

¿Cuál es la noción de Resistencia a Antibióticos del profesorado en formación desde el enfoque “One Health”?

Inés Martínez Pena 

Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidad de Santiago de Compostela, España.
inesmartinez.pena@usc.es

Araitz Uskola Ibarluzea 

Departamento de Didáctica de la Matemática y de las ciencias experimentales y sociales,
Universidad del País Vasco UPV/EHU, España. araitz.uskola@ehu.eus

Blanca Puig 

Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidad de Santiago de Compostela, España.
blanca.puig@usc.es

[Recibido: 15 febrero 2024, Revisado: 1 mayo 2024, Aceptado: 20 mayo 2024]

Resumen: La resistencia a antibióticos (RA) es un problema que puede abordarse desde el enfoque One Health (OH). Sin embargo, su enseñanza en el aula de ciencias no ha sido todavía incorporada desde este enfoque integral. Este trabajo investiga cuál es la noción de RA que presenta el profesorado en formación de dos universidades de España y en qué medida incorporan la idea de contagio bajo un enfoque OH. Se analizan las respuestas individuales a un cuestionario sobre RA, siendo codificadas de acuerdo al agente y mecanismo de resistencia señalado, a las referencias que hacen a la idea de contagio, así como a las interacciones entre la salud humana, ambiental y animal que explican este problema. Los resultados muestran que los participantes tienen una noción de RA alejada de la científica y de una visión sistémica de acuerdo con el enfoque OH. Se derivan implicaciones para mejorar su adecuada comprensión y enseñanza en el aula.

Palabras clave: Resistencia a antibióticos; Profesorado en formación; Una Salud.

What is the notion of Antibiotic Resistance of pre-service teachers from the “One Health” approach?

Abstract: Antibiotics resistance (AR) constitutes a problem that can be tackled from the One Health (OH) approach. However, it has not been addressed in science education from this integral perspective. This research seeks to analyse the AR notion of pre-service teachers in two Spanish universities and to what extent do they integrate the concept of contagion from the OH approach. The individual responses to a questionnaire about AR were coded according to the resistant subject and the mechanism for resistance mentioned. The references they made to contagion as well as to the interactions between human, environmental, and animal health were also analyzed. The results show that they have an AR notion inconsistent with the current scientific view, and lack a systemic view of the problem coherent with the notion of OH. Implications to improve its adequate understanding and teaching are proposed.

Keywords: Antibiotic resistance; Pre-service teachers; One Health.

Para citar este artículo: Martínez Pena, I., Uskola Ibarluzea, A. y Puig, B. (2024). ¿Cuál es la noción de Resistencia a Antibióticos del profesorado en formación desde el enfoque “One Health”? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 21(2), 2603. doi:10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2024.v21.i2.2603

Introducción

Alfabetización en salud desde el enfoque “One Health”

La pandemia de COVID-19 fue un ejemplo más, entre otros tantos, que nos mostró que vivimos en un mundo globalizado, en el que los problemas de salud pública humana no se limitan a áreas geográficas específicas, y que la salud humana está estrechamente relacionada con la salud animal y ambiental. Este enfoque integral de salud y de otras problemáticas socio-científicas se encuentra en concordancia con el enfoque *One Health* o *Una Salud* (OH) y es necesario para mejorar la alfabetización en salud del alumnado. El enfoque OH se encuentra íntimamente relacionado con la idea de salud ambiental, dado que unifica el concepto de “salud” y de “medio ambiente”, a través de los determinantes de la salud que actúa como eje vertebrador aglutinando ambos conceptos (Carrasquer-Álvarez et al., 2023). Introducir estos enfoques en el aula de ciencias es fundamental para promover la alfabetización científica y, especialmente, la alfabetización en salud. La alfabetización científica ha sido recientemente reconceptualizada para focalizarse en una perspectiva más crítica y emancipadora, centrada en empoderar al alumnado para desarrollar acciones críticas y significativas respecto a cuestiones socio-científicas (Valladares, 2021). Nutbeam (2000) distinguió entre alfabetización en salud *funcional*, *interactiva* y *crítica*. La alfabetización *funcional* en salud consiste en proporcionar información sobre los riesgos y sobre los sistemas de salud; la alfabetización *interactiva* se centra en generar motivación y confianza en uno mismo, y finalmente, la alfabetización *crítica* en salud busca la acción social y política, además de la acción individual. En el contexto de la educación para la salud resulta fundamental integrar el componente de acción, que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] (2018) considera en la definición del Learning Compass 2030 y que tiene como objetivo promover el bienestar futuro individual, comunitario y del propio planeta. La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2021) ofrece una definición de alfabetización en salud que es coherente con la visión crítica de Nutbeam: «La alfabetización en salud representa el conocimiento y las competencias personales que se acumulan a través de las actividades diarias, las interacciones sociales y a través de generaciones. (...) que las personas accedan, comprendan, evalúen y utilicen información y servicios de manera que promuevan y mantengan la buena salud y el bienestar para ellos y quienes los rodean» (Nutbeam, 2000, p. 6).

Sin embargo, esta definición de alfabetización en salud no tiene en cuenta que la salud de los seres humanos, los animales domésticos y salvajes, y el medio ambiente en general (incluidas las plantas y los ecosistemas) están estrechamente vinculados y son interdependientes (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO] et al., 2019). La alfabetización en salud bajo un enfoque OH se alinea con el concepto de salud ambiental (Carrasquer-Álvarez et al., 2023), ya que implica el desarrollo de acciones sociales y políticas, además de individuales, para proteger la salud de los ecosistemas y de los animales, y la salud pública (FAO et al., 2019), lo que, en consecuencia, dota de un mayor peso a la alfabetización crítica en salud (Nutbeam, 2000).

A pesar del apoyo institucional y el aumento de iniciativas gubernamentales (OMS, OIE, FAO, etc.), en materia OH, su abordaje explícito dentro de los sistemas educativos continúa siendo una tarea pendiente (Barrett et al., 2010). A pesar de que las políticas educativas han ido avanzando hacia este objetivo, como se puede apreciar en el actual marco curricular, que incluye el enfoque de OH dentro de la enseñanza de Biología y

Geología de Educación Secundaria (Ley Orgánica 3/2020, 2020), las instituciones educativas no han desarrollado estrategias específicas para la enseñanza y aprendizaje desde el marco OH en las aulas de ciencias. Un estudio Delphi internacional realizado por Kilstadius y Gericke (2017) sobre enfermedades contagiosas con potencial para convertirse en epidemias y pandemias en los libros de texto, anticipaba ya este escenario. Los autores comprobaron que la noción de zoonosis no se incorporaba en los textos analizados (Kilstadius y Gericke, 2017). Comprender la zoonosis resulta clave de cara a poder desarrollar un enfoque OH que integre la estrecha interdependencia entre la salud animal, ecológica y humana (FAO et al., 2019), que explica el origen de muchas enfermedades infecciosas emergentes en humanos como el ébola, la gripe, el zika, la fiebre del Nilo, y la COVID-19, entre otras.

En una entrevista publicada a William Karesh (Karesh, 2020), autoridad científica en el ámbito OH, el experto hacía referencia a la necesidad de centrarse en las causas de estas enfermedades, más que en los resultados, e incluía dentro de los desafíos OH la Resistencia a Antibióticos (RA).

Potencialidades del enfoque OH en la enseñanza de la Resistencia a Antibióticos y posibles desafíos

La RA es un problema de salud global de primer orden, acuñado por expertos y expertas en salud como la *pandemia silenciosa*. Los antibióticos están dejando de ser efectivos y prueba de ello es que más del 70% de las bacterias patógenas que originan infecciones hospitalarias son resistentes a múltiples antibióticos (Alkorta y Garbisu, 2019). Sin embargo, la magnitud de este problema no ha calado lo suficiente entre la población. De hecho, se estima que la RA fue la responsable de 1,27 millones de muertes a nivel global en 2019 y que contribuyó a 4,95 millones de muertes en ese mismo año (Antimicrobial Resistance Collaborators, 2022). Se prevé que para 2050 la RA sea la primera causa de muerte (Quindós-Andrés, 2020).

La RA es un problema OH paradigmático, como indica la propia OMS (2023), ya que, entre otros factores, el uso de antibióticos en la agricultura y la ganadería constituye una parte importante de las causas de este problema (Aslam et al., 2021; Laconi et al., 2021). De hecho, algunos autores reivindican la necesidad de abordar la RA desde el enfoque OH (Shamas y Baffoe-Bonnie, 2023). No obstante, de acuerdo a la revisión de la literatura, el enfoque OH no ha sido todavía integrado de forma explícita en la enseñanza de la problemática de la RA en las aulas de secundaria, lo que puede ser debido a la reciente incorporación de este enfoque en el currículo oficial.

La RA y el enfoque OH se incluyen en el currículo de enseñanzas mínimas. Sin embargo, existen variaciones intraterritoriales en los niveles educativos en los que se introducen estos conceptos, como es el caso de las dos comunidades autónomas en las que se desarrolla este estudio. En el País Vasco (Decreto 77/2023, 2023), ambas, la noción RA y el enfoque OH, se introducen durante la Educación Secundaria (1º y 2º curso, principalmente), mientras que en Galicia, se introduce el uso adecuado de antibióticos en Educación Secundaria (3º curso) (Decreto 156/2022, 2022) para abordar explícitamente el problema de RA en Bachillerato (1º curso) (Decreto 157/2022, 2022). En esta última no existe mención explícita a OH en el currículo de Educación Secundaria. Únicamente se incluye explícitamente el enfoque OH en la modalidad general de Bachillerato (2º curso), donde se incluye en relación con los ecosistemas y la sostenibilidad, pero no con problemáticas de salud. La falta de relación entre la salud humana y el ambiente o la salud

animal fue apreciada en un reciente estudio en el que se realiza un análisis comparativo de libros de texto de Educación Secundaria (Carrasquer-Álvarez et al., 2023).

La enseñanza de la RA presenta, al igual que otros problemas de salud, desafíos cognitivos, como ponen de manifiesto las dificultades encontradas por parte del alumnado de Educación Secundaria (10-12 años) para comprender nociones básicas de salud, como el concepto de *enfermedad infecciosa*, las diferencias entre virus y bacterias, o la relevancia y funciones de las vacunas (Calavia et al., 2022; Rönner et al., 2023a, 2023b). En concreto, Rönner et al. (2023a, 2023b) observaron una noción poco clara del concepto de enfermedad infecciosa, así como preconcepciones erróneas sobre el tamaño y la patogenicidad de distintos tipos de microorganismos y sobre la diferencia entre virus y bacterias, probablemente debido a la influencia de la COVID-19 y al hecho de que esta enfermedad presente diversos tipos de manifestaciones clínicas. Además, también observaron que el concepto de infección presente en el alumnado fue construido, principalmente, a partir de recursos informales, evidenciando la necesidad de mejorar su enseñanza en la educación formal. Respecto a la comprensión del alumnado acerca de la RA, estudios previos realizados con alumnado universitario (mayores de 18 años) han identificado dificultades relacionadas con identificar adecuadamente el agente resistente y los mecanismos evolutivos por los que se genera la resistencia. En cuanto al agente, un porcentaje relevante de estudiantes afirmó que la RA se produce debido a que el organismo de la persona desarrolla la resistencia, al contestar un cuestionario (Shahpawee et al., 2020).

En lo referente a los mecanismos que generan la RA, se ha utilizado la RA como contexto para desarrollar y evaluar el conocimiento del alumnado sobre selección natural (Peel et al., 2019). Con este objetivo, se han diseñado actividades y secuencias didácticas para que estudiantes de distintas edades desarrollen conocimientos sobre cómo se originan las mutaciones, la adaptación, la selección natural y la evolución. Por ejemplo, Peel et al. (2019) llevaron a cabo actividades con varios ciclos de modelización que incluían simulaciones virtuales para trabajar los conceptos implicados en la selección natural y la generación de la RA con alumnado de 10º grado. Estos mismos conceptos se trabajaron también con alumnado universitario de Biología, los cuales analizaron datos de secuenciación del genoma completo de brotes hospitalarios para identificar especies bacterianas y genes de RA (Pierce y de Man, 2019). En esta misma línea, Bohlin et al. (2018) emplearon animaciones sobre la RA con alumnado de 13-14 años, debido a que el alumnado de 15 años había mostrado dificultades con esta noción en los tests realizados en Suecia. Además, los medios e incluso, los libros de texto no abordaban de forma explícita cuestiones relativas a la evolución para trabajar la RA (Bohlin y Höst, 2015). Las animaciones han sido también empleadas para tratar de ayudar al alumnado a superar la idea de que las mutaciones se originan como respuesta al medio (Wanford et al., 2018), es decir, al antibiótico.

A pesar de la importancia de estos estudios previos, que ayudan a orientar la enseñanza de la RA, ninguno ha puesto el énfasis en el fenómeno de la RA como problema de salud global (OMS, 2023), que puede adquirir una dimensión pandémica. Para ello, sería necesario dar relevancia al mecanismo del contagio, a la transmisión de bacterias resistentes entre personas y, entre personas y el medio ambiente (incluyendo a las plantas) o los animales. Kilstadius y Gericke (2017) subrayaron esta necesidad en un estudio Delphi en el que incluyeron el uso de antibióticos y la resistencia a ellos; los expertos participantes propusieron seis conceptos necesarios para ser una persona alfabetizada en salud en lo

referente al contagio. La RA no se relacionaba con las enfermedades contagiosas y en educación solo se trataba para comprender los mecanismos evolutivos, siendo necesaria esta nueva perspectiva: «El último tema sobre el uso de antibióticos y la resistencia a los antibióticos no estaba previamente relacionado con enfermedades contagiosas. En educación, esto se plantea en otros contextos temáticos, como la evolución de los microorganismos y su capacidad para volverse resistentes a los antibióticos (Bohlin y Höst, 2015). Debido al creciente problema de la resistencia a los antibióticos, los expertos de este estudio pensaron que la RA debería abordarse en el contexto de los contagios para hacer más visibles sus consecuencias» (Kilstadius y Gericke, 2017, p. 2277).

En España, destacan los trabajos realizados por Robredo y colaboradores (p.e. Robredo et al., 2023; Robredo y Torres, 2021) en el que participan investigadoras de un grupo de investigación de *Resistencia a los antibióticos desde un enfoque One Health* (Robredo y Torres, 2021, p. 3301-3). Si bien el objetivo perseguido en sus estudios no consiste en analizar el enfoque OH entre el alumnado en relación a la RA u otros problemas de salud, se introduce este enfoque de manera más o menos explícita. Por ejemplo, en el caso de un cuestionario realizado a un grupo de estudiantes de secundaria (Robredo y Torres, 2021), se incluyen tres preguntas sobre distintos aspectos relacionados con los microorganismos, el uso de antibióticos y la RA, se relacionan con el contagio, con la transmisión de bacterias resistentes y, en una de ellas se introduce el contagio entre humanos y animales. En otro trabajo, Robredo et al. (2023), presentan un proyecto de aprendizaje-servicio llevado a cabo con alumnado universitario y de secundaria que implica la recogida de muestras de suelos para la identificación de bacterias. El proyecto consiste en identificar qué bacterias son capaces de producir moléculas potencialmente antimicrobianas. Aunque, como en el caso anterior, el proyecto no incluye entre sus objetivos el desarrollo del enfoque OH por parte del alumnado, el contexto (el suelo) que proponen para estudiar la problemática de la RA, conecta las esferas humana y ambiental que forman parte del enfoque OH.

Preguntas de investigación

A pesar de la relevancia de los estudios previos sobre cómo orientar la enseñanza de RA, ninguno de ellos ha abordado esta problemática desde una perspectiva integradora de la salud, como la que ofrece el enfoque OH. Además, la mayoría de los estudios citados se han realizado con alumnado de Educación Secundaria, siendo limitados los trabajos con estudiantes universitarios. No se han encontrado estudios centrados en el profesorado en formación. En este sentido, este trabajo pretende hacer una contribución significativa, aportando un análisis sobre la visión de RA del profesorado, como punto de partida para poder mejorar la calidad de su formación.

En este contexto, el presente estudio, partiendo de una noción compleja de RA, pretende analizar la noción de RA que tiene el profesorado en formación de educación primaria. Así las preguntas de investigación son:

- PI1. ¿Qué noción tiene el profesorado en formación acerca de la RA?
- PI2. ¿En qué medida incorporan la idea de contagio en su noción de RA?
- PI3. ¿En qué medida muestra el profesorado en formación un enfoque OH en su noción de RA? Concretamente, ¿qué interacciones con el medio ambiente y los animales es capaz el profesorado en formación de identificar para explicar la noción de RA?

Metodología

Participantes y contexto

Los participantes del estudio fueron estudiantes del Grado de Educación Primaria de dos universidades públicas españolas. En la primera de ellas (UA) participaron 45 estudiantes (denominados A1-A45, 70 % chicas) de una asignatura optativa de 4º curso en la que se tratan perspectivas innovadoras en enseñanza de las ciencias. En las asignaturas del Grado, no habían tratado los microorganismos más allá de considerar a las bacterias dentro de uno de los reinos de los seres vivos. En la segunda universidad (UB) participaron 72 estudiantes (denominados B1-B72, 78 % chicas) de una asignatura obligatoria de 3º curso orientada a la enseñanza de ciencias naturales en educación primaria desde un enfoque basado en las prácticas científicas. Esta asignatura constituye el primer contacto del alumnado del Grado con contenidos de salud y de medio ambiente. Cabe destacar en esta asignatura de la UB que los microorganismos habían sido previamente trabajados en la materia al trabajar hábitos de higiene e introducir el caso de historia de la ciencia de Ignaz Semmelweis. Además, usando este caso, realizaron una actividad experimental en la que pudieron visualizar las diferencias al aplicar un antibiótico frente a un complejo homeopático en placas de cultivo en las que habían proliferado microbios. Se mencionó la RA como problema.

La secuencia de actividades en torno a la RA se implementó en el primer semestre del curso 2022/23 en ambas universidades, con el objetivo de que comprendieran el problema, desarrollaran una visión sistémica y reflexionaran sobre las metodologías empleadas en la secuencia y su potencial para su uso en las aulas de primaria. Previo a la implementación de la secuencia, respondieron a un cuestionario sobre la RA. Los estudiantes de UA rellenaron el cuestionario online presencialmente en clase (aproximadamente 20 minutos); los de UB lo hicieron fuera de las horas de clase a lo largo de una semana. Debido a estas diferencias entre UA y UB, los datos se presentan por separado.

Instrumentos y métodos de análisis

La tabla 1 resume las preguntas del cuestionario analizadas, sus principales características y su relación con las PI. Como se observa, las preguntas son de distinta naturaleza: C1 es una pregunta cerrada y directa, C2 plantea una situación de aplicación sobre una enfermedad concreta, C3 y C4 requieren una reflexión profunda sobre las diversas posibilidades de contagio y de las interconexiones humanos-animales-ecosistema. Esto es, exigen una atenta abstracción de la idea que se va a transferir, lo que implica mayor dificultad (Salomon y Perkins, 1989). Las preguntas fueron diseñadas por dos de las investigadoras, con amplia experiencia y contrastadas de manera informal con miembros de los grupos de investigación. Cada una de las preguntas del cuestionario se encaminaron a recoger datos y poder dar respuesta a una o varias de las preguntas planteadas en el estudio. En concreto, se especifica a continuación cuál era el objetivo de las diferentes cuestiones planteadas.

Para evaluar el conocimiento de los estudiantes acerca de la RA (PI1) se tuvieron en cuenta tres de las preguntas del cuestionario, la pregunta cerrada C1 y las preguntas abiertas C2 y C3. El análisis se centra en dos aspectos relacionados con la RA: a) el organismo resistente; b) el mecanismo que genera la RA.

En el caso del sujeto resistente, se analizó si indicaron que quienes generan la resistencia son las personas, los microorganismos o ambos.

Tabla 1. Preguntas del cuestionario analizadas y su relación con las preguntas de investigación (PI).

Preguntas del cuestionario inicial sobre RA	C/A*	PI relacionadas
C1. Cuando se dice que una bacteria es resistente a un antibiótico, ¿qué significa? a. La bacteria se ha adaptado a ese antibiótico b. La bacteria ha mutado y esa mutación le confiere resistencia al antibiótico c. La persona ha generado tolerancia al antibiótico d. Todas las anteriores	C	PI1
C2. Ana tiene un problema de cistitis y después de un tiempo tomando antibiótico, le dicen que tiene resistencia. ¿Crees que esto quiere decir que Ana, aunque se cure esta vez, su cuerpo se ha vuelto resistente y si vuelve a tener cistitis, el antibiótico nunca funcionará?, ¿es su cuerpo el que se ha vuelto resistente? Explícalo	A	PI1, PI3
C3. ¿Crees que la resistencia a antibióticos es un problema sólo para la persona que toma antibióticos? Es decir, que una persona que contraiga una infección pero no toma antibióticos nunca va a tener este problema?	A	PI1, PI2, PI3
C4. ¿Crees que la resistencia a antibióticos es un problema solo para la persona que tiene ese problema? Razona tu respuesta	A	PI2, PI3

* C: pregunta cerrada; A: pregunta abierta

Respecto al mecanismo, se categorizaron las respuestas en dos categorías, tal y como se resume en la tabla 2.

Tabla 2. Categorías y subcategorías de las respuestas en relación al tipo de mecanismo de contagio al que hacen referencia.

Categoría	Subcategoría	Descripción
A – Menciona mecanismo	A.1 - Adecuado	Mencionan algunos de los siguientes conceptos <ul style="list-style-type: none"> • Algunas bacterias son resistentes • Las mutaciones generan RA • Selección bacteriana por antibiótico
	A.2 - Inadecuado	Mencionan algunos de los siguientes conceptos <ul style="list-style-type: none"> • Acostumbrarse • El antibiótico genera RA • El antibiótico produce mutación
B – No menciona mecanismo	-	Mencionan algunas de los siguientes conceptos <ul style="list-style-type: none"> • Diversidad bacteriana • Mutación

Con el objetivo de poder comprobar de qué manera incorporaron la idea de contagio dentro de su noción de RA (PI2), se analizaron las respuestas a las preguntas C3 y C4. Se establecieron tres niveles de integración de la idea de contagio: El nivel más bajo, 0, corresponde a respuestas en las que no se menciona la posibilidad de contagio; en el nivel 1 lo hacen implícitamente, al considerar que el problema puede trascender al individuo y afectar a la comunidad; y el nivel 2, que corresponde a las respuestas que explícitamente hacen referencia a la posibilidad de transmisión de bacterias. No se incluyeron en este nivel a los estudiantes que consideraron que la RA es un problema comunitario o social porque los recursos para atender al individuo son de la sociedad.

En los casos en que se analizaron varias preguntas para una misma PI (tanto en PI1 como en PI2) se realizó, además, un análisis conjunto de las preguntas, indicando en cada caso, el mejor resultado de cada estudiante.

Por último, en cuanto a la integración del enfoque OH (PI3), se analizaron las alusiones a elementos no humanos, relacionados con animales, plantas, o el medio ambiente en todas las respuestas a las preguntas del cuestionario.

Para los cálculos estadísticos se empleó el programa IBM SPSS Statistics 28.

Resultados

Se presentan los resultados destinando cada apartado a cada pregunta de investigación. En cada pregunta, cuando se utilizaron varios instrumentos, se dan los resultados desglosados y, a continuación, los resultados derivados del análisis conjunto. En cada sección, los datos se presentan desglosados por universidad.

Noción del profesorado en formación acerca de la RA (PI1)

Identificación del sujeto que desarrolla RA

Los resultados obtenidos en el análisis de la pregunta cerrada C1 se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de la pregunta cerrada C1. Los valores se han expresado en número de alumnado participante (n) y porcentaje de alumnado (%) por cada opción de respuesta de la pregunta C1.

Respuesta	UA (nUA= 45)	UB (nUB= 72)
a	5 (11,1 %)	8 (11,1 %)
b	10 (22,2 %)	33 (45,8 %)
c	4 (8,9 %)	3 (4,2 %)
d	26 (57,8 %)	28 (38,9 %)

Los resultados (tabla 3) muestran que en UB los participantes mostraron más respuestas en las que identificaron correctamente a los microorganismos (a y b), en comparación con los de UA.

Los resultados derivados del análisis conjunto de las preguntas abiertas C2 y C3 se presentan a continuación en la figura 1.

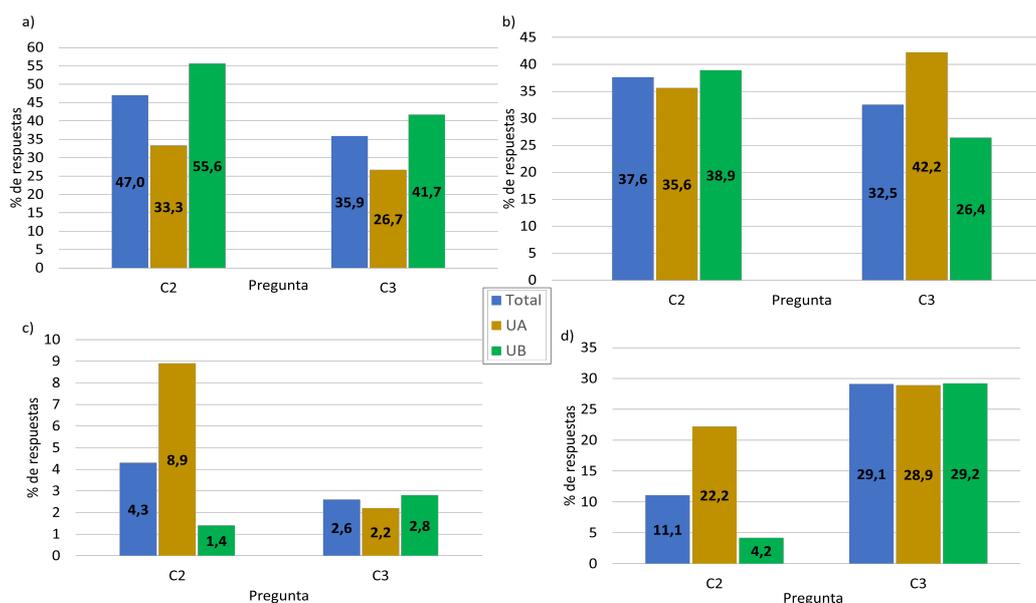


Figura 1. Resultados del análisis conjunto de las preguntas abiertas C2 y C3. Porcentaje (%) de respuestas que identifican como sujetos de RA a) Microorganismos; b) Personas; c) Ambos y d) No identifica.

A nivel global se observa en ambas preguntas que la mayoría de las respuestas identifican correctamente a los microorganismos como sujetos de RA. En concreto, la C2 muestra un mayor porcentaje de respuestas que identifican a microorganismos que C3 (figura 1a). En este sentido, existen diferencias entre las dos universidades, siendo más del doble las respuestas que identifican a microorganismos en UB (figura 1a), en comparación con UA (figura 1a).

Sin embargo, se observa también un elevado porcentaje de respuestas que identifican inadecuadamente a las personas como sujetos de la RA (figura 1b). Asimismo, existe un porcentaje de respuestas minoritario en las que inadecuadamente se identifican a las bacterias y a las personas como sujetos de la RA (figura 1c).

Además, en la resolución de estas preguntas abiertas se observa un elevado porcentaje de respuestas en las que no se identifica al sujeto de RA. Por otro lado, se ha realizado un análisis conjunto de la pregunta cerrada C1 y de las dos preguntas abiertas, C2 y C3, en relación con la proporción de respuestas que identifican correctamente a los microorganismos como sujetos de RA, tal y como muestra la figura 2.

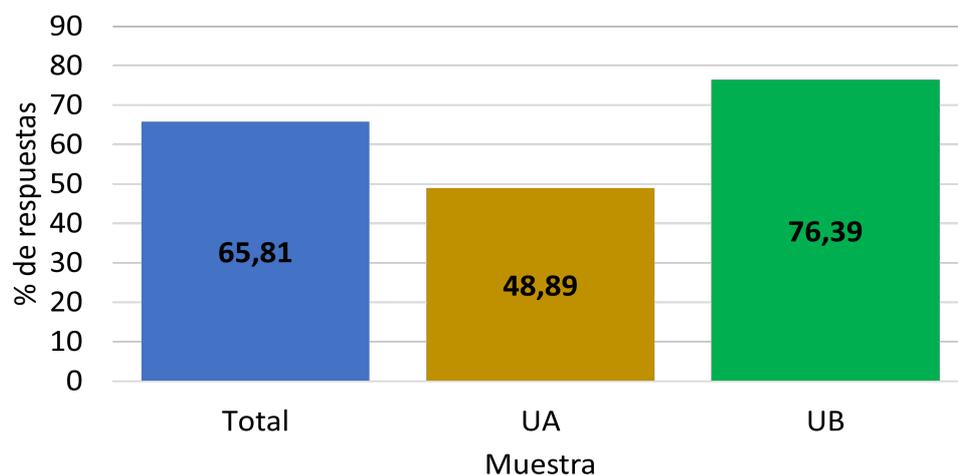


Figura 2. Identificación de microorganismos como sujetos de RA en alguna de las tres preguntas: C1, C2 o C3.

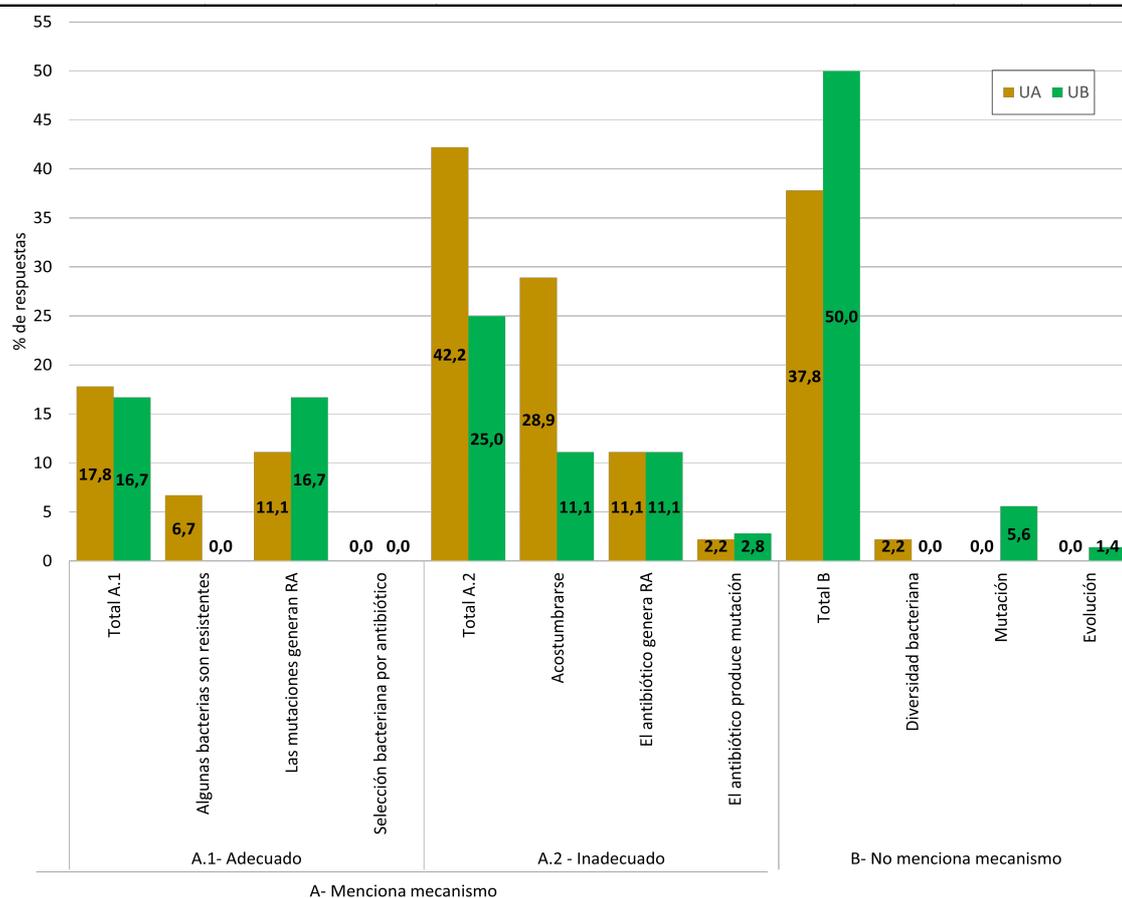
A nivel general, más de la mitad de las respuestas identificaron correctamente a los microorganismos como sujetos de RA en al menos una de las tres preguntas, es decir, en la pregunta cerrada (C1), o en alguna de las dos preguntas abiertas (C2 o C3) (figura 2). Este porcentaje fue mayor en UB, en comparación con UA, mostrando una dependencia baja (χ^2 : 9,308 y ϕ : 0,282, con significación 0,002)

Explicación del mecanismo por el que se genera RA

Los resultados del análisis del mecanismo de RA propuesto por el profesorado en formación en cada una de las preguntas abiertas C2 y C3 se muestran en la tabla 4, y los resultados obtenidos del análisis conjunto, en la figura 3.

Tabla 4. Resultados de las preguntas C2 y C3 en relación con el mecanismo de RA. Los datos están expresados en porcentaje de alumnado (%).

Categoría	Subcategoría	C2		C3		
		UA	UB	UA	UB	
A – Menciona mecanismo	A.1 - Adecuado	Total A.1	6,7	12,5	15,6	1,4
		Algunas bacterias son resistentes	6,7	0	2,2	1,4
		Las mutaciones generan RA	0	12,5	13,3	0
		Selección bacteriana por antibiótico	0	0	0	0
	A.2 - Inadecuado	Total A.2	24,4	11,1	28,9	16,7
		Acostumbrarse	24,4	8,3	8,9	2,8
		El antibiótico genera RA	0	0	17,8	12,5
		El antibiótico produce mutación	0	2,8	2,2	1,4
B – No menciona mecanismo	Total B	71,1	69,4	53,3	73,6	
	Diversidad bacteriana	2,2	0	0	0	
	Mutación	0	1,4	0	4,2	
	Evolución	0	0	0	1,4	

**Figura 3.** Porcentaje de respuestas en relación con la propuesta de un mecanismo de RA en alguna de las preguntas abiertas, C2 o C3.

Como puede apreciarse en la figura 3, en general la mayoría de estudiantes no fue capaz de proponer un mecanismo para explicar la aparición de la RA (categoría B). Además, únicamente una minoría incorporó en sus respuestas conceptos clave relacionados con la RA, como la «diversidad bacteriana», la «mutación», o la «evolución». Los siguientes ejemplos ilustran las respuestas incluidas en la categoría B:

A10 (C2): «Ana ha desarrollado anticuerpos contra el antibiótico y en caso de tomar el mismo antibiótico, éste casi no tendrá efecto ya que el cuerpo lo destruirá»

B22 (C2): «No, las bacterias mutan»

La respuesta del estudiante A10 a la pregunta C2, no incluye una posible explicación sobre el mecanismo de RA, sino que se centra en señalar cómo se produce la RA, atribuyendo este problema a la generación de anticuerpos en respuesta al consumo de antibióticos, y, en consecuencia, a la falta de eficacia cuando repetimos tratamiento con un mismo antibiótico. Por el contrario, en el caso del estudiante B22, su respuesta refleja cierto nivel de comprensión acerca del mecanismo de RA, ya que hace referencia a que las «bacterias mutan». Sin embargo, no se desarrolla una explicación sobre cómo las mutaciones bacterianas pueden acabar desarrollando RA.

Los resultados (figura 3) muestran que un porcentaje minoritario propuso en sus respuestas un mecanismo para explicar la RA. De ellas, una minoría elaboró una explicación adecuada del mecanismo (subcategoría A.1), incorporando ideas clave, como el hecho de que «algunas bacterias son resistentes», que «las mutaciones generan RA», o que «la selección bacteriana es producida por el antibiótico». Cabe destacar que, en este caso, la proporción de respuestas en esta subcategoría A.1 fue similar en ambas universidades. Se muestran ejemplos de UA codificados dentro de esta subcategoría A.1:

A22 (C2): «Creo que las bacterias pueden mutar por sí solas, haciéndolas «más fuertes». Por lo tanto, si no toma antibióticos, las bacterias serán resistentes y la primera vez que tome antibióticos no serán tan efectivos».

A41 (C2): «No. (...) De hecho, algunas bacterias resisten a los antibióticos y se vuelven «más fuertes» debido a mutaciones. Por lo tanto, aunque una persona no haya tomado un antibiótico, también existe la posibilidad de que tenga resistencia a los antibióticos».

A26 (C3): «No. Existen bacterias que pueden ser resistentes de por sí y estas no se han hecho resistentes por tomar mal los antibióticos».

Las respuestas de A22 y A41 hacen referencia a la aparición de mutaciones de forma espontánea (es decir, «por sí solas») y que en presencia del antibiótico aquellas que poseen las mutaciones de resistencia serán las que sobrevivan (es decir, son las «más fuertes»).

En el caso del alumnado A26, su respuesta lleva implícita una idea clave para la comprensión de la RA, la existencia de una diversidad de partida en la población bacteriana. Es decir, A26 considera que dentro de una población bacteriana algunos de estos microorganismos pueden ser resistentes.

La subcategoría A.2 que se corresponde con las respuestas que proporcionan un mecanismo inadecuado para explicar la RA, incluye un elevado porcentaje de respuestas (figura 3). En este caso, fue mayor el porcentaje en UA que en UB, aunque estadísticamente se mostró como una variable independiente de la universidad. Las ideas más frecuentes que se incluyen en sus respuestas hacen alusión a «acostumbrarse» al antibiótico, a que es «el antibiótico el que genera la RA», y también a que es «el antibiótico el factor que produce mutaciones en las bacterias», como ilustran las respuestas de estos participantes:

A33 (C2): «Seguramente Ana ha desarrollado tolerancia al antibiótico, esto es, el antibiótico ya no es eficaz para la bacteria».

A20 (C2): «Las bacterias del cuerpo de Ana se han acostumbrado al antibiótico que cura la cistitis y el antibiótico no las mata. Entonces no sana».

A17 (C3): «Si no toma antibióticos, no se desarrollará resistencia a ellos».

A21 (C3): «Sí, por ejemplo, si una persona nunca ha tomado un antibiótico y de repente tiene que tomarlo debido a una infección, hay más posibilidades de que no sea resistente al antibiótico. De hecho, si nunca ha tomado un antibiótico, sus bacterias no han estado en contacto con ese antibiótico antes, por lo que no pueden ser resistentes».

Las respuestas de A33 y A20 a la pregunta C2 muestran una de las ideas más comunes empleada para explicar la aparición de RA: el fenómeno de «acostumbrarse». Es decir, desarrollar tolerancia a los antibióticos. Dentro de esta idea, existen distintas visiones. Algunas respuestas, como la de A33, afirman que es el organismo de la persona que toma antibióticos el que se «acostumbra», mientras que, en otros casos, como la respuesta de A20, se afirma que son las bacterias las que se «acostumbran» a estos fármacos.

Las respuestas de A17 y A21 a la pregunta C3 ilustran la segunda idea más frecuente sobre cómo aparece la RA: «el antibiótico produce la resistencia», esto es, la RA se desarrolla como consecuencia de la exposición al fármaco y no es posible que exista RA si no ha habido exposición al antibiótico previamente.

Integración de la idea contagio en la noción RA (PI2)

La tabla 5 resume los resultados en cuanto a la incorporación de la idea de contagio, diferenciados por universidades, en cada una de las preguntas abiertas C3 y C4. La Figura 4 muestra los resultados obtenidos del análisis conjunto de ambas preguntas.

Tabla 5. Resultados de las preguntas abiertas C3 y C4 sobre la idea de contagio. Los valores se han expresado en porcentaje de alumnado (%).

Pregunta	Nivel	UA	UB
C3	NSNC	46,7	37,5
	0	51,1	40,3
	1	0,0	12,5
	2	2,2	9,7
C4	NSNC	62,2	37,5
	0	33,3	20,8
	1	4,4	6,9
	2	0,0	34,7

Los resultados de la figura 4 permiten observar que la mayoría del profesorado en formación proporcionó respuestas que no incorporaban la idea de contagio en relación con la RA (nivel 0). El siguiente es un ejemplo de respuesta incluida en el nivel 0, en que no se considera la idea de contagio para explicar la RA:

A31 (C4): «No es sólo que la persona haya desarrollado resistencia, sino que la bacteria ha estado tan expuesta a ese antibiótico que ha mutado para poder seguir multiplicándose».

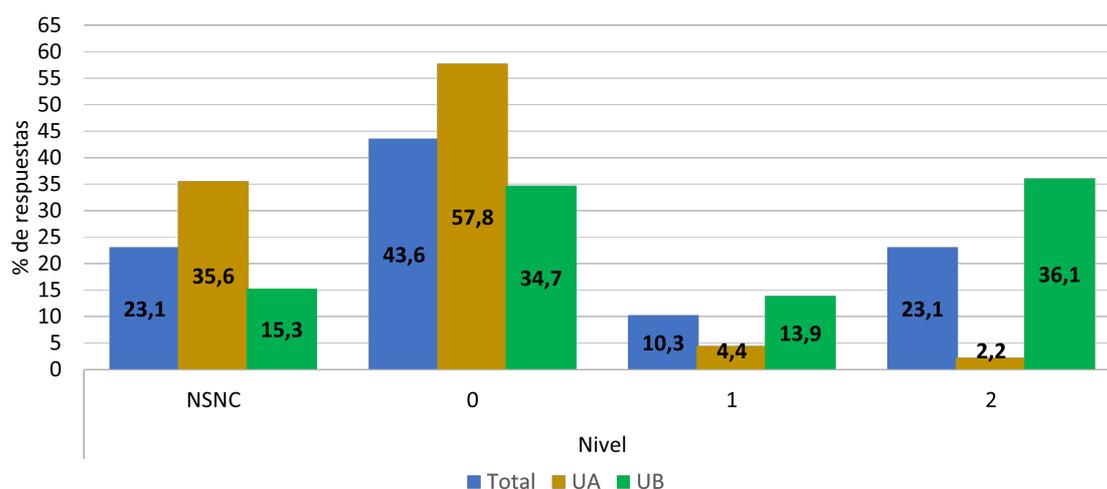


Figura 4. Idea de contagio en las respuestas C3 y C4. Las respuestas se han clasificado según el nivel más alto alcanzado en cualquiera de las dos preguntas C3 o C4.

Una minoría del profesorado en formación proporcionó respuestas que aunque no contenían la idea de contagio, no limitaban el problema a una única persona, sino que lo identificaban como algo que afecta a un grupo. Los siguientes ejemplos son de respuestas del nivel 1:

A34 (C4): «No, si la bacteria ha mutado o se ha acostumbrado, tendrá la misma resistencia en todas las personas».

B35 (C3): «No, la resistencia es un problema para toda la humanidad. Las que se vuelven resistentes son las bacterias, y por tanto el antibiótico específico no va a surtir efecto en ningún miembro de la población, haya tomado o no antibióticos previamente».

B8 (C4): «No, la resistencia a los antibióticos es hoy un problema grave a nivel mundial. Cada vez, es mayor el número de infecciones, como puede ser la tuberculosis, cuyo tratamiento se vuelve más complicado debido a la pérdida de eficacia».

En los primeros ejemplos, los estudiantes A34 y B35 atribuyeron el problema de RA a todas las personas, mientras que, en el tercer ejemplo, el alumno B8 identificó la RA como un problema global. En este caso, justificó su respuesta en el aumento de infecciones que se transmiten entre la población, como la tuberculosis.

En el nivel 2 se incluyeron las respuestas donde se incorpora explícitamente la idea de contagio en relación con la RA (figura 4). En este nivel se observaron diferencias marcadas entre ambas universidades (36,1 % en UB, 2,2 % en UA), para las que mostró tener dependencia baja (χ^2 : 17,916 y ϕ : 0,391, con significación $<0,001$). También se dieron diferencias entre las preguntas (tabla 5), con un porcentaje mayor de respuestas de mayor nivel en la pregunta C4 que en la pregunta C3. Se muestran varios ejemplos, en los que se han destacado los términos indicativos del contagio:

A16 (C4): «No, ese tipo de bacteria puede mutar y, por lo tanto, no es solo problema de esa persona sino de cualquiera que *contraiga* esa bacteria».

B6 (C4): «Depende del grado de *transmisión* de esa enfermedad. Es obvio que el problema principal será de la persona que no consiga curar su enfermedad,

sin embargo, también será perjudicial para aquellas personas a las que se le pudiera *contagiar* dicha enfermedad a causa de no poder curarla (...)).

A40 (C3): «En mi opinión, sí, puedes volver a *contagiarte*, los virus y las bacterias mutan constantemente y pueden ingresar al cuerpo una y otra vez, por eso los adultos se vacunan contra la gripe casi todos los años».

Enfoque OH en la noción de RA del profesorado en formación (PI3)

El análisis del enfoque OH en la noción de RA en las respuestas a las preguntas abiertas C3 y C4 permitió observar que el alumnado de UA no integró de forma explícita el enfoque OH en sus respuestas y en el caso de UB, dos estudiantes hicieron referencia a los animales en su respuesta a la C4 y al medio ambiente en la C3:

B34 (C4): «No. La resistencia a antibióticos es un problema tanto para personas como *para animales* (...)).

Como se puede apreciar, B34 señaló en su respuesta que la RA es un problema «tanto para personas como animales», pero como problemas que afectan a ambos por separado, sin explicar las posibles interacciones entre los animales y el ser humano en este problema, es decir, sin desarrollar la idea de transmisión interespecífica en su respuesta.

B14 hizo alusión a la dimensión ambiental:

B14 (C3): «Con las *emisiones* que puede causar un *antibiótico al medioambiente* puede afectar a otras personas no dolientes de la enfermedad que tratan».

B14 incluyó la idea de contagio en su respuesta, siendo el medio ambiente un medio que facilita la transmisión bacteriana y amplifica el problema de la RA. Identificó la presencia de antibióticos en el medio ambiente como factor que influye en la identificación de la RA como un problema de salud comunitaria.

Discusión

El principal objetivo de este trabajo es observar el tipo de noción de RA posee el profesorado en formación (PI1), si incorporan en ella el concepto de contagio (PI2) y si identifican interacciones entre factores ambientales y factores relacionados con la salud animal para explicar la RA (PI3).

Los datos de la PI1 sobre el sujeto que desarrolla la RA muestran mejores resultados en la pregunta cerrada (C1) que en las preguntas abiertas (C2 y C3), lo que podría ser debido a la distinta formulación de las preguntas y contextos proporcionados en cada una de ellas. La pregunta cerrada facilitó la identificación del sujeto de RA (la bacteria), frente a los otros contextos más amplios que proporcionaron las preguntas abiertas. Esto es, una parte del alumnado que identificó adecuadamente al sujeto en la cuestión cerrada tuvo dificultades para aplicar o transferir su idea a un contexto concreto de aplicación en las preguntas abiertas, lo que concuerda con la lejanía de los contextos formulados en las preguntas abiertas (Barnett y Ceci, 2002).

Dentro de las preguntas abiertas, la cuestión C2 en la que el alumnado tenía que explicar qué ocurriría en caso de volver a enfrentarse a una cistitis después de haberse encontrado con una variante resistente, mostró mejores resultados que la pregunta C3, que preguntaba si una persona que nunca había tomado antibióticos podía encontrarse con el problema de la RA. Estos resultados coinciden con estudios previos en los que se ha constatado que la

manera en que se pregunta facilita una respuesta adecuada (Khwaja y Saxton, 2001). En este caso, puede deberse a que la pregunta C2 centraba el problema en una enfermedad concreta, lo que facilitó que la identificaran con el sujeto que la provoca, mientras que en C3 se requiere una reflexión profunda sobre las diversas posibilidades de contagio y de las interconexiones humanos-animales-ecosistema para ser consciente del grado de exposición a bacterias resistentes y/o antibióticos. Esto es, los resultados confirman que esta pregunta exige una transferencia más compleja debida a la abstracción (Salomon y Perkins, 1989).

A pesar de lo expuesto anteriormente, podemos concluir que buena parte (un tercio en ninguna de las preguntas) de las y los participantes de ambas universidades no identificaron de forma adecuada al sujeto con RA. En sus respuestas señalaron que la RA la desarrolla la persona, ambos (bacterias y personas), o directamente, no identificaron al sujeto resistente. Estas dificultades para manejar conceptos microbiológicos básicos fueron señaladas, como se ha comentado, en los estudios de Rönner et al. (2023a, 2023b), quienes mostraron una falta de comprensión por parte del alumnado de Educación Secundaria (10-12 años) en aspectos clave relacionados con la RA, esto es, preconcepciones erróneas sobre la patogenicidad de distintos tipos de microorganismos y sobre la diferencia entre virus y bacterias.

Los resultados relativos al mecanismo presentado por el alumnado para explicar la RA muestran que la mayoría no hicieron referencia a este en sus respuestas. Dentro de los mecanismos presentados, la mayoría aportó explicaciones en las que se movilizaron ideas inadecuadas tales como que el «antibiótico provoca las mutaciones» o que «el organismo o las bacterias se acostumbran a él», problemas ya identificados en trabajos previos como el de Shahpawee et al. (2020), realizado con estudiantes universitarios (mayores de 18 años). Además, algunos de los mecanismos propuestos que fueron codificados como adecuados (subcategoría A.1), no necesariamente desarrollan explicaciones completas. Por ejemplo, ningún estudiante hizo referencia de forma adecuada al papel que juega el antibiótico en la selección de las bacterias resistentes frente al resto. Esta dificultad para comprender la selección natural de las bacterias resistentes que genera el antibiótico en una población bacteriana originalmente heterogénea ya fue previamente reportada en otro trabajo con alumnado de 10º grado (15-16 años) (Peel et al., 2019). Comparando los resultados de Peel et al. (2019) con nuestros resultados es posible observar que las dificultades para comprender y explicar el mecanismo por el que se genera la RA y la existencia de concepciones alternativas erróneas sobre este proceso persisten en niveles educativos superiores llegando a detectarse en niveles universitarios, como es el caso de nuestro trabajo. En este trabajo, la limitación puede venir dada en parte por la propia formulación de la pregunta. Las preguntas abiertas utilizadas para el análisis requerían de la aplicación del conocimiento en una situación concreta. En el futuro, sería necesario incluir una pregunta que solicite al alumnado explicar con sus palabras, o mediante una representación, cómo se genera la RA, aspecto que han incorporado las autoras en un nuevo diseño implementado en secundaria.

Respecto a la PI2, el análisis realizado permitió comprobar la idea de contagio que integraron los participantes en su noción de RA. La mayoría no logró establecer una conexión entre la idea de contagio y la RA. En algunos casos, la idea de contagio estaba presente, pero de forma implícita, sin relacionar directamente ambos fenómenos. Finalmente, solo una minoría mostró una noción de RA más compleja, en la que se menciona de forma explícita la posibilidad de contagio de bacterias resistentes, lo que de acuerdo con Kilstadius y Gericke (2017) pone de manifiesto la idea de contagio en su

noción de RA. Otros trabajos, como el realizado por Robredo y Torres (2021) con alumnado de Educación Secundaria, muestran mejores resultados en cuanto a la idea de contagio, ya que la mayoría considera como factible la transmisión de bacterias resistentes entre humanos y animales infectados, o por contacto con una persona infectada. Esta discrepancia en los resultados puede deberse al tipo de cuestiones planteadas en cada caso. Así, las preguntas planteadas en el trabajo de Robredo y Torres (2021) fueron preguntas cerradas y directas, esto es, se les preguntó directamente si lo consideraban posible, mientras que en el presente trabajo se elaboraron preguntas de aplicación del conocimiento a la situación propuesta, y por tanto, más indirectas (Salomon y Perkins, 1989) y lejanas (Barnett y Ceci, 2002), siendo más compleja su resolución.

Finalmente, los resultados de PI3 mostraron que las referencias al enfoque OH fueron prácticamente inexistentes en este grupo de participantes, a diferencia de los resultados generados en otros trabajos, donde las y los participantes muestran una visión más compleja al contemplar la posibilidad de transmisión de bacterias resistentes entre humanos, animales, alimentos, o agua, mostrando, así, indicios de desarrollo del enfoque OH en relación con la RA (Robredo y Torres, 2021). La falta de alusiones a otras dimensiones (ambiental, social, entre otras) evidencia un bajo grado de desarrollo de un enfoque sistémico OH en relación con el problema de la RA. Esto muestra la necesidad de trabajar en el aula el enfoque OH aplicado a problemas de salud, como la RA (Aslam et al., 2021; Shamas y Baffoe-Bonnie, 2023), así como a otras problemáticas socio-científicas.

Un aspecto a destacar son las diferencias entre las dos universidades participantes, algunas de ellas estadísticamente significativas. Se han obtenido mejores resultados en cuanto a identificación del agente y del mecanismo (PI1) y en la incorporación de la idea de contagio (PI2) en la UB frente a la UA. Estas diferencias podrían explicarse, entre otros factores, por la distinta formación recibida sobre los microorganismos y la problemática de la RA. En UA no se habían tratado contenidos relacionados con la RA previamente, mientras que los estudiantes de la UB habían trabajado con anterioridad conceptos básicos de microbiología, tales como los patógenos y su transmisión, y la RA había sido mencionada previamente como un problema de salud actual. Otros posibles factores son el carácter obligatorio de la asignatura en UB y optativo en UA, y que en UB los y las participantes rellenaron el cuestionario fuera del aula a lo largo de una semana, por lo que pudieron acceder a información, mientras que en UA rellenaron el cuestionario presencialmente en clase.

Conclusiones e implicaciones

Este trabajo ha abordado la cuestión de qué noción de RA tiene el profesorado de educación primaria en formación desde un enfoque OH, contribuyendo así a la escasa literatura sobre tal enfoque en educación. El estudio se ha basado en la interpretación de las respuestas dadas por una muestra concreta de profesorado en formación a determinadas preguntas, y tiene, por tanto, limitaciones. Éstas podrían afrontarse con estudios futuros que permitan obtener más datos y con preguntas similares y distintas que permitan corroborar, matizar o ampliar las conclusiones que se presentan. Aún con las limitaciones señaladas, los resultados muestran que la mayor parte del profesorado en formación participante en este estudio presenta una noción inadecuada sobre RA en la que difícilmente identifica adecuadamente el agente resistente, no conoce mecanismo por el que se produce la resistencia, no contempla la posibilidad de contagio de bacterias resistentes y todavía, en menor medida, aplica un enfoque OH. En este sentido, el

desarrollo de este enfoque en relación con la RA en educación implica que el alumnado construya un modelo de RA que integre las múltiples dimensiones del problema, como la idea de contagio, los factores ambientales y de salud animal que contribuyen a la RA, etc. Esto es, partiendo de una visión sistémica del modelo (Pigrau y Sanmartí, s. f.), éste incluirá los elementos que lo conforman (bacterias, personas, animales, plantas, elementos abióticos, antibióticos), las interacciones que se dan entre ellos, los cambios y fenómenos a que dan lugar. Para que el alumnado desarrolle este modelo el profesorado ha de poder hacer frente a las dificultades conceptuales señaladas en este trabajo y a las propias del desarrollo del pensamiento sistémico (Uskola y Puig, 2023). Son diversas las estrategias que pueden facilitar el pensamiento sistémico, y la práctica de modelización es una de las consideradas adecuadas por varios autores (Bielik et al., 2023; Hmelo-Silver et al., 2017; Shin et al., 2022). El diseño de secuencias de modelización para la construcción de modelo de RA desde un enfoque OH, y su investigación, constituyen una línea de trabajo a abordar en el futuro próximo en la enseñanza de las ciencias.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por los proyectos de investigación PID2022-137010OB-I00 y PID2022-138166NB-C21, promovidos por MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER, UE.

Referencias

- Alkorta, T. y Garbisu, C. (2019). Así se propaga la resistencia a los antibióticos en el medioambiente. *The Conversation*. <https://theconversation.com/asi-se-propaga-la-resistencia-a-los-antibioticos-en-el-medioambiente-110390>
- Antimicrobial Resistance Collaborators. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *The Lancet*, 399, 629-655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
- Aslam, B., Khurshid, M., Arshad, M. I., Muzammil, S., Rasool, M., Yasmeen, N., Shah, T., Chaudhry, T. H., Rasool, M. H., Shahid, A., Xueshan, X. y Baloch, Z. (2021). Antibiotic Resistance: One Health One World Outlook. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 771510. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.771510>
- Barnett, S. M. y Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn?: A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128(4), 612-637. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.128.4.612>
- Barrett, M. A., Bouley, T. A., Stoertz, A. H. y Stoertz, R. W. (2010). Integrating a One Health approach in education to address global health and sustainability challenges. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 239-245. <https://doi.org/10.1890/090159>
- Bielik, T., Krell, M., Zangori, L. y Ben-Zvi Assaraf, O. (2023). Editorial: Investigating complex phenomena: bridging between systems thinking and modeling in science education. *Frontiers in Education*, 8, 1308241. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1308241>
- Bohlin, G., Göransson, A., Höst, G. E. y Tibell, L. A. E. (2018). Insights from introducing natural selection to novices using animations of antibiotic resistance. *Journal of Biological Education*, 52(3), 314-330. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1368687>

- Bohlin, G. y Höst, G. E. (2015). Evolutionary explanations for antibiotic resistance in daily press, online websites and Biology textbooks in Sweden. *International Journal of Science Education, Part B: Communication and Public Engagement*, 5(4), 319-338. <https://doi.org/10.1080/21548455.2014.978411>
- Calavia, S., Bravo-Torija, B. y Mazas, B. (2022). Which socio-scientific dimensions do 11th graders refer to when deciding whether to be vaccinated against COVID-19?. *Journal of Biological Education*. Publicación online. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2118354>
- Carrasquer-Álvarez, B., Ponz-Miranda, A. y Gavidia Catalán, V. (2023). Las competencias en salud ambiental en los libros de texto. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(1). https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i1.1301
- Eusko Jaurlaritz. (2023). Decreto 77/2023, de 30 de mayo, de establecimiento del currículo de Educación Básica e implantación en la Comunidad Autónoma de Euskadi. Boletín Oficial del País Vasco, 109, 2729. <https://www.legegunea.euskadi.eus/eli/es-pv/d/2023/05/30/77/dof/spa/html/webleg00-contfich/es/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Organisation for Animal Health y World Health Organization (2019). *Taking a multisectoral one health approach: A tripartite guide to addressing zoonotic diseases in countries*. WHO, FAO and OIE. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514934>
- Hmelo-Silver, C. E., Jordan, R., Eberbach, C. y Sinha, S. (2017). Systems learning with a conceptual representation: A quasi-experimental study. *Instructional Science*, 45(1), 53–72. <https://doi.org/10.1007/s11251-016-9392-y>
- Karesh, W. (2020). Championing "One Health" / Entrevistado por Andréia Azevedo. *Bulletin of the World Health Organization*, 98(10), 652–653. <https://doi.org/10.2471/BLT.20.031020>
- Kilstadius, M. y Gericke, N. (2017). Defining contagion literacy: A Delphi study. *International Journal of Science Education*, 39(16), 2261-2282. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1390795>
- Khawaja, C. C. y Saxton, J. (2001). It all depends on the question you ask. *Primary Science Review*, 68, 13–14. <https://eprints.mdx.ac.uk/id/eprint/1864>
- Laconi, A., Mughini-Gras, L., Tolosi, R., Grilli, G., Trocino, A., Carraro, L., Di Cesare, F., Cagnardi, P. y Piccirillo, A. (2021). Microbial community composition and antimicrobial resistance in agricultural soils fertilized with livestock manure from conventional farming in Northern Italy. *The Science of the total environment*, 760, 143404. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143404>
- Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado, 340, de 30 de diciembre de 2020, 122868-122953. <https://www.boe.es/boe/dias/2020/12/30/pdfs/BOE-A-2020-17264.pdf>
- Nutbeam, D. (2000). Health literacy as a public health goal: A challenge for contemporary health education and communication strategies into the 21st century. *Health Promotion International*, 15(3), 259–267. <https://doi.org/10.1093/heapro/15.3.259>

- Organización Mundial de la Salud (2021, 6 de diciembre). *Health promotion glossary of terms 2021*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240038349>
- Organización Mundial de la Salud (2023, 21 de noviembre). *Antimicrobial resistance*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (2018). *The future of education and skills. Education 2030*. Secretaría General de la OCDE, [https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20\(05.04.2018\).pdf](https://www.oecd.org/education/2030/E2030%20Position%20Paper%20(05.04.2018).pdf)
- Peel, A., Zangori, L., Friedrichsen, P., Hayes, E. y Sadler, T. (2019). Students' model-based explanations about natural selection and antibiotic resistance through socio-scientific issues-based learning. *International Journal of Science Education*, 41(4), 510-532. <https://doi.org/10.1080/09500693.2018.1564084>
- Pierce, A. A. y de Mani, T. J. B. (2019). Antibiotic resistant pathogen outbreak investigation: an interdisciplinary module to teach fundamentals of evolutionary biology. *Journal of Biological Education*, 53(2), 150-156. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1447003>
- Pigrau, T. y Sanmartí, N. (s. f.) *Visión sistémica de la ciencia escolar*. <https://tresorderecursos.com/es/vision-sistemica-de-la-ciencia-escolar-2/>
- Quindós-Andrés, G. (2020, 6 de febrero). Los supermicrobios amenazan con ser más letales que el cáncer. *The Conversation*. <https://theconversation.com/los-supermicrobios-amenazan-con-ser-mas-letales-que-el-cancer-129718>
- Robredo, B., Fernández-Fernández, R. y Torres, C. (2023). Antimicrobial resistance as a nexus between teaching and research. *Journal of Biological Education*, 27(4), 856-872. <https://doi.org/10.1080/00219266.2021.1979631>
- Robredo, B. y Torres, C. (2021) ¿Es consciente el alumnado de secundaria de la patogenicidad de los microorganismos y de la problemática sobre la resistencia a los antibióticos? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(3), 3301. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i3.3301
- Röner, A. C., Jakobsson, A. y Gericke, N. (2023a). Cough, sneeze, pass it on – pupils' understanding of infectious diseases in the aftermath of COVID-19. *Journal of Biological Education*. Publicación online. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2159492>
- Röner, A. C., Jakobsson, A. y Gericke, N. (2023b). 'Bacteria are not viruses; viruses are more malicious' - young pupils' understanding of bacteria and viruses in the aftermath of COVID-19. *Journal of Biological Education*. Publicación online. <https://doi.org/10.1080/00219266.2023.2247409>
- Salomon, G. y Perkins, D. N. (1989). Rocky roads to transfer: rethinking mechanism of a neglected phenomenon. *Educational Psychologist*, 24(2), 113-142. https://doi.org/10.1207/s15326985ep2402_1
- Shahpawee, N. S., Chaw, L. L., Muharram, S. H., Goh, H. P., Hussain, Z. y Ming, L. C. (2020). University Students' Antibiotic Use and Knowledge of Antimicrobial Resistance: What Are the Common Myths? *Antibiotics*. 9(6), 349. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9060349>

- Shamas, N. y Baffoe-Bonnie, H. (2023). Antimicrobial Resistance: Research and Action Towards the One Health Approach. *Journal of Infection and Public Health*, 16, 1. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2023.11.022>
- Shin, N., Bowers, J., Roderick, S., McIntyre, C., Stephens, A. L., Eidin, E., Krajcik, J. y Damelin, D. (2022). A framework for supporting systems thinking and computational thinking through constructing models. *Instructional Science*, 50(6), 933–960. <http://dx.doi.org/10.1007/s11251-022-09590-9>
- Uskola, A. y Puig, B. (2023). Development of systems and futures thinking skills by primary pre-service teachers for addressing epidemics. *Research in Science Education*, 53(4), 741–757. <https://doi.org/10.1007/s11165-023-10097-7>
- Valladares, L. (2021). Scientific literacy and social transformation. Critical perspectives about science participation and emancipation. *Science & Education*, 30, 557-587. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>
- Wanford, J., Aidley, J., Bayliss, C., Ketley, J. y Goodwin M. (2018). Simulating phase variation: a practical approach to teaching mutation and diversity. *Journal of Biological Education*, 52(1), 47-53. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1285802>
- Xunta de Galicia. (2022). *Decreto 156/2022, de 15 de septiembre, por el que se establecen la ordenación y el currículo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad Autónoma de Galicia*. Diario Oficial de Galicia, 183, 50010-50542. https://www.xunta.gal/dog/Publicados/2022/20220926/AnuncioG0655-190922-0002_es.html
- Xunta de Galicia. (2022). *Decreto 157/2022, de 15 de septiembre, por el que se establecen la ordenación y el currículo del bachillerato en la Comunidad Autónoma de Galicia*. Diario Oficial de Galicia, 183, 50543-51110. https://www.xunta.gal/dog/Publicados/2022/20220926/AnuncioG0655-190922-0003_es.html