



Ideas de los alumnos sobre radiactividad al finalizar la enseñanza secundaria obligatoria y su relación con los libros de texto y la prensa. Un estudio de caso

Student ideas concerning radioactivity at the end of secondary school and their relation to textbooks and the media. A case study

Javier Corbelle Cao, José Manuel Domínguez Castiñeiras

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Santiago de Compostela. España
jcorbelle@edu.xunta.es, josemanuel.dominguez@usc.es

RESUMEN • En el presente trabajo se exploran, mediante un cuestionario diseñado *ad hoc*, algunas de las ideas de una muestra de alumnos sobre radiactividad al finalizar su enseñanza obligatoria. Además, se estudia hasta qué punto dichas ideas se relacionan con el tratamiento que sobre este tema hacen los libros de texto y la prensa. Para ello, se revisan los contenidos sobre radiactividad en una muestra de libros de texto de 3.º de ESO y se analiza el tratamiento que estos conceptos recibieron en una muestra de prensa digital durante el accidente en la central nuclear de Fukushima.

PALABRAS CLAVE: radiactividad; ideas previas; libros de texto; prensa; ESO.

ABSTRACT • Via *ad-hoc* questionnaire, this article explores some ideas students have about radioactivity at the end of their compulsory education. Moreover, it revises material on radioactivity taken from a sample of textbooks at a 9th grade level, as well as analyzes how these topics were addressed by a sample of newspapers after the accident at nuclear power plant in Fukushima. Finally, it studies, how students' ideas relate to those covered by textbooks and the newspapers.

KEYWORDS: radioactivity; misconceptions; textbooks; newspapers; science education.

Recepción: octubre 2015 • Aceptación: febrero 2016 • Publicación: noviembre 2016

Corbelle Cao, J., Domínguez Castiñeiras, J. M., (2016) Ideas de los alumnos sobre radiactividad al finalizar la enseñanza secundaria obligatoria y su relación con los libros de texto y la prensa. Un estudio de caso. *Enseñanza de las Ciencias*, 34.3, pp. 113-142

INTRODUCCIÓN

Este trabajo es continuación de otro anterior (Corbelle y Domínguez, 2015) en el que se analizó el estado de la investigación didáctica en el campo conceptual de la radiactividad, centrando la atención en los ámbitos educativo y social.

Respecto al ámbito educativo

En general, el alumnado de enseñanza secundaria (Millar *et al.*, 1990; Millar y Singh, 1996) y de los primeros años de universidad (Prather y Harrington, 2001) hace un uso indiferenciado de los términos radiactividad, sustancia radiactiva y radiación. Tanto alumnos como profesores en formación creen que una sustancia irradiada se convertirá en radiactiva, sin distinguir entre irradiación y contaminación (Prather y Harrington, 2001; Colclough *et al.*, 2011). Asimismo, consideran, mayoritariamente, que las fuentes radiactivas son de origen artificial y no son conscientes de la continua exposición a radiación ionizante de origen natural (Boyes y Stanisstreet, 1994; Aubrecht y Torick, 2000).

El alumnado de secundaria asocia la radiactividad con peligro, relacionándola con efectos mutagénicos, teratogénicos o carcinogénicos, sin considerar la relación dosis-efecto (Boyes y Stanisstreet, 1994). En relación con los efectos biológicos de las radiaciones, véase la clasificación y análisis realizado por Cornejo *et al.* (2010).

El profesorado en formación sugiere, como medidas protectoras contra la radiación ionizante, elementos extraídos del ámbito social –máscaras antiguas o batas blancas de plástico (Aubrecht y Torick, 2000)– sin tener en cuenta el tipo de radiación ionizante recibida.

Desde un punto de vista atómico-nuclear, los alumnos hacen uso de los electrones de valencia para justificar que un átomo es radiactivo. Tanto alumnos como profesores en formación conciben las fuentes radiactivas como formadas únicamente por átomos radiactivos, e interpretan que al cabo de un tiempo igual a un periodo de semidesintegración la mitad de la muestra desaparecerá, es decir, que su masa o su volumen se reducirá a la mitad (Aubrecht y Torick, 2000; Prather, 2005). Asimismo, un número significativo de ellos interpretan incorrectamente que los isótopos con periodos de semidesintegración más elevados son más inestables (Aubrecht y Torick, 2000; Nakiboğlu y Bülbül, 2006).

Por otra parte, numerosos estudios han puesto de manifiesto la importancia del libro de texto para el profesorado. Por ejemplo, Sánchez y Valcárcel (1999) señalan que el 92 % de los profesores de ciencias de secundaria con experiencia usan el libro de texto como principal referencia en la planificación de unidades didácticas. La dependencia del libro de texto es aún mayor si los profesores son principiantes o si tienen bajos conocimientos del contenido científico que han de enseñar (Harlen y Holroyd, 1997; Lee y Porter, 1993).

A este respecto, como se ha señalado (Corbelle y Domínguez, 2015) –aunque existen publicadas muchas actividades de aula que ilustran el proceso de desintegración radiactiva o que ponen de manifiesto la existencia de la radiactividad natural–, se debe advertir de dos problemas que dichas actividades pueden presentar: en algunas de ellas se puede reforzar la idea de que cuando un átomo se desintegra simplemente desaparece, o de que una sustancia radiactiva está formada únicamente por átomos radiactivos. Ambas ideas son erróneas y han sido detectadas tanto en alumnos como en profesores en formación.

Además, no se han encontrado trabajos de investigación didáctica en los que se aborde esta temática de una forma global y con una buena fundamentación teórica, a excepción del de Millar *et al.* (1990), una propuesta didáctica enmarcada dentro del proyecto PLON (Eijkelhof, 1990; Eijkelhof y Lijnse, 1988). Dicha propuesta nos servirá de referencia para establecer las categorías de análisis de los libros de texto, tal como se señalará más adelante.

En relación con el ámbito social

Existen estudios que ponen de manifiesto que los medios de comunicación social pueden actuar como fuentes potenciales de concepciones alternativas. Por ejemplo, se ha analizado cómo se trató en la prensa británica (Eijkkelhof y Millar, 1988) y holandesa (Lijnse *et al.*, 1990) el accidente en la central nuclear de Chernóbil, y Acar (2010) investigó cómo la información obtenida de internet sobre radiación y radiactividad puede contribuir a fomentar dichas concepciones alternativas.

A lo largo de este trabajo, para una mayor fluidez, se usarán indistintamente los términos radiación y radiación ionizante con el significado de este último, salvo que se indique lo contrario.

PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

Consecuentemente, con la problemática señalada en la introducción, en esta investigación se pretende alcanzar un doble objetivo:

El primero de ellos es explorar las ideas que sobre radiactividad posee el alumnado de una muestra de alumnos de 4.º de ESO, último curso de su enseñanza obligatoria. Para la consecución de este objetivo, se ha diseñado como instrumento de recogida de datos un cuestionario *ad hoc* que se ha validado como se indicará posteriormente.

Estos alumnos, de acuerdo con el currículum vigente, solo habían recibido enseñanza sobre este tema en el curso inmediatamente anterior, 3.º de ESO, durante toda su enseñanza obligatoria. Por otro lado, la mayoría de ellos es improbable que vuelvan a recibir enseñanza sobre radiactividad, dado que dichos contenidos solo están presentes en la materia de Física de 2.º de bachillerato. Por tanto, los resultados que se obtengan del cuestionario nos permitirán ver hasta qué punto han asimilado los conceptos vistos durante el curso anterior, pero también nos ofrecen una aproximación a las ideas que estos alumnos tendrán como futuros ciudadanos.

El segundo objetivo pretende averiguar la posible relación de dichas ideas con la información aportada por una muestra de libros de texto y prensa digital. Este segundo objetivo se fundamenta en los posibles orígenes de las concepciones alternativas (Pozo, 1996): *sensoriales* o concepciones espontáneas, culturales o concepciones *sociales* y de origen *educativo* o concepciones escolares. Dado que la radiactividad es un fenómeno que no es percibido por nuestros sentidos, cabe esperar que dichas concepciones procedan del ámbito social y educativo. De este modo, se ha revisado una muestra de libros de texto de 3.º de ESO, nivel educativo en el que se aborda esta temática, y se analizó cómo se usan en la prensa los términos y conceptos relativos al fenómeno de la radiactividad, estudiando el accidente en la central nuclear de Fukushima.

Se formulan, por tanto, los siguientes problemas de investigación:

- *Problema de investigación uno:* ¿Qué ideas poseen sobre la radiactividad los alumnos de la muestra al finalizar la ESO?
- *Problema de investigación dos:* ¿Qué tratamiento hacen los libros de texto de 3.º de ESO seleccionados sobre la radiactividad?
- *Problema de investigación tres:* Durante el accidente en la central nuclear de Fukushima, ¿ha usado la prensa digital consultada los términos relacionados con el fenómeno de la radiactividad de un modo acorde con la ciencia escolar?
- *Problema de investigación cuatro:* ¿Existe alguna relación entre las ideas de los alumnos y la información aportada por la prensa digital y los libros de texto estudiados?

METODOLOGÍA

Para dar respuesta a dichos problemas de investigación, se ha seguido la metodología que a continuación se describe.

Muestra

Alumnos

Los alumnos participantes en el estudio pertenecen a un grupo-clase de 4.º de ESO de un instituto de enseñanza secundaria situado en una población rural de la provincia de A Coruña. Dicho grupo-clase está formado por 18 estudiantes, 11 alumnas y 7 alumnos, de edades comprendidas entre 15 y 16 años. El nivel educativo de 4.º de ESO fue elegido por ser su último curso de enseñanza obligatoria.

Libros de texto

Se han seleccionado cuatro libros de texto de 3.º de ESO, de la materia de Física y Química, de amplia implantación en todo el territorio español (cuadro 1). Se ha elegido el nivel educativo de 3.º de ESO por ser el último curso de la enseñanza obligatoria en el que se abordan contenidos relativos a la radiactividad. La editorial Santillana fue seleccionada por ser la usada el curso anterior por el alumnado de la muestra. Los contenidos de dichos libros de texto han sido elaborados de acuerdo con el currículum oficial establecido por la Xunta de Galicia (2007).

Cuadro 1.
Libros de texto analizados

- | |
|---|
| <p>A. Zubiaurre, S. y otros (2011). <i>Física y Química 3 ESO</i>. Madrid: Anaya.</p> <p>B. Duñach, M. y Masjuán, M. D. (2011). <i>Física y Química 3 ESO</i>. Barcelona: Casals.</p> <p>C. Vidal, M. C. y otros (2010). <i>Física y Química 3 ESO</i>. Madrid: Santillana.</p> <p>D. Puente, J. y otros (2011). <i>Física y Química 3 ESO</i>. Madrid: SM.</p> |
|---|

Prensa

Se eligieron las ediciones digitales de 3 periódicos, dos de ellos de tirada estatal (*El Mundo* y *El País*) y un tercero de ámbito autonómico (*La Voz de Galicia*).

Instrumentos de recogida y análisis de la información

Alumnos

Se ha elaborado el cuestionario del anexo I, en el que se incluyen las soluciones aceptables desde el punto de vista de la ciencia escolar. Algunas cuestiones son de elaboración propia, mientras que el resto fueron adaptadas de otras propuestas presentes en la investigación didáctica al respecto.

Para la elaboración final de dicho cuestionario, se llevó a cabo una prueba piloto con otro grupo-clase de alumnos de 4.º de ESO del mismo centro educativo. Como consecuencia de ello, se modificó la redacción de dos cuestiones y una tercera fue eliminada.

Para el análisis del cuestionario se consideraron las categorías que se presentan en el cuadro 2, que se han inferido del trabajo previo señalado anteriormente (Corbelle y Domínguez, 2015). Además, se indica la relación de cada categoría con las preguntas del cuestionario.

Cuadro 2.
Relación entre categorías de análisis y preguntas del cuestionario

Categoría de análisis	Cuestión
Sobre las fuentes radiactivas	1
Sobre la diferenciación entre irradiación y contaminación	2
Sobre el alcance y modo de propagación de la radiación	3
Sobre la diferenciación entre radiactividad, materia radiactiva y radiación	2, 3 y 4
Sobre el átomo radiactivo	5.1 y 5.3
Sobre el periodo de semidesintegración, actividad y dosis	5.2
Sobre los factores que afectan al proceso radiactivo	6
Sobre medidas protectoras y efectos de la radiación	7 y 2

Libros de texto

Los libros de texto se analizaron desde dos perspectivas:

- Si dan respuesta a las principales dificultades de enseñanza y aprendizaje que la investigación didáctica ha puesto de manifiesto. Para este análisis se han utilizado las categorías del cuadro 2.
- Si siguen la secuencia didáctica propuesta por Millar *et al.* (1990), que se toma como modelo. Para ello se consideran como categorías de análisis las cuatro etapas de dicha secuencia didáctica: *orientación fenomenológica, tratamiento macroscópico cualitativo, tratamiento macroscópico cuantitativo, tratamiento microscópico.*

En relación con esta segunda perspectiva, de la propuesta didáctica elaborada por Millar *et al.* (1990) se deduce que estos autores han tomado en consideración, adaptándolo a este campo conceptual, el principio didáctico consistente en ir de lo próximo a lo lejano, de lo simple a lo complejo y de lo concreto a lo abstracto, desarrollando una secuencia didáctica de cuatro etapas bien diferenciadas pero progresivas y que brevemente se indican a continuación:

- Orientación fenomenológica. Se parte de experiencias próximas al alumno que sirven a la vez de motivación y para poner en contexto el tema que se va a tratar.
- Tratamiento macroscópico cualitativo. Mediante un enfoque básicamente fenomenológico y experimental se pretende diferenciar ciertos conceptos clave: sustancia radiactiva y radiación; irradiación y contaminación; comportamiento de los diferentes tipos de radiación ionizante, etc.
- Tratamiento macroscópico cuantitativo. Una vez introducidos los conceptos clave es oportuno preguntarse sobre aspectos cuantitativos: ¿Todas las fuentes radiactivas se desintegran con igual rapidez o son igualmente intensas y peligrosas? ¿Cómo se puede cuantificar? Es el momento de introducir conceptos como actividad, periodo de semidesintegración, dosis, etc.
- Tratamiento microscópico. Es ahora cuando se introduce un modelo (modelo atómico-nuclear) que permita ofrecer explicaciones: ¿Cómo entendemos el fenómeno radiactivo? ¿Por qué existe?

¿A qué se debe que existan diferentes tipos de radiación ionizante? ¿Por qué tienen efectos distintos sobre el tejido vivo o se necesitan diferentes medios de protección? ¿Qué ocurre cuando un cuerpo absorbe radiación?

Por todo ello, se ha considerado oportuno tomar dichas etapas como categorías de análisis de los libros de texto de la muestra.

Prensa

Se estudiaron las ediciones digitales de los tres periódicos señalados durante los días y meses siguientes al accidente en la central nuclear de Fukushima. Se buscaron los contenidos objeto de análisis que encajasen en las categorías mostradas en el cuadro 2. Por este motivo, dos de las categorías, «sobre las fuentes radiactivas» y «sobre los factores que afectan al proceso radiactivo», no están presentes en este análisis.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del análisis del cuestionario de alumnos

Cuestión 1

Esta cuestión, adaptada de Aubrecht y Torick (2000), tiene por objetivo averiguar hasta qué punto el alumnado es consciente de la existencia de fuentes radiactivas de origen natural y el grado con el que identifican la radiactividad con la acción humana y la tecnología.

Puesto que el escenario E podría ser de difícil interpretación para alumnos de este rango de edad, se les informó de que una gammagrafía consistía en inyectar una sustancia radiactiva en el cuerpo y que el aparato ilustrado en dicho escenario usaba la radiación emitida por dicha sustancia (radiación gamma) para realizar diversos diagnósticos médicos.

En esta cuestión, se pide al alumnado, en primer lugar, que señale en qué escenarios estaría expuesto a radiactividad y, posteriormente, que ordene los escenarios elegidos de mayor a menor exposición a esta. Como se puede ver en la tabla 1, solo 5 de los 18 alumnos consideran, correctamente, que están expuestos a radiactividad en todos los escenarios. Los 13 restantes indican que hay escenarios en los cuales no estarían expuestos a radiactividad, coincidiendo todos ellos en que uno de esos escenarios es el D. Es decir, solo 5 alumnos eligen el escenario D como un escenario en el cual estarían expuestos a radiactividad. Este resultado pone de manifiesto que la mayoría de los alumnos no son conscientes de su continua exposición a radiación ionizante de origen natural.

Tabla 1
Resultados globales a la cuestión 1

Ítem	Número de alumnos
Estaría expuesto a Radiactividad en todos .	5
No estaría expuesto a Radiactividad en ninguno .	0
No estoy de acuerdo con las respuestas anteriores, por lo que elijo los siguientes lugares:	13
Nº de alumnos que eligen el escenario A	15
Nº de alumnos que eligen el escenario C	18
Nº de alumnos que eligen el escenario D	5

Además, 15 alumnos manifiestan, erróneamente, que en el escenario A estarían expuestos a radiactividad, indicándolo, en la posterior ordenación, en primer o segundo lugar. El escenario C es elegido también incorrectamente, en este caso por los 18, como un escenario en el que estarían expuestos a radiactividad, situándolo como segunda o tercera opción. Se observa la tendencia a relacionar las fuentes radiactivas con diferentes dispositivos tecnológicos, resultados que coinciden con los encontrados por Boyes y Stanisstreet (1994) en alumnos de secundaria y Aubrecht y Torick (2000) en profesores en formación.

Cuestión 2

Se trata de una cuestión adaptada de Prather y Harrington (2001), cuyo objetivo es averiguar si el alumnado de la muestra distingue entre irradiación y contaminación, y cómo interpretan la interacción de la radiación con la materia. En la tabla 2 se recogen los resultados obtenidos.

Tabla 2.
Resultados globales de la cuestión 2

Ítem A. ¿Emitirá la fresa, en el caso B, radiación?		Número de alumnos		
1. La fresa emitirá radiación		8		
2. La fresa no emitirá radiación		10		
Ítem B. ¿Contendrá la fresa, en la situación B, sustancias radiactivas?		Número de alumnos		
1. La fresa en la situación B contiene sustancias radiactivas		12		
2. La fresa en la situación B no contiene sustancias radiactivas		6		
Combinación de respuestas A y B	A1/B1	A1/B2	A2/B1	A2/B2
Número de alumnos	4	4	8	2

Con respecto a la primera pregunta, se manifiestan (al 50 %) dos modos para interpretar la interacción de la radiación con la materia:

- a) La fresa absorbe la radiación y la remite más o menos rápidamente. Ejemplos de respuestas representativas serían:

«La fresa emitirá radiación ya que ha estado expuesta a una radiación, la cual luego es desprendida por la fresa» (alumno 9).

«Sí emitirá radiación porque la fresa seguirá conteniendo esa radiación en su interior que será perjudicial para nosotros al comerla» (alumna 16).

b) La fresa absorbe la radiación y queda contenida en su interior, como si fuese un contaminante.

Ejemplos de respuestas serían:

«No emitiría radiación, simplemente absorbería la radiación emitida por la fuente radiactiva. A pesar de no emitir radiación, si alguien consumiera la fresa se vería afectado por la radiación que esta había absorbido» (alumna 3).

«Creo que no emitirá radiación porque creo que la radiación sería absorbida por la fresa y no saldría de ella» (alumno 8).

Obsérvese cómo la alumna 16 en la interpretación «a» y la alumna 3 en la interpretación «b» hacen referencia al efecto perjudicial de la radiación, a pesar de no haber hecho ninguna referencia a ello en el enunciado de esta cuestión. Esto es una manifestación más de la predisposición a pensar en la radiación procedente de sustancias radiactivas como especialmente peligrosa, independientemente de la dosis recibida.

Con respecto a la segunda pregunta, 12 de los 18 alumnos afirman que la fresa contiene sustancias radiactivas, lo que, desde el punto de vista de la ciencia escolar, se interpretaría como contaminación. Sin embargo, no está claro cuál es el mecanismo de tal contaminación. Por ejemplo, un alumno afirma:

«Porque ha estado expuesta a la radiación y esta se ha contaminado» (alumno 12).

En otros casos parece haber una confusión entre los conceptos de radiación y sustancia radiactiva:

«Sí, porque anteriormente ha sido irradiada y por ello ahora contiene sustancias radiactivas que han sido transmitidas por la fuente» (alumna 17).

Además, al analizar la combinación de respuestas a las preguntas A y B, se comprueba que solo 2 alumnos eligieron la combinación correcta, A2/B2, mientras que la combinación mayoritaria, A2/B1, elegida por 8 alumnos, no tendría sentido desde el punto de vista científico.

En general, fue complicado para el alumnado responder a esta cuestión dificultando, en ocasiones, la interpretación de sus respuestas.

Cuestión 3

Es una cuestión de elaboración propia en la que se pretende averiguar hasta qué punto el alumnado es capaz de diferenciar los términos radiactividad, radiación y sustancia radiactiva y aplicarlos a un contexto real como el del accidente en la central nuclear de Fukushima. En la tabla 3 se puede observar que mayoritariamente se elige el término radiación y que solo 3 alumnos eligen el término correcto: sustancias radiactivas.

Tabla 3.
Resultados globales de la cuestión 3

Ítem		Número de alumnos
Japón se prepara para una fuga masiva de	radiactividad	0
	radiación	14
	sustancias radiactivas	3
Elegiría cualquier opción, los tres términos significan lo mismo		1

Además, las justificaciones dadas a esta cuestión permiten apreciar algunas concepciones sobre el alcance y modo de propagación de la radiación:

«Porque las sustancias radiactivas se pueden tener controladas ya que son sustancias pero la radiación se transmite por el aire» (alumna 7).

Cuestión 4

El objetivo de esta cuestión, de elaboración propia, es averiguar cómo el alumnado interpreta el término *radiactivo*, usando como ejemplo un titular de prensa.

Como se muestra en la tabla 4, hay un número significativo de alumnos, 7 de 18, que interpretan, erróneamente, que son las moléculas de agua las que están emitiendo radiación. Hay que resaltar, no obstante, los 7 alumnos que eligen la opción válida —«contiene sustancias radiactivas»— y la alumna 15, que, además, hace una interpretación correcta del término.

Tabla 4.
Resultados globales de la cuestión 4

Ítem. El “agua radiactiva” a la que se alude en la noticia es agua:	Número de alumnos
que contiene sustancias radiactivas.	7
que contiene radiación.	3
cuyas moléculas, como consecuencia de la radiación recibida, emiten radiación.	7
ninguna de las anteriores, en realidad significa que	1 ^(*)

(*) «contiene sustancias radiactivas y por lo tanto emite radiación» (alumna 15).

Cuestión 5

Esta cuestión, de elaboración propia, tiene por objetivo explorar cómo interpreta el alumnado el proceso radiactivo desde la perspectiva atómico-nuclear. Los resultados se recogen en la tabla 5.

Mediante los apartados 5.1 y 5.3 se pretende averiguar si interpretan el proceso radiactivo como un proceso nuclear.

Tabla 5.
Resultados globales de la cuestión 5

Ítem 5.1. Estos isótopos se dice que son radiactivos porque:	Número de alumnos
Los átomos de yodo-131 y cesio-137 son inestables.	4
Los núcleos de los átomos de yodo-131 y cesio-137 son inestables.	7
Los electrones de los átomos de yodo-131 y cesio-137 están en una situación inestable.	5
Ninguna de las anteriores, en realidad son radiactivos porque <i>“emiten ciertas radiaciones que son perjudiciales.”</i> (Alumno 8)	1
<hr/>	
Ítem 5.2. ¿Cuál de los dos isótopos anteriores crees que es más inestable?	Número de alumnos
El yodo-131 es más inestable.	8
El cesio-137 es más inestable.	8
Faltan datos. Necesitaría saber	2
<hr/>	
Ítem 5.3. ¿Qué crees que le ocurre a los isótopos anteriores?	Número de alumnos
Se transforman en otro elemento químico emitiendo radiaciones.	3
Emiten radiaciones, quedando el mismo elemento químico, pero con menor energía.	11
Emiten radiaciones y, como consecuencia, desaparecen.	4
Ninguna de las anteriores. En realidad considero que	0

Como se indica en la tabla 5, ítem 5.1, solo 7 de ellos hacen referencia exclusivamente al núcleo, y en la cuestión 5.3 solo 3 alumnos señalan correctamente que hay una transformación de un elemento químico en otro. También se han observado problemas de polisemia. Por ejemplo, el alumno 13, en el apartado 5.1, elige la segunda opción, los núcleos de los átomos de yodo-131 y cesio-137 son inestables, y lo justifica diciendo: «Porque la radiación afecta al núcleo de las *células*».

En el apartado 5.2 (tabla 5), se observa que un número significativo de alumnos, 8 de un total de 18, eligen, incorrectamente, el cesio-137, interpretando que los isótopos con periodos de semidesintegración más elevados son más inestables.

Estos resultados nos advierten, una vez más, de las dificultades que el alumnado tiene para interpretar el proceso radiactivo desde la perspectiva atómico-nuclear.

Cuestión 6

Mediante esta cuestión, de elaboración propia, se desea averiguar si el alumnado interpreta el proceso radiactivo como un proceso nuclear e independiente de factores como la temperatura o el estado de agregación de la sustancia radiactiva. Como se aprecia en la tabla 6, la mayoría de los alumnos, 12 de 18, piensan, incorrectamente, que es posible modificar la actividad de una sustancia radiactiva mediante la temperatura o el estado de agregación.

Tabla 6.
Resultados globales de la cuestión 6

Ítem. Una manera de disminuir la radiactividad de las dos sustancias anteriores sería:	Número de alumnos
Disminuir su temperatura.	2
Disminuir su temperatura y pasarlas a fase líquida.	2
Disminuir su temperatura y pasarlas a fase sólida.	5
Aumentar su temperatura y pasarlas a fase gas.	3
No es posible aumentar o disminuir su radiactividad.	6

Cuestión 7

Esta cuestión, de elaboración propia, pretende averiguar qué medidas de protección consideraría el alumnado ante un accidente que incluyese liberación de radiación ionizante.

Las respuestas dadas se agruparon en 6 categorías, las cuales se muestran en la tabla 7 junto con ejemplos de respuestas de los alumnos. Hay que resaltar la percepción que los alumnos tienen sobre la posibilidad de que personas expuestas a radiación ionizante contaminen a otras, idea ya presente en las respuestas a la cuestión 2. Además, las medidas señaladas son, en general, contra la contaminación por sustancias radiactivas más que medidas contra la radiación. No hacen mención al hecho de que diferentes tipos de radiación requieren diferentes protecciones. Por ejemplo, las escafandras a las que hacen referencia servirían de protección contra la radiación α y β pero no contra la radiación γ .

Tabla 7.
Ejemplos de respuestas a la cuestión 7

Categoría	Número alumnos
1. Medidas de protección contra la contaminación	8
<i>“Poner un traje aislante para no estar en contacto con el aire.” (Alumna 2)</i> <i>“Ponerse el traje anti-radiación.” (Alumna 3)</i> <i>“Ponerme una mascarilla para evitar respirar el aire por si está contaminado.” (Alumna 7)</i>	
2. Medidas de protección por alejamiento	8
<i>“Alertaría a la población y desalojaría la zona.” (Alumno 6)</i> <i>“[...] escaparía lo más lejos posible.” (Alumna 17)</i>	
3. Medidas de protección por disminución del tiempo de exposición	1
<i>“[...] procuraría no estar demasiado tiempo expuesta a la radiación.” (Alumna 11)</i>	
4. Medidas contra el “contagio” por radiación	4
<i>“La primera sería aislarme del resto de personas, para no contagiarlas.” (Alumno 4)</i> <i>“No exponerme a más radiación e intentar no emitirla en lugares públicos donde pueda pasarla a mucha gente.” (Alumna 14)</i>	
5. El yodo como repelente o antídoto de la radiación	2
<i>“Tomaría sustancias ricas en yodo, dado que (según tengo entendido) ayuda al organismo a repeler la radiación.” (Alumno 8)</i> <i>“Difundir la venta de yodo para frenar la influencia de la radiactividad” (Alumno 18)</i>	
6. Pedir ayuda médica	3
<i>“Ir al médico para saber qué pasa si estoy expuesto a esas radiaciones.” (Alumno 12)</i> <i>“Ir al hospital para que me atiendan [...]” (Alumno 13)</i>	

Resultados del análisis de los libros de texto

En primer lugar, se ha de señalar que en los libros de texto de la muestra analizada la radiactividad recibe un tratamiento muy escaso, dedicándole solamente dos páginas, a excepción del libro de texto D, que le dedica tres. A continuación se comentan cada una de las categorías de análisis.

Sobre las fuentes radiactivas

Solo el libro de texto A hace alguna referencia a esta categoría, mostrando un gráfico de sectores circulares (figura 1) en el que se indican los porcentajes de dosis absorbida por el ser humano procedente de las principales fuentes radiactivas naturales y artificiales. En los demás libros de la muestra no hay referencias a las diferentes fuentes radiactivas.

Por tanto, no se resuelven los principales problemas que la investigación didáctica ha señalado: relacionar la radiactividad con dispositivos tecnológicos de muy diversa índole (horno microondas, teléfonos móviles, etc.); no ser conscientes de que la radiactividad es un fenómeno natural y que estamos continuamente expuestos a radiación ionizante; que las fuentes radiactivas artificiales son percibidas como más peligrosas y dañinas, o concebir las fuentes radiactivas como constituidas únicamente por átomos radiactivos.

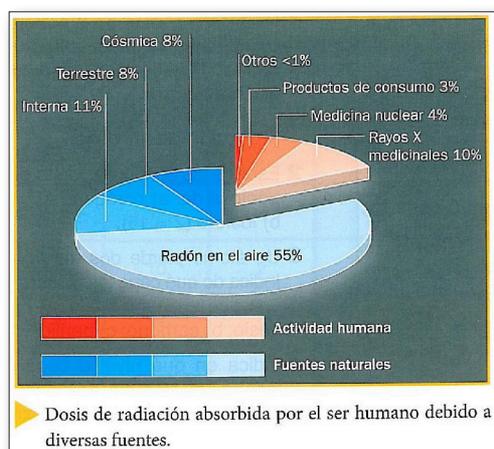


Fig. 1. Fuentes radiactivas naturales y artificiales. Libro A.

Sobre la diferenciación entre irradiación y contaminación

Un pensamiento generalizado tanto entre alumnos como entre profesores en formación es que una sustancia que ha sido expuesta a radiación ionizante se convierte en radiactiva, confundiendo irradiación con contaminación. En ninguno de los libros analizados se explica la diferencia entre estos dos conceptos. Por ejemplo, los libros B y D solo mencionan la irradiación como un método de esterilización de material médico o de alimentos. El libro de texto A indica, además, que la irradiación no constituye contaminación, pero sin aclarar la diferencia entre ambos conceptos. El libro C no trata esta cuestión.

Sobre el alcance y modo de propagación de la radiación

Ninguno de los libros analizados aborda el problema del alcance de la radiación, y no diferencian entre la propagación de la radiación misma y la propagación de las sustancias radiactivas. Mientras la primera tiene un alcance local, las segundas pueden recorrer grandes distancias como, por ejemplo, una nube contaminada con sustancias radiactivas.

Sobre la diferenciación entre los conceptos radiactividad, materia radiactiva y radiación

En todos los libros de texto se mencionan dichos términos, pero no con una intencionalidad didáctica aclaratoria o diferenciadora entre ellos. Este aspecto simplemente no se trata, aunque el uso indiferenciado de estos constituye uno de los problemas de aprendizaje que ha puesto de manifiesto la investigación didáctica (Millar *et al.*, 1990; Prather y Harrington, 2001).

Sobre el átomo radiactivo

El libro de texto A define la radiactividad desde un punto de vista fenomenológico como «la emisión espontánea de radiación por parte de algunas sustancias llamadas radiactivas». En cambio, los libros B, C y D la describen como un proceso de origen nuclear en el que se emiten partículas y/o radiación procedentes del núcleo de los átomos. Los tres textos aclaran que los átomos que sufren este proceso se denominan isótopos radiactivos o radioisótopos y justifican este proceso por la inestabilidad del núcleo atómico. El libro B añade que hay una transformación de átomos de un elemento químico en átomos de otro elemento (figura 2).

Ya sabemos que la mayoría de los elementos están formados por una mezcla de isótopos. Algunos de estos isótopos son inestables: del núcleo de sus átomos salen partículas a gran velocidad.

En la radiactividad, el núcleo de un átomo se transforma espontáneamente en otro: átomos de un elemento se transforman en átomos de otro elemento.

Fig. 2. Introducción del concepto de radiactividad. Libro B.

Los cuatro textos hacen una descripción de las partículas y la radiación emitidas, bien mediante texto e ilustraciones (libros B y C; véase figura 3) o bien solo mediante texto (libros A y D).

Curiosamente, ninguno de los libros usa el término radiación ionizante para referirse a la radiación emitida por un isótopo radiactivo. En su lugar se dice que la radiación emitida es de «alta energía» o «muy alta energía». Es llamativo que el libro C, al referirse a la radiación α , afirme que «se llama radiación ionizante», no mencionándolo para las radiaciones β y γ , como si estas no lo fueran (véase figura 3).

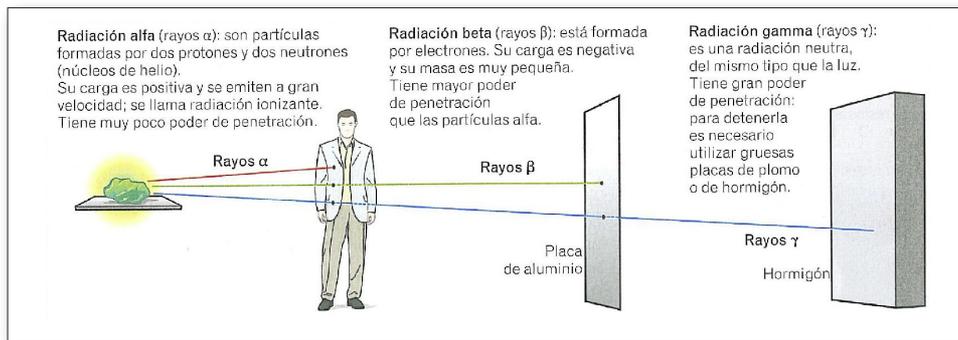


Fig. 3. Tipos de emisiones radiactivas. Libro C.

Ninguno de los libros de texto analizados incluye ilustraciones y/o explicaciones mediante texto para clarificar la transformación del núcleo atómico. Sin embargo, sí se usa un modelo atómico-nuclear para ilustrar los procesos de fusión y fisión nucleares (figura 4).

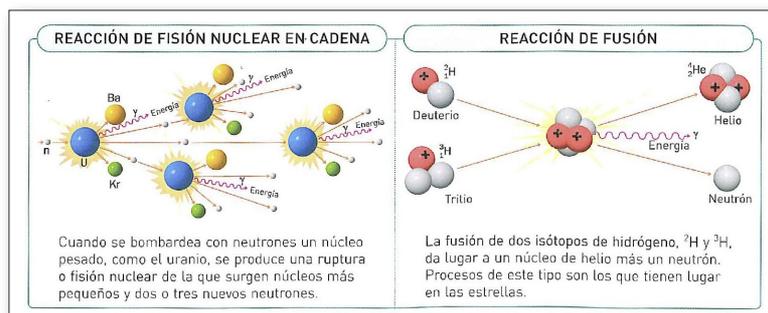


Fig. 4. Fisión y fusión nucleares. Libro D.

Sobre los conceptos periodo de semidesintegración, actividad y dosis

Estos conceptos apenas son tratados. En el libro de texto A se define el periodo de semidesintegración, pero no se pone énfasis en promover que el alumnado cambie su forma de pensar: *que la mitad de los átomos radiactivos desaparecen después de un tiempo igual a un periodo de semidesintegración*. En relación con el concepto de dosis, este libro propone al alumno que investigue sobre su significado, haciendo referencia al gráfico de sectores circulares ya mencionado (figura 1). También se comenta que «Sin embargo, si la dosis de radiación recibida es adecuada, el uso de radioisótopos u otras formas de radiación presenta numerosas aplicaciones», sin aclarar qué significa dosis adecuada. El término actividad no es mencionado.

En el libro de texto B solo se menciona el término *dosis de tolerancia* al referirse a «las consecuencias perniciosas de la radiación». Tampoco aquí se define o explica el concepto. Los otros dos conceptos no son mencionados.

El libro de texto C se refiere al término *actividad* solo para clasificar los residuos radiactivos en residuos de alta, baja y media actividad. Curiosamente en este libro y en uno de sus márgenes, se indica que «cada isótopo se desintegra a un ritmo que depende de la cantidad de átomos presentes y de su tipo», pero no se indica que precisamente ese es el significado de actividad.

Finalmente, en el libro de texto D, al igual que en el C, solo se menciona la actividad para clasificar los residuos radiactivos, pero tampoco se define ni explica el concepto. Más adelante se dice que el almacenamiento de los residuos «plantea problemas graves ya que pueden mantener la actividad ra-

diactiva durante miles de años». Esta afirmación puede inducir en el alumnado la creencia de que dicha actividad se mantiene constante durante todo ese tiempo. De hecho, este pensamiento parece estar presente entre alumnado de secundaria (Gutiérrez *et al.*, 2000) y también ha sido puesto de manifiesto entre profesorado en formación (Aubrecht y Torick, 2000).

Sobre los factores que afectan al proceso radiactivo

La investigación didáctica ha puesto de manifiesto que tanto alumnos (Nakiboğlu y Bülbül, 2006) como profesores en formación (Aubrecht y Torick, 2000) creen que la temperatura, el estado de agregación o la combinación química afectan al proceso radiactivo. Este aspecto tampoco es tratado por los libros de la muestra analizada. Solo el libro D, en un margen de la segunda página, plantea como cuestión para el alumno si al tratar un trozo de pechblenda (UO_2) con ácido nítrico, obteniendo nitrato de uranilo, se conseguirá eliminar la radiactividad.

Sobre medidas protectoras y efectos de la radiación

El libro A se refiere únicamente a que «los científicos han puesto de manifiesto lo peligrosas que pueden llegar a ser estas radiaciones de alta energía», refiriéndose a los rayos X y a la radiactividad. El libro B tiene un apartado titulado «Peligros de la radiación» en el que se afirma que «para el ser humano puede resultar mortal exponer su cuerpo a las radiaciones». Se debe señalar que, junto con las afirmaciones anteriores, en ningún momento se hace referencia al concepto de dosis. El libro C, por su parte, se refiere a los residuos radiactivos como «muy peligrosos», «muy duraderos» y que «pequeñas cantidades de residuo pueden emitir radiación peligrosa para la salud humana». Por último, el libro D solo menciona que «los isótopos radiactivos pueden ocasionar daños en las células vivas, por lo que su manejo es peligroso y exige unas medidas de seguridad extraordinarias», sin aclarar a partir de qué valores son peligrosos y hay que tomar tales medidas.

En ninguno de los libros analizados se hace mención de los tres factores que se han de tener en cuenta para la protección frente a las radiaciones ionizantes: distancia, tiempo de exposición y blindaje.

Por otra parte, como ya se mencionó en la metodología, nos planteamos el análisis de los libros de texto desde una segunda perspectiva: examinar en qué medida siguen una secuencia didáctica similar a la propuesta por Millar *et al.* (1990). En este sentido se debe señalar que ninguno de los libros analizados lo hace. En su lugar, el tratamiento que realizan se puede resumir en las siguientes partes:

- Una aproximación al concepto de proceso radiactivo desde un punto de vista nuclear (excepto el libro A) y a los tipos y características de las radiaciones emitidas.
- Una breve descripción de las reacciones de fisión y fusión nuclear, así como de los residuos radiactivos, excepto el libro A, que no trata estos temas; en su lugar hace referencia a las fuentes radiactivas naturales y artificiales. Tampoco es tratado por el libro B, que, en su lugar, trata los conceptos de radiactividad natural y artificial.
- Una enumeración de diferentes aplicaciones de los isótopos radiactivos y algunos comentarios sobre los peligros de la radiación sobre la materia viva.

Por tanto, no se parte de experiencias fenomenológicas próximas al alumnado, no se realiza un tratamiento macroscópico cualitativo y cuantitativo con la intencionalidad didáctica de resolver los problemas de aprendizaje puestos de manifiesto por la investigación didáctica y, finalmente, abordan el tratamiento de la radiactividad desde un punto de vista atómico-nuclear, pero no con la intención de que sirva de modelo para explicar los aspectos fenomenológicos y macroscópicos señalados.

Resultados del análisis de la prensa

Aunque la información ofrecida por la prensa fue correcta en muchos casos, en otros los términos o las expresiones usadas no estuvieron de acuerdo con la ciencia escolar. En el anexo II se muestran, a modo de ejemplo, algunas citas extraídas de los tres periódicos de la muestra, organizadas de acuerdo con las categorías de análisis que se han indicado en la metodología.

A continuación se comentan los resultados obtenidos para las diferentes categorías.

Sobre la diferenciación entre irradiación y contaminación

La radiación se trata en muchas ocasiones como un contaminante, es decir, como algo material que se encuentra en el interior de una sustancia. Se habla, por ejemplo, de la «radiación detectada en vegetales, agua y leche» o de «agua contaminada con radiación». Es fácil deducir de estas expresiones que cuando la radiación interacciona con la materia queda almacenada en su interior pudiendo más tarde ser liberada. Esto genera una confusión entre los conceptos de irradiación y contaminación por sustancias radiactivas. Algunos ejemplos serían:

«En la vecina prefectura de Ibaraki han sido identificadas espinacas con radiación que supera los límites fijados por el Gobierno» (*El País*, 20/03/2011).

«Tepco [...] tenía previsto extraer el agua contaminada con radiación de los cuatro bloques de reactores de Fukushima 1» (*El Mundo*, 27/03/2011).

Sobre el alcance y modo de propagación de la radiación

En el anexo II se muestran ejemplos en los que se afirma que la radiación, transportada por el aire o la lluvia, puede alcanzar lugares muy alejados del punto de emisión como dispersarse por el océano Pacífico o incluso llegar a España:

«Buena parte de la radiación se ha dispersado sobre el Pacífico, ya que los vientos dominantes iban hacia allí» (*El País*, 26/03/2011).

«La radiación detectada en España procedente de Fukushima no es peligrosa» (*La Voz de Galicia*, 01/04/2011).

En realidad, son las sustancias radiactivas, no la radiación, las que disueltas o dispersas en un medio pueden alcanzar tales distancias.

Sobre la diferenciación entre los conceptos radiactividad, materia radiactiva y radiación

Estos términos son usados de un modo indiferenciado. Esto contribuye a una confusión en el lector sobre su auténtico significado:

«El OIEA aseguró en un comunicado a media tarde de este viernes que no se había producido ningún escape de radiactividad» (*El Mundo*, 12/03/2011).

«Tokyo Electric Power (Tepco), [...] está estudiando la posibilidad de sellar los reactores [...] para poner fin a un riesgo de una fuga masiva de radiación» (*El País*, 19/03/2011).

Sobre el átomo radiactivo

En general, el concepto de isótopo está ausente. Por ejemplo, se dice:

«El agua de Tokio, en la que se había detectado yodo, ha dado positivo también en cesio» (*El País*, 21/03/2011).

«... los niveles de yodo radiactivo en el agua de Tokio habían superado dos veces los límites permitidos para niños menores de un año» (*La Voz de Galicia*, 24/03/2011).

En esta última cita no queda claro si se trata de yodo *normal* que por efecto de la radiación se ha vuelto *radiactivo*, yodo *normal* contaminado con otro tipo de yodo o sustancias radiactivas o, como es el caso, el isótopo inestable de yodo-131.

Sobre los conceptos de periodo de semidesintegración, actividad y dosis

Como se puede apreciar en el anexo II, el concepto de periodo de semidesintegración se interpreta de muy diversos modos. Por ejemplo, como el tiempo de vida de un isótopo: «El estroncio-90 perdura en la naturaleza durante cerca de 30 años» (*El Mundo*, 31/03/2011). En otras ocasiones parece deducirse que la actividad es constante durante un periodo de semidesintegración para después disminuir más o menos rápidamente: «... el yodo radiactivo tiene una vida corta de cerca de ocho días y luego su radiactividad decae naturalmente en cuestión de semanas...». O que la actividad es más o menos constante durante todo el tiempo. Así, se habla de que el plutonio después de 24.000 años «aún seguiría siendo muy radiactivo». En otras ocasiones se usa el término *vida media* en lugar de *periodo de semidesintegración* o simplemente se usan indistintamente.

El concepto de dosis también se usa incorrectamente. Por ejemplo, se habla de «dosis emitida» cuando en realidad el concepto de dosis hace referencia a la cantidad de radiación recibida. Es el término actividad el que se relaciona con la emisión de radiación. En otras ocasiones se usa el término confuso de «dosis radiactiva». En general, hay un uso generalizado y abusivo de este adjetivo. Por ejemplo, se habla de «fuga radiactiva», «yodo radiactivo» o el citado anteriormente «dosis radiactiva», no quedando claro el significado de dicho término en cada situación.

Sobre medidas protectoras y efectos de la radiación

Las medidas protectoras que suelen citarse en la prensa hacen referencia o a trajes especiales y máscaras, o bien a pastillas de yodo o yoduro de potasio. Por ejemplo, «Estados Unidos [...] ha enviado trajes anti-radiación y un equipo de especialistas» o «Los soldados reciben píldoras contra las radiaciones». En este último caso parece como si dichas píldoras actuaran como un antídoto ante un veneno que sería la radiación. Esto queda más afianzado con frases como la siguiente: «En Hiroshima murieron unas 140.000 personas y otras 300.000 resultaron heridas o fueron víctimas posteriores de un veneno desconocido hasta entonces: la radiación» (*El País*, 18/03/2011). En otras ocasiones se habla de los peligros, pero sin hacer referencia a la dosis: «[El Plutonio] Emite radiación de tipo alfa, que puede ser detenida por la ropa o por un simple papel. El mayor riesgo es que entre en contacto con el cuerpo, ya que puede provocar cáncer o alteraciones celulares» (*El Mundo*, 31/03/2011), o se habla de un «paso crucial para enfriar las barras de combustible usado y limitar la fuga de radiactividad mortal» (*El País*, 21/03/2011).

En cualquier caso, las medidas de protección que se señalan –trajes, yoduro de potasio, etc.– son medidas contra la contaminación, no contra la radiación propiamente dicha. Además, la prensa acostumbra a usar el término genérico *radiación*, sin diferenciar entre radiación α , β y γ , de modo que tampoco queda claro que los diferentes tipos de radiación implican protecciones diferentes y tienen efectos de diferente intensidad sobre la materia viva.

CONCLUSIONES

De la discusión de los resultados se derivan algunas conclusiones que consideramos relevantes:

- Relacionadas con el problema de investigación uno: ¿Qué ideas poseen sobre la radiactividad los alumnos de la muestra al finalizar la enseñanza secundaria obligatoria?

Se tiende a relacionar las *fuentes radiactivas* con diferentes dispositivos tecnológicos, lo que podría explicar la escasa conciencia de la continua exposición a la radiación ionizante de origen natural. Se confunden los conceptos de *radiación* y *sustancia radiactiva*, lo que induce a considerar la radiación como un contaminante contenido en la sustancia que la absorbe y que podría ser liberada posteriormente.

Se considera que el *alcance de la radiación* es debido al transporte de esta por diversos agentes como el aire o la lluvia, sin tener en cuenta que son las sustancias radiactivas, no la radiación, las que pueden alcanzar grandes distancias, disueltas o dispersas en dichos medios.

Se atribuyen al término *radiactivo* diferentes significados: un medio será radiactivo si contiene sustancias radiactivas, radiación o si sus moléculas emiten radiación, lo que, incorrectamente, implicaría, en este último caso, una concepción de radiactividad inducida por la radiación.

Se pone de manifiesto una deficiente interpretación del proceso radiactivo desde la perspectiva atómico-nuclear. Por ejemplo, se incluyen los electrones de valencia para justificar la inestabilidad del núcleo atómico; se señala que no existe transformación de un elemento químico en otro durante el proceso de desintegración radiactiva y se considera que factores como la temperatura o el estado de agregación pueden afectar a dicho proceso.

Existe la predisposición a considerar la radiación emitida por una sustancia radiactiva como *radiación peligrosa*, independientemente de la dosis recibida. Asimismo, no hay conciencia de que los diferentes tipos de radiación (α , β y γ) requerirán diferentes protecciones.

- Relacionadas con el problema de investigación dos: ¿Qué tratamiento hacen los libros de texto de 3.º de ESO seleccionados sobre la radiactividad?

Se ha de señalar el escaso tratamiento que, sobre el tema, hacen los libros de la muestra.

No se hace explícita nuestra continua exposición a *radiación ionizante* procedente de fuentes radiactivas naturales.

La diferencia entre los términos *irradiación* y *contaminación* no es aclarada, por lo que no se contribuye a cambiar la creencia de que una sustancia que ha sido expuesta a radiación ionizante se convierte en radiactiva, como si se contaminara.

No se señala el diferente *modo de propagación* de la radiación y de las sustancias radiactivas, para poner en evidencia que, mientras la primera tiene un alcance local, las segundas pueden recorrer grandes distancias al ser transportadas por un determinado medio.

Se mencionan los términos *radiactividad*, *materia radiactiva* y *radiación*, pero no se aclara su diferente significado.

El tratamiento de los conceptos de *periodo de semidesintegración*, *actividad* y *dosis* es insuficiente. Lo mismo ocurre con los *factores* que pueden afectar al proceso radiactivo.

Con respecto a los *efectos de la radiación*, se coincide en el peligro de esta, pero en ningún momento se hace mención del concepto de *dosis* ni se aclara a partir de qué valores es peligrosa. De este modo, no se aportan elementos para valorar los riesgos asociados a las radiaciones ionizantes y las medidas de seguridad apropiadas.

La *emisión de radiación* se describe mediante dos procesos: emisión de partículas y/o radiación, procedentes del núcleo de los átomos. La emisión de partículas supone la transformación de un elemento químico en otro diferente. La emisión de radiación gamma es el resultado del paso del núcleo de un estado excitado al estado fundamental, conservándose la naturaleza del elemento

químico. Pero no se proponen ilustraciones de un modelo analógico microscópico que ilustre y contribuya a dar significado a dichos procesos.

Hemos de señalar, finalmente, que no se parte de *experiencias fenomenológicas* cercanas, que permitan construir y dar significado al discurso explicativo de la ciencia escolar.

- Relacionadas con el problema de investigación tres: Durante el accidente en la central nuclear de Fukushima, ¿ha usado la prensa digital de la muestra los términos relacionados con el fenómeno de la radiactividad de un modo acorde con la ciencia escolar?

La *radiación* se trata como un contaminante que, cuando interacciona con la materia, queda almacenada en su interior pudiendo más tarde ser liberada. Esto puede generar una confusión entre los conceptos de *irradiación* y *contaminación* por sustancias radiactivas.

Se implican diferentes agentes –viento, nubes o lluvia– en el *transporte de la radiación*, presentando la idea de que la radiación puede alcanzar lugares muy alejados del punto de emisión. En realidad, la radiación, tiene un corto alcance; son las sustancias radiactivas las que, disueltas o dispersas en diferentes medios, pueden trasladarse a lugares tan lejanos.

Se hace uso, indistintamente, de los términos *radiactividad* y *radiación*, además del término correcto *sustancia* o *material radiactivo*, para notificar la fuga o escape de este, siendo el término *radiación* el más incorrectamente utilizado.

El concepto de *periodo de semidesintegración* se confunde con el de *vida media* o, simplemente, se usan indistintamente. Parece deducirse que la *actividad* es constante durante un periodo de semidesintegración, para después disminuir más o menos rápidamente, o que la actividad es más o menos constante durante todo el tiempo.

El concepto de *dosis* se usa incorrectamente: se habla de «dosis emitida» cuando en realidad el concepto de dosis hace referencia a la cantidad de radiación recibida.

Hay un uso generalizado y abusivo del adjetivo *radiactivo*: «fuga radiactiva», «dosis radiactiva», «yodo radiactivo», etc., no quedando claro el significado de dicho término en cada situación.

Las *medidas protectoras* se refieren a ropa, máscaras especiales o pastillas específicas. Estas medidas, lo son contra la contaminación, no contra la radiación propiamente dicha. Tampoco queda claro que los diferentes tipos de radiación implican protecciones distintas y tienen efectos de diferente intensidad sobre la materia viva. Además, se habla de los *peligros de la radiación*, pero sin hacer referencia a la dosis.

- Relacionadas con el problema de investigación cuatro: ¿Existe alguna relación entre las ideas de los alumnos y la información aportada por los libros de texto y la prensa digital estudiados?

El tratamiento superficial e incompleto de este tema en los libros de texto y en la prensa digital no contribuye a resolver las dificultades de aprendizaje señaladas.

Apenas se mencionan las principales *fuentes de radiación ionizante de origen natural* por lo que, probablemente, no se adquiere la consciencia de que el planeta Tierra siempre ha estado expuesto a este tipo de radiaciones, incluso desde antes de la aparición del ser humano.

El inadecuado tratamiento de cómo la *radiación interacciona con la materia* deja abierta la posibilidad a que se pueda interpretar que aquella quede almacenada en el interior de esta, como un contaminante más, con posibilidad de ser irradiada de nuevo.

El concepto de *dosis* está ausente y no se diferencian los términos *radiactividad*, *sustancia radiactiva* y *radiación*, de ahí que las sustancias radiactivas sean consideradas siempre y en cualquier circunstancia muy peligrosas.

Las deficiencias encontradas en el alumnado de la muestra parecen tener al menos dos orígenes: *el educativo* y *el social*. Son estos, libros de texto y prensa, dos de los ámbitos en los que se debe trabajar para que el alumnado y el profesorado dispongan de recursos adecuados para tratar un aspecto sociocientífico tan relevante.

Finalmente, queremos hacer constar dos aspectos que consideramos de interés, relacionados con un trabajo anterior (Corbelle y Domínguez, 2015):

- La similitud de las ideas alternativas del alumnado de la muestra con las de alumnado de similar y diferente rango de edad de otros países, los cuales han recibido desigual grado de formación en este tema e, incluso, con las ideas mostradas por profesores en formación.
- La similitud de las deficiencias encontradas en la prensa inglesa (Eijkelhof y Millar, 1988) y holandesa (Lijnse *et al.*, 1990) al tratar el accidente de Chernóbil, con las encontradas en la prensa española de la muestra al informar sobre el accidente de Fukushima, a pesar de tratarse de países diferentes cubriendo accidentes que ocurrieron con una diferencia de 25 años.

Tales resultados parecen indicar que no estamos ante un problema específico de un país o de unos alumnos concretos, sino ante uno de carácter más general, en un campo que ha recibido menos atención que otros por la investigación y la innovación didácticas.

Finalmente, debemos resaltar el carácter exploratorio y limitado de este estudio, del que no se pueden, ni pretendemos, extraer conclusiones generalizables. Esperamos, sin embargo, que contribuya a poner de manifiesto algunas carencias y dificultades que posee el alumnado en este campo, así como señalar posibles causas que las justifiquen. Confiamos que este trabajo sirva de impulso para posteriores investigaciones que profundicen en los diferentes aspectos señalados.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto EDU2015-66643-C2-2-P, «Prácticas científicas en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias: dimensiones en la transferencia y el desempeño», financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACAR, B. (2010). Internet as a Source of Misconception: «Radiation and Radioactivity». *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 9(4), pp. 94-99.
- AUBRECHT, G.J. y TORICK, D.A. (2000). Radioactivity: A Study of Student Ideas and Development of a Curriculum Based on the Findings. En M.A. Moreira (Ed.), *Proceedings of the Seventh Inter-American Conference in Physics Education*. Porto Alegre, Brasil: IAC.
- BOYES, E. y STANISSTREET, M. (1994). Children's Ideas about Radioactivity and Radiation: sources, mode of travel, uses and dangers. *Research in Science y Technological Education*, 12(2), pp. 145-160. <http://dx.doi.org/10.1080/0263514940120204>
- COLCLOUGH, N.D., LOCK, R. y SOARES, A. (2011). Pre-service Teachers' Subject Knowledge of and Attitudes about Radioactivity and Ionising Radiation. *International Journal of Science Education*, 33(3), pp. 423-446. <http://dx.doi.org/10.1080/09500691003639905>
- CORBELLE CAO, J. y DOMÍNGUEZ CASTIÑEIRAS, J.M. (2015). Estado de la cuestión sobre el aprendizaje y la enseñanza de la radiactividad en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 33(3), pp. 137-158. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1807>
- CORNEJO, J.N., SPELTINI, C.T., ROBLE, M.B. y SANTILLI, H. (2010). ¿Qué conocimientos se enseñan y se aprenden en la escuela media argentina acerca de los efectos biológicos de las radiaciones? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(2), pp. 492-508.

- EIJKELHOF, H.M.C. y LIJNSE, P. (1988). The role of research and development to improve STS education: experiences from the PLON project. *International Journal of Science Education*, 10(4), pp. 465-474.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069880100413>
- EIJKELHOF, H.M.C. y MILLAR, R. (1988). Reading about Chernobyl: the public understanding of radiation and radioactivity. *School Science Review*, 70(251), pp. 35-41.
- GUTIÉRREZ, E.E., CAPUANO, V.C., PERROTA, M.T., DE LA FUENTE, A.M. y FOLLARI, B. del R. (2000). ¿Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear? *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2), pp. 247-254.
- HARLEN, W. y HOLROYD, C. (1997). Primary teachers' understanding of concepts of science: impact on confidence and teaching. *International Journal of Science Education*, 19(1), pp. 93-105.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069970190107>
- LEE, O. y PORTER, A.C. (1993). A teacher's bounded rationality in middle school science. *Teaching and Teacher Education*, 9(4), pp. 397-409.
[http://dx.doi.org/10.1016/0742-051X\(93\)90006-3](http://dx.doi.org/10.1016/0742-051X(93)90006-3)
- LIJNSE, P.L., EIJKELHOF, H.M.C., KLAASEN, C.W.J.M. y SCHOLTE, R.L.J. (1990). Pupils' and mass-media ideas about radioactivity. *International Journal of Science Education*, 12(1), pp. 67-78.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069900120106>
- MILLAR, R., KLAASEN, K. y EIJKELHOF, H. (1990). Teaching about Radioactivity and Ionising Radiation: an alternative approach. *Physics Education*, 25, pp. 338-342.
<http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/25/6/310>
- MILLAR, R. y SINGH, J. (1996). School students' understanding of processes involving radioactive substances and ionizing radiation. *Physics Education*, 31(1), pp. 27-33.
<http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/31/1/019>
- NAKIBOĞLU, C. y BÜLBÜL, B. (2006). Identifying students' misconceptions about nuclear chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83(11), pp. 1712-1718.
<http://dx.doi.org/10.1021/ed083p1712>
- POZO, J.I. (1996). La psicología cognitiva y la educación científica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(2), pp. 110-131.
- PRATHER, E. (2005). Students' beliefs about the role of atoms in radioactive decay and half-life. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), pp. 345-354.
<http://dx.doi.org/10.5408/1089-9995-53.4.345>
- PRATHER, E.E. y HARRINGTON, R.R. (2001). Student Understanding of Ionizing Radiation and Radioactivity. *Journal of College Science Teaching*, 31(2), pp. 89-93.
- SÁNCHEZ, G. y VALCÁRCEL, M.V. (1999). Science teachers' views and practices in planning for teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), pp. 493-513.
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199904\)36:4<493::AID-TEA6>3.0.CO;2-P](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199904)36:4<493::AID-TEA6>3.0.CO;2-P)
- XUNTA DE GALICIA. CONSELLERÍA DE EDUCACIÓN E ORDENACIÓN UNIVERSITARIA (2007). Decreto 133/2007, do 5 de xullo, polo que se regulan as ensinanzas da educación secundaria obrigatoria na Comunidade Autónoma de Galicia. *Diario Oficial de Galicia*, 136, pp. 12032-12199.

Referencias procedentes de páginas web:

- EIJKELHOF, H.M.C. (1990). *Radiation and Risk in Physics Education*. Utrecht, University of Utrecht. Último acceso, 24/11/2014. <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/22/010/22010294.pdf>

ANEXO I CUESTIONARIO DE ALUMNOS

1.- Imagina, por un momento, que estás en los siguientes lugares.



A. Tendido eléctrico de alta tensión



B. Playa al lado de una central nuclear



C. Cocina en la que hay un horno microondas funcionando



D. Por un momento te trasladas a la época de los dinosaurios



E. Te sometes a una gammagrafía



F. Realizas un vuelo en un avión

Señala mediante una (x) en cuáles de ellos crees que estarías expuesto a Radiactividad:

Estaría expuesto a Radiactividad en **todos**.

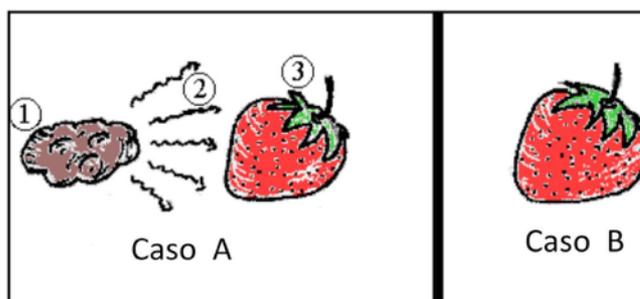
No estaría expuesto a Radiactividad en **ninguno**.

No estoy de acuerdo con las respuestas anteriores, por lo que elijo los siguientes lugares:

Ahora, de los lugares elegidos, ordénalos de mayor a menor según la cantidad de radiactividad a la que consideres que estás expuesto. Ejemplo: A > B > C

2.- Una fresa está siendo irradiada mediante una fuente radiactiva (caso A). Después, se separa de la fuente, quedando sola (caso B).

- ① Fuente radiactiva
- ② Radiación
- ③ Fresa



A. ¿Emitirá la fresa, en el caso B, radiación? Indica, mediante una (x), la opción con la que estés más de acuerdo:

La fresa emitirá radiación.

La fresa no emitirá radiación.

Explica lo más detalladamente que puedas tu respuesta.

B. ¿Contendrá la fresa en la situación B sustancias radiactivas? Indica, mediante una (x), la opción con que consideres más adecuada::

La fresa en la situación B contiene sustancias radiactivas.

La fresa en la situación B no contiene sustancias radiactivas.

Explica lo más detalladamente que puedas tu respuesta.

3.- Imagina que formas parte de la redacción del periódico “La Voz de Galicia”. Cuando se cubrió la noticia sobre el accidente en la central nuclear de Fukushima (Japón), en marzo del año pasado, hubo un gran debate en el periódico sobre cómo expresar la frase “*Japón se prepara para una fuga masiva de radiactividad*”. Algunos periodistas no estaban de acuerdo con el uso de la palabra “radiactividad” y barajaron otras posibilidades.

Lee la noticia e indica, mediante una (x), la opción que consideres más adecuada:

radiactividad.

Japón se prepara para una fuga masiva de radiación.

sustancias radiactivas.

Elegiría cualquier opción, los tres términos significan lo mismo.

La Voz de Galicia.es

PORTADA GALICIA DEPORTES SOCIEDAD DINERