando más arriba esté situado el estudiante. Se puede observar que la distribución de puntuaciones se asemeja a una curva normal. A la derecha, se muestran los umbrales de Andrich correspondientes a saltos entre los diversos niveles de dominio, los cuales aumentan progresivamente de abajo hacia arriba. Si un estudiante se sitúa por encima de un determinado umbral, significa que su competencia en el constructo evaluado (en este caso el MIV) supera ese nivel y todos los que se encuentran por debajo.

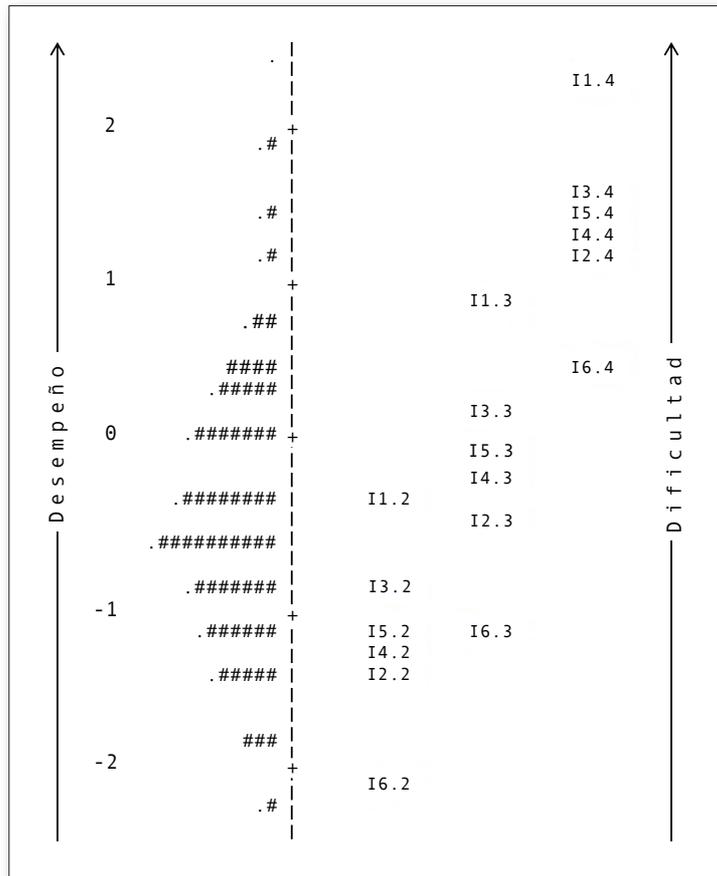


Fig. 1. Mapa de Wright usando los umbrales de Andrich como límites entre categorías. Símbolos empleados por el *software*: «.» indica de 1 a 3 personas; «#» indica 4 personas.

Un análisis detallado de la figura 1 revela algunos hechos importantes. Primero, para cada variable de progreso, los umbrales de Andrich están ordenados según lo esperado, estando suficientemente distanciados entre sí, lo que sugiere la adecuación del mapa de constructo definido mediante la rúbrica. Segundo, aparecen desfases en los umbrales de un mismo orden correspondientes a diferentes variables de progreso, como es el caso, por ejemplo, de los niveles I1.2 y I2.2. Tercero, en ocasiones, niveles de dominio de orden diferente para variables distintas ocupan posiciones semejantes en el mapa, como es el caso de I5.2 y I6.3 o de I1.2 y I4.3, respectivamente, lo que indica cierto grado de solapamiento entre variables. Cuarto, hay cuatro ocasiones en las que la distancia entre unos umbrales consecutivos es notablemente mayor que entre otros, lo que sugiere la existencia de escalones de aprendizaje. Es el caso de las separaciones entre I6.2 y I2.2, entre I3.2 y I2.3, entre I6.4 y I1.3, y entre I3.4 y I1.4.

De estos datos se desprende que el aprendizaje del MIV se inicia de manera diversificada, abordando distintos aspectos de manera casi simultánea, pero en profundidades variables. Además, se observa una progresión no lineal y que los estudiantes pueden avanzar en un aspecto del modelo mientras aún están formando ideas iniciales en otro. Tomando todo en consideración, la descripción de la progresión del aprendizaje del MIV se ha organizado en cinco etapas: base, inicio, desarrollo, consolidación y dominio del aprendizaje, separadas por cuatro escalones de aprendizaje (figura 2). Estos bloques integran niveles de dominio de diferentes variables de progreso y ayudan a definir hitos de aprendizaje a través de transiciones de parejas sucesivas (PI.3). Caracterizamos, a continuación, cada etapa (PI.4).

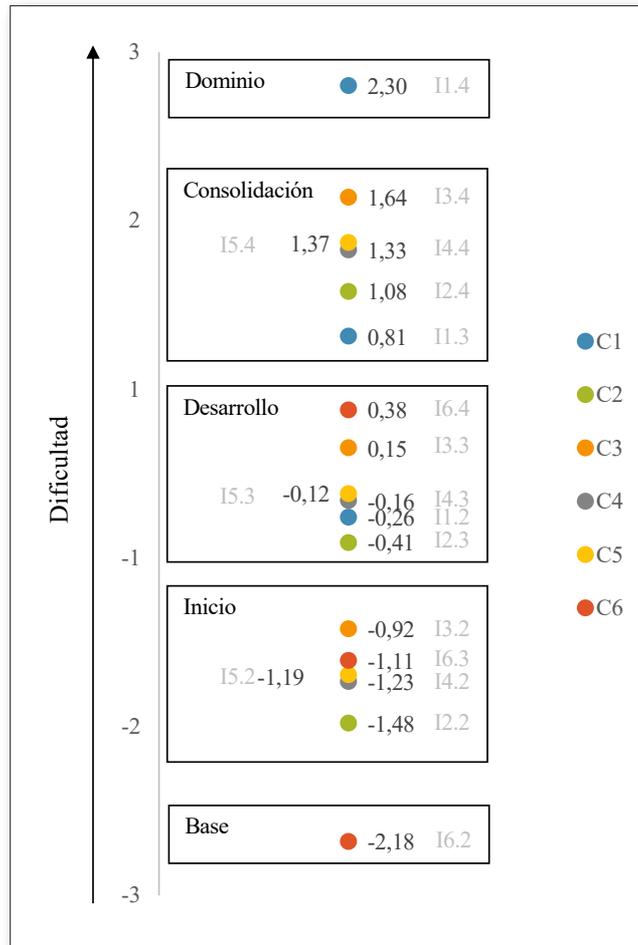


Fig. 2. Mapa de dificultad representando las cinco etapas de la progresión.

### Base

En la etapa base de la progresión se sitúa el umbral I6.2, que implica pasar del desconocimiento sobre que algunas personas rechazan la vacunación a la asunción de que hay ciertas razones que motivan este posicionamiento, aunque en este estadio los estudiantes pueden no saber cuáles son o considerar motivos que no se corresponden con la realidad.

### Inicio

En la etapa inicial suceden varios avances. Bajo el criterio de la dificultad, el primero corresponde al umbral I2.2, y se pasa de asumir que la composición de las vacunas está basada en patógenos a que esta no es virulenta, aunque esta propiedad se justifica por la dosis administrada, sin disociar el carácter antigénico de la virulencia. Le siguen los niveles de dominio I4.2 y I5.2, que se solapan con el I6.3. Esto implica considerar la relevancia de las vacunas, aunque inicialmente sin una comprensión profunda, o limitar la justificación de esta a su importancia individual, sin considerar su impacto en la salud colectiva. Esto se asumiría de manera sinérgica con el reconocimiento de riesgos asociados a las vacunas, aunque en este estadio del aprendizaje no se especifiquen o no sean ciertos. Además, se amplía la visión

sobre las cuestiones sociocientíficas, identificando algunas razones que podrían llevar a las personas a oponerse a la vacunación, considerando dilemas más complejos de índole científica o sociocultural. En esta etapa se incluye también un primer avance respecto al ítem I3, del que resulta la consideración de las vacunas como refuerzo del sistema inmunitario, en lugar de confundirlas con medicamentos, como los antibióticos, que destruyen microorganismos.

## Desarrollo

La etapa de desarrollo comenzaría con un segundo avance respecto al ítem I2, consistente en comprender la no virulencia de las vacunas o en asumir su composición antigénica, aunque no se relacionan estas dos propiedades. A partir de aquí, los estudiantes se inician en el aprendizaje del funcionamiento del sistema inmunitario (I1.2), posiblemente estableciendo, en un principio, paralelismos con su propia experiencia vital y sus conocimientos previos. Este primer acercamiento al funcionamiento del sistema inmunitario ocurriría como respuesta a querer entender el proceso detrás de la enfermedad o de la necesidad de vacunarse (I4.3), y pasa por entender que el organismo tiene un papel activo ante la infección, aunque no se ofrezcan mecanismos explicativos (I5.3). En este punto de la progresión se refuerza la comprensión sobre la importancia y limitaciones de las vacunas, y se llega a justificar la importancia colectiva de las vacunas aludiendo a los contagios e identificando algunos de los riesgos de la vacunación.

Además, en esta etapa se alcanza el umbral I3.3, identificando que las vacunas interactúan con el organismo activando el sistema inmunitario. Un saber más sofisticado sobre cómo actúan las vacunas justificaría alcanzar un mayor conocimiento sobre cuestiones sociocientíficas (I6.4), ya que los conocimientos desarrollados sobre el MIV hasta este momento permitían identificar la naturaleza de los argumentos en contra de las vacunas, fundamentalmente razones científicas o socioculturales.

## Consolidación

La etapa de consolidación implica el reconocimiento, al menos parcial, de los mecanismos inmunitarios (ítem I1), describiendo algunos elementos y mecanismos implicados en la respuesta inmunitaria. Esto permitiría superar los siguientes umbrales de aprendizaje. Por su dificultad, primero se consolidaría el conocimiento relativo al ítem I2, justificando que la activación del sistema inmunitario, sin causar enfermedad, se debe a la composición antigénica de las vacunas. A esto le seguiría el alcance de los umbrales I4.4 y I5.4. De este modo, los conocimientos adquiridos sobre el MIV permiten desarrollar una perspectiva crítica sobre las vacunas, considerando tanto sus beneficios –a través de la comprensión del concepto de «inmunidad de grupo», esencial para entender la importancia colectiva de la vacunación– como sus limitaciones, mediante la adquisición de herramientas para evaluar los riesgos asociados a las vacunas. Por último, se favorece la adquisición de un saber adecuado sobre el mecanismo de acción de las vacunas ajustado al modelo científico escolar (I3.4).

## Dominio

En la etapa dominio, se supera el último escalón de dificultad en la progresión del aprendizaje del MIV, relativo al ítem I1, al incluir la memoria inmunitaria, lo que conduce a consolidar, sintetizar y apropiarse del MIV.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de Rasch revela, por un lado, que los saberes del alumnado sobre inmunidad y vacunas no son ideas aisladas, sino que se desarrollan de manera coordinada como partes de un mismo constructo, lo que concuerda con el grado de unidimensionalidad detectado en estudios anteriores (Gómez-Aragón et al., 2024). Parte de las ideas de los alumnos podría proceder de teorías implícitas (Pozo, 1993) y otras de saberes aprendidos. Desde esta perspectiva, el MIV parece servir de armazón para construir estructuras conceptuales complejas, partiendo de los conocimientos informales del alumnado, lo que está acorde con las teorías sobre progresión de aprendizaje (Todd y Kenyon, 2016). Esto implica que existe un conjunto de ideas ordenadas por un criterio de complejidad creciente que contribuiría a regular el proceso de progresión del aprendizaje del MIV. Además, los datos obtenidos parecen apuntar a que el dominio de ciertos aspectos del modelo es un paso necesario, o quizás facilitador, para alcanzar cierto nivel en otros, aunque esta progresión no es necesariamente lineal (Wilson, 2012). O sea, los estudiantes no tienen que dominar por completo un aspecto antes de avanzar en otros.

Por otro lado, y de manera en cierta forma paradójica, un mayor dominio de los aspectos sociocientíficos se relaciona con una mayor capacidad para abordar diversos elementos del modelo. Así, mientras que las variables conceptuales, como el funcionamiento inmunitario, son más complejas para los estudiantes, las variables sociales, como la importancia de la vacunación y los factores sociocientíficos, son más accesibles. Esto desafía la idea de que la alfabetización científica sea un requisito previo para abordar temas sociocientíficos, al igual que el hecho de que en España exista una percepción positiva hacia las vacunas y altos índices de vacunación (Lobera et al., 2019), a pesar de que la alfabetización científica se sitúa por debajo de la media de los países (OCDE, 2023). Recíprocamente, se observa también que los niveles más altos de comprensión de los aspectos sociocientíficos del MIV se alcanzan después de dominar los aspectos iniciales relacionados con el funcionamiento inmunitario y las vacunas. Esta interacción refleja una relación cíclica entre los modelos y el contexto a lo largo de la enseñanza. Los estudiantes conectan los conceptos con el contexto, lo que contribuye a dotar de significado a sus ideas (Gilbert et al., 2011) y que estas se transfieran a diferentes situaciones. Esto tiene implicaciones importantes, ya que el conocimiento sobre los aspectos más conceptuales del MIV puede influir en la capacidad de los estudiantes para considerar aspectos complejos en la toma de decisiones en contextos sanitarios, específicamente en relación con la vacunación (Uskola et al., 2018).

Según todo ello, la relación entre alfabetización científica y posicionamiento ante temas sociocientíficos no es lineal, sino circular y retroactiva, siendo siempre los contextos cotidianos los que sirven de base para aprendizajes racionales de más alto nivel. Tal como menciona Cañal (2004), el conocimiento cotidiano surge de la interacción con el entorno y las personas, y aunque suele ser superficial y acrítico, su interiorización puede resultar valiosa en algunos casos para la supervivencia y el desenvolvimiento personal, siendo particularmente efectiva si se genera ante escenarios emotivos. Es el caso de lo que pudo ocurrir, por ejemplo, en el período de pandemia en España, cuando el desarrollo de campañas informativas a toda la población, la confianza en el sistema sanitario (Pearson et al., 2021) y el dramatismo de las muertes por COVID-19 pudo impulsar opiniones favorables hacia la vacunación y actuaciones consecuentes con ello.

En este contexto, un interés inicial por temas sociocientíficos, junto a opiniones y predisposiciones al respecto generadas de manera informal, podría catalizar el aprendizaje de conceptos científicos en contextos formales. Y, por otra parte también, una mayor alfabetización científica permitiría un entendimiento más crítico de estos temas, lo que contribuiría a opiniones más sólidas basadas en visiones cada vez más sofisticadas. En este sentido, no conviene olvidar el papel fundamental que juegan las variables afectivas en este ciclo de transformación y refuerzo mutuo (Duit et al., 2008).

Estudios como este buscan establecer criterios para el diseño SEA basados en modelización, con el fin de hacer más fluidas las transiciones entre niveles y facilitar así la progresión del alumnado (Black et al., 2011). No obstante, la cronología de contenidos de las SEA no debe seguir necesariamente el orden determinado por la progresión de aprendizaje, descrita bajo un criterio de dificultad. Resultaría artificioso hablar, por ejemplo, de las limitaciones de las vacunas sin conocer su mecanismo de acción y sin hacer una reconstrucción del modelo del sistema inmunitario en sí mismo. Deben prevalecer otros criterios, como la relación lógica entre conceptos marcada por el modelo científico.

La progresión del MIV descrita ratifica que el proceso de modelización no es lineal, sino que presenta un carácter cíclico. Así, teniendo en cuenta que los ítems 1, 2 y 3 podrían estar relacionados con el aprendizaje del MIV, mientras que los ítems 4, 5 y 6 lo estarían con su aplicación, los resultados obtenidos sugieren que la aplicación de los modelos favorece su desarrollo, implicando habilidades propias del proceso de modelización (Couso, 2020). Debemos entender, por tanto, que la construcción y aplicación de modelos pueden ser tareas coordinadas (Schwarz et al., 2012) y no tanto de carácter secuencial. Esto no resta importancia a la trayectoria de dificultad descrita, la cual permite delimitar posibles hitos de progresión en el aprendizaje.

A continuación, se concretan estrategias para superar los hitos identificados en la progresión del aprendizaje del MIV.

El primer hito involucra a los niveles iniciales de los aspectos sobre el debate sociocientífico acerca de las vacunas y su composición (I6.2-I2.2). Esto refuerza la idea de que, al presentar un contexto conocido, se pueden introducir conceptos que pasarían a formar parte del modelo en cuestión. Esta hipótesis se basa en la idea de que el contexto tiene potencial suficiente para contribuir a la apropiación del MIV y a la construcción tanto de saberes científicos como de aquellos propios del contexto (Sanmartí et al., 2011). Así, el uso repetido del contexto en el aula y las prácticas de modelización podrían llevar a superar las dificultades de aprendizaje y a una mejor comprensión del MIV.

El segundo hito conlleva un salto desde el primer nivel de dominio del mecanismo de acción de las vacunas hasta un nivel de aproximación parcial en relación con su composición (I3.2-I2.3), lo que exige relacionar las vacunas con el sistema inmunitario, una idea menos accesible cognitivamente. Aquí, parece oportuno el uso de analogías que propicien un acercamiento a conceptos abstractos. Acorde con las investigaciones de Gilbert y Justi (2016), la participación de los estudiantes en la formulación y elaboración de analogías contribuye al proceso de generación de modelos.

El tercer hito se supera tras alcanzar el máximo nivel de aproximación al modelo en el debate sociocientífico de la vacunación y antes de manejar un nivel de aproximación parcial sobre el funcionamiento del sistema inmunitario (I6.4-I1.3). En este punto, parece necesario planificar el andamiaje docente. Dado que existe una reasignación continua de significado en la construcción del modelo, es fundamental un enfoque comunicativo en el que prime el diálogo en el aula (Scott et al. 2006), dado que el docente debe recibir información sobre las interpretaciones y reinterpretaciones de los estudiantes. No obstante, se considera que cualquier secuencia debe incluir tanto enfoques comunicativos autoritarios como dialógicos para lograr la comprensión significativa del conocimiento conceptual. La tensión entre estos discursos se logra superar mediante la dimensión interactiva de la comunicación docente-estudiante.

El último hito de aprendizaje se sitúa en los niveles más complejos de los aspectos sobre el funcionamiento de las vacunas y del sistema inmunitario (I3.4-I1.4). Teniendo en cuenta el carácter cíclico de los procesos de modelización, la aplicación del modelo de inmunidad en el contexto de la vacunación contribuiría al saber sobre el funcionamiento del sistema inmunitario. Atendiendo a esto, la SEA debería procurar que la aplicación del MIV contribuyese al aprendizaje del propio modelo.

## LIMITACIONES Y PERSPECTIVAS DE LA INVESTIGACIÓN

Si bien los resultados del estudio proporcionan información de interés en torno a la progresión del aprendizaje del MIV, existen limitaciones que considerar. Una de ellas es tener en cuenta que la descripción de la progresión del aprendizaje del MIV –igual que de cualquier otro modelo científico– debe entenderse como un proceso flexible, que puede ser diferente en otros contextos distintos al de este estudio, donde se empleen otros instrumentos para la evaluación que se hace de sus ideas (Wilson, 2012). Entre otros aspectos, hemos de considerar el modelo de referencia usado, que se corresponde con el nivel 4 de cada una de las variables de progreso (tabla 2).

Otra limitación es que los resultados están basados únicamente en lo que los estudiantes escriben (Bamberger y Davis, 2013). Esto podría influir en los resultados, ya que las respuestas escritas pueden no reflejar con exactitud el modelo que maneja cada estudiante, puesto que, en general, el alumnado de la ESO tiene dificultades en la expresión escrita (Archila, 2015), entre otros, tiende a simplificar la complejidad de la información. En coherencia con el estudio de De Andrade et al. (2019), se ha observado que los participantes se han centrado en un conjunto limitado de causas o han construido sus explicaciones con información fragmentada o ideas de sentido común.

Las conclusiones de este estudio deben servir para establecer intervenciones que ayuden a superar las dificultades detectadas. De este modo, el diseño de la SEA ha de enfocarse hacia los actos discursivos propios de la modelización y hacia los recursos de modelización (Oliva et al., 2022), considerando qué aspectos suponen mayores obstáculos para la apropiación del modelo.

La investigación podría ampliarse a niveles educativos superiores e inferiores, analizando la progresión del aprendizaje de los MIV más completos/complejos, y explorar también la progresión del aprendizaje del modelo en estudiantes de etapas educativas tempranas.

## AGRADECIMIENTOS

Este artículo es parte del proyecto PID2022-136353NB-I00, financiado por MICIU/AEI/10.13039/501100011033 y por FEDER/UE.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akmal, M., Lateef, R. S., Wolyniak, M. J. y Orenstein, W. (2024). Evaluating the Impact of Educational Videos on Vaccine Science Knowledge Among Virginia High School Students. *American Journal of Health Education*, 55(3), 220-228. <https://doi.org/10.1080/19325037.2023.2295553>
- Anderson, A. E., Justement, L. B. y Bruns, H. A. (2020). Using real-world examples of the COVID-19 pandemic to increase student confidence in their scientific literacy skills. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 48(6), 678-684. <https://doi.org/10.1002/bmb.21474>
- Archila, P. A. (2015). Uso de conectores y vocabulario espontáneo en la argumentación escrita: aportes a la alfabetización científica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 12(3), 402-418. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2015.v12.i3.02](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.02)
- Armario, M., Jiménez-Tenorio, N. y Oliva, J.M. (2021) La interpretación del fenómeno de las mareas como foco para el diseño de una propuesta didáctica en formación inicial de maestros. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 3802. [http://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i3.3802](http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3802)
- Bamberger, Y. M. y Davis, E. A. (2013). Middle-School Science Students' Scientific Modelling Performances Across Content Areas and Within a Learning Progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213-238. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.624133>

- Bellver Ribelles, V., Solaz-Portolés, J. J. y Sanjosé López, V. (2024). Creencias conspirativas sobre vacunas y algunos factores que influyen sobre ellas: un estudio con alumnado de educación secundaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 21(2), 2101. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2024.v21.i2.2101](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i2.2101)
- Beniermann, A., Mecklenburg, L. y Upmeier zu Belzen, A. (2021). Reasoning on Controversial Science Issues in Science Education and Science Communication. *Education Sciences*, 11(9), 522. <https://doi.org/10.3390/educsci11090522>
- Black, P., Wilson, M. y Yao, S.-Y. (2011). Road Maps for Learning: A Guide to the Navigation of Learning Progressions. *Measurement: Interdisciplinary Research & Perspective*, 9(2-3), 71-123. <https://doi.org/10.1080/15366367.2011.591654>
- Cañal, P. (2004). La alfabetización científica: ¿necesidad o utopía? *Culture and Education*, 16(3), 245-257. <https://doi.org/10.1174/1135640042360951>
- Carney, M. B., Smith, E. y Hughes, G. (2023). Construct maps and item frameworks: an example in proportional reasoning. *Mathematics Education Research Journal*, 35(4), 849-877. <https://doi.org/10.1007/s13394-022-00415-z>
- Cetinkaya, E. y Saribas, D. (2023). Facilitating Middle School Students' Reasoning About Vaccines. *Science & Education*, 32(2), 361-380. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00318-8>
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053. <https://doi.org/10.1080/095006900416901>
- Corcoran, T. B., Mosher, F. A. y Rogat, A. (2009). *Learning progressions in science: An evidence-based approach to reform*. Consortium for Policy Research in Education.
- Couso, D. (2020). Aprender ciencia escolar implica construir modelos cada vez más sofisticados de los fenómenos del mundo. En D. Couso, M. R. Jiménez-Liso, C. Refojo, y J. A., Sacristán (Coords.), *Enseñando Ciencia con Ciencia* (pp. 63-74). Penguin Random House.
- de Andrade, V., Freire, S. y Baptista, M. (2019). Constructing Scientific Explanations: a System of Analysis for Students' Explanations. *Research in Science Education*, 49(3), 787-807. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9648-9>
- Duit, R., Treagust, D. F. y Widodo, A. (2008). Teaching science for conceptual change: Theory and practice. En S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 629-646). Routledge.
- Duncan, R. G. y Gotwals, A. W. (2015). A Tale of Two Progressions: On the Benefits of Careful Comparisons. *Science Education*, 99(3), 410-416. <https://doi.org/10.1002/sc.21167>
- Duncan, R. G. y Hmelo Silver, C. E. (2009). Learning progressions: Aligning curriculum, instruction, and assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 606-609. <https://doi.org/10.1002/tea.20316>
- Duschl, R., Maeng, S. y Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>
- García-Carmona, A. (2021). Learning about the nature of science through the critical and reflective reading of news on the COVID-19 pandemic. *Cultural Studies of Science Education*, 16(4), 1015-1028. <https://doi.org/10.1007/s11422-021-10092-2>
- Gilbert, J. K., Bulte, A. M. W. y Pilot, A. (2011). Concept Development and Transfer in Context Based Science Education. *International Journal of Science Education*, 33(6), 817-837. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.493185>
- Gilbert, J. K. y Justi, R. (2016). Analogies in Modelling-Based Teaching and Learning. En J. K. Gilbert y R. Justi (Eds.), *Modelling-based Teaching in Science Education* (Vol. 9, pp. 149-169). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-29039-3_8)

- Gómiz-Aragón, M., Aragón-Méndez, M. M. y Oliva, J. M. (2022). Los modelos de inmunidad y vacunas en los libros de texto de la enseñanza obligatoria. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 42, 155-174. <https://doi.org/10.7203/dces.42.2189>
- Gómiz-Aragón, M., Aragón-Méndez, M. M. y Oliva, J. M. (2024). Saberes del alumnado de secundaria sobre el modelo de inmunidad y vacunas. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 55, 100-116. <https://doi.org/10.17227/ted.num55-18761>
- Hadenfeldt, J. C., Liu, X. y Neumann, K. (2014). Framing students' progression in understanding matter: a review of previous research. *Studies in Science Education*, 50(2), 181-208. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.945829>
- Jin, H., Mikeska, J. N., Hokayem, H. y Mavronikolas, E. (2019). Toward coherence in curriculum, instruction, and assessment: A review of learning progression literature. *Science Education*, 103(5), 1206-1234. <https://doi.org/10.1002/sce.21525>
- Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387. <https://doi.org/10.1080/09500690110110142>
- Linacre, J. M. (2022). *Winsteps® Rasch measurement computer program* (Version 5.2.2). <https://www.winsteps.com/>
- Liu, X. y Lesniak, K. M. (2005). Students' progression of understanding the matter concept from elementary to high school. *Science Education*, 89(3), 433-450. <https://doi.org/10.1002/sce.20056>
- Lobera, J., Hornsey, M. y Díaz-Catalán, C. (2019). Los factores que influyen en la reticencia a la vacunación en España. En J. Lobera y C. Torres-Albero (Eds.), *Percepción social de la Ciencia y la Tecnología* (pp. 13-35). Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).
- Manzoni de Almeida, D., Marzin-Janvier, P. y Frateschi Trivelato, S. L. (2016). Analysis of epistemic practices in reports of higher education students groups in carrying out the inquiry-based activity of immunology. *Investigações em Ensino de Ciências*, 21(2), 105-120. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v21n2p105>
- Masters, G. N. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika*, 47(2), 149-174. <https://doi.org/10.1007/BF02296272>
- Merritt, J. y Krajcik, J. (24-26 de junio de 2009). Developing a Calibrated Progress Variable for the Particle Nature of Matter. *Learning Progressions in Science Conference*, Iowa City, IA.
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022). Real Decreto 117/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, 76, 31 de marzo de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>
- Momsen, J., Speth, E. B., Wyse, S. y Long, T. (2022). Using systems and systems thinking to unify biology education. *CBE —Life Sciences Education*, 21(3), 1-11. <https://doi.org/10.1187/cbe.21-05-0118>
- Morell, L., Collier, T., Black, P. y Wilson, M. (2017). A construct-modeling approach to develop a learning progression of how students understand the structure of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(8), 1024-1048. <https://doi.org/10.1002/tea.21397>
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J. y Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162-188. <https://doi.org/10.1002/tea.21061>
- Nicolaou, Chr. Th. y Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52-73. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>

- OECD (2023), *PISA 2022 Results (Volume II): Learning During – and From – Disruption*, PISA, OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/a97db61c-en>.
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 37(2), 5-24. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Oliva, J. M., Aragón-Méndez, M. M., Aragón, L. y Jiménez-Tenorio, N. (Eds.). (2022). *Modelizar en las clases de ciencias: Actividades y recursos útiles para la enseñanza y aprendizaje con modelos*. Octaedro.
- Osborne, J. F., Henderson, J. B., MacPherson, A., Szu, E., Wild, A. y Yao, S.-Y. (2016). The development and validation of a learning progression for argumentation in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(6), 821-846. <https://doi.org/10.1002/tea.21316>
- Pearson, N., Atkinson, S. y Jackson, C. (2021). *A Global health monitor 2021. A Global Advisor survey*. Ipsos. <https://www.ipsos.com/sites/default/files/ct/news/documents/2021-10/Global-health-service-monitor-2021-ipsos.pdf>
- Pedraza, O., Barrutia, O. y Díez, J. R. (2023). Modelo Científico de la Nutrición Vegetal: análisis epistemológico y propuesta de progresión de aprendizaje. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 3102. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i3.3102](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3102)
- Plummer, J. D., Palma, C., Rubin, K., Flarend, A., Ong, Y. S., Ghent, C., Gleason, T., McDonald, S., Botzer, B. y Furman, T. (2020). Evaluating a learning progression for the solar system: Progress along gravity and dynamical properties dimensions. *Science Education*, 104(3), 530-554. <https://doi.org/10.1002/sc.21567>
- Pozo, J. I. (1993). Psicología y Didáctica de las Ciencias de la naturaleza: ¿concepciones alternativas? *Infancia y Aprendizaje*, (62-63), 187-204. <https://doi.org/10.1080/02103702.1993.10822381>
- Pozo, J. I. y Gómez-Crespo, M. Á. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Ediciones Morata.
- Prieto Ruz, T., Blanco López, Á. y Brero Peinado, V.-B. (2002). La progresión en el aprendizaje de dominios específicos: una propuesta para la investigación. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(1), 3-14. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3976>
- Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2022). The Integration of Critical Thinking in Biology and Environmental Education. En A. Puig y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Contributions and Further Directions* (pp. 269-276). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7_15)
- Rasch, G. (1960). *Probabilistic Models for Some Intelligence and Attainment Tests*. Danmarks Paedagogiske Institut.
- Rodríguez-Mora, F., Cebrián-Robles, D. y Blanco-López, Á. (2022). An Assessment Using Rubrics and the Rasch Model of 14/15-Year-Old Students' Difficulties in Arguing About Bottled Water Consumption. *Research in Science Education*, 52(4), 1075-1091. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09985-z>
- Sandoval, W. (2014). Conjecture Mapping: An Approach to Systematic Educational Design Research. *Journal of the Learning Sciences*, 23(1), 18-36. <https://doi.org/10.1080/10508406.2013.778204>
- Sanmartí, N., Burgoa, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 27, 62-69. <http://hdl.handle.net/11162/24541>
- Schwarz, C., Reiser, B. J., Acher, A., Kenyon, L. y Fortus, D. (2012). Models: Challenges in Defining a Learning Progression for Scientific Modeling. En A. M. H. Seel (Ed.), *Learning Progressions in Science* (pp. 101-137). SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6091-824-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-824-7_6)

- Scott, E. E., Wenderoth, M. P. y Doherty, J. H. (2020). Design-Based Research: A Methodology to Extend and Enrich Biology Education Research. *CBE —Life Sciences Education*, 19(3), es11. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-11-0245>
- Shea, N. A. y Duncan, R. G. (2013). From Theory to Data: The Process of Refining Learning Progressions. *Journal of the Learning Sciences*, 22(1), 7-32. <https://doi.org/10.1080/10508406.2012.691924>
- Siani, M., Dubovi, I., Borushko, A. y Haskel-Ittah, M. (2024). Teaching immunology in the 21st century: a scoping review of emerging challenges and strategies. *International Journal of Science Education*, 1-22. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2300380>
- Scott, P. H., Mortimer, E. F. y Aguiar, O. G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90(4), 605-631. <https://doi.org/10.1002/sc.20131>
- Stevens, S. Y., Delgado, C. y Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687-715. <https://doi.org/10.1002/tea.20324>
- Todd, A. y Kenyon, L. (2016). Empirical refinements of a molecular genetics learning progression: The molecular constructs. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(9), 1385-1418. <https://doi.org/10.1002/tea.21262>
- Upahi, J. E. y Ramnarain, U. (2022). Evidence of Foundational Knowledge and Conjectural Pathways in Science Learning Progressions. *Science & Education*, 31(1), 55-92. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00226-x>
- Uskola, A., Burgoa, B. y Maguregi, G. (2018). Influencia de la ayuda del profesorado en la construcción del modelo de sistema inmunológico y su aplicación en las tomas de decisión. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 15(3), 1-18, 3604. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i3.3604](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3604)
- Uskola, A., Burgoa, B. y Maguregi, G. (2021). Integración del conocimiento científico y de la capacidad argumentativa en tomas de decisión sobre temas sociocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1-21, 1101. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2021.v18.i1.1101](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1101)
- Wilson, M. (2009). Measuring progressions: Assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 716-730. <https://doi.org/10.1002/tea.20318>
- Wilson, M. (2012). Responding To A Challenge That Learning Progressions Pose To Measurement Practice. En A. C. Alonzo y A. W. Gotwals (Eds.), *Learning Progressions in Science* (pp. 317-343). SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6091-824-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-824-7_14)
- Wilson, M. (2014). Consideraciones para la medición de las progresiones de aprendizaje en donde el aprendizaje objetivo se representa como un ciclo. *Pensamiento Educativo: Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 51(1), 156-174. <https://doi.org/10.7764/PEL.51.1.2014.24>
- Wilson, M. (2023). *Constructing Measures. An Item Response Modeling Approach*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003286929>

---

# Learning Progression of the Immunity and Vaccines Model in Secondary Education

Marta Gómiz-Aragón, María del Mar Aragón-Méndez, José María Oliva  
Departamento de Didáctica, Universidad de Cádiz, Cádiz, España.  
marta.gomiz@uca.es, mariadelmar.aragon@uca.es, josemaria.oliva@uca.es

The study explores issues related to the learning progression of the immunity and vaccines model (IVM), such as the difficulty of progression variables, their variation across domain levels, and the integration of these levels to identify learning milestones.

Learning progression is understood as the development of increasingly complex sequences of thought associated with the construction of a concept that integrates ideas and attitudes about an underlying attribute, such as a scientific model. This process is linked to modelling, defined as the evolution of personal models into others that are more explicit, complex and aligned with scientific knowledge.

There are different ways to define learning progressions. The Rasch model is one of the most relevant approaches. This probabilistic model estimates responses based on questionnaire data, measuring latent traits on a continuous scale of *logits*. This approach enables the interpretation of both the students' performance and the relative difficulty of tasks, scaling difficulty levels for different progression variables.

The study utilized an open-response questionnaire with six items on the IVM, which had been previously designed and validated. The questionnaire covered two areas: the functioning of the immune system and vaccines, and the socioscientific importance of vaccination. A total of 207 third-year secondary education students (aged 14-15), with and without prior training on the immune system, participated in the study. Responses were categorized into six progressive scales, and the Rasch model was applied to assess the relative difficulty of variables and map students' performance at different mastery levels.

The results of the analysis revealed discontinuities in difficulty between levels, allowing for the identification of key learning milestones in the learning progression. The findings showed that IVM learning follows a non-linear progression, with students advancing in one aspect of the model while still forming initial ideas in another.

Five learning stages were identified, separated by difficulty thresholds, with advances in different variables as well as clear transitions. The analysis indicates that students' knowledge is not fragmented but develops as a unified construct, aligning with previous research highlighting the one-dimensionality of knowledge in these topics. The results also suggest that learning about immunity and vaccines progresses from more accessible areas (socioscientific aspects) to more complex ones (the functioning of the immune system). Scientific literacy is not a prerequisite for addressing socioscientific issues, and greater mastery of these social aspects can facilitate the understanding of scientific concepts.

The study proposes strategies such as using familiar contexts and analogies to overcome learning difficulties. It also suggests that the modelling process should be cyclical, enabling students to review and adjust their models as they acquire new knowledge.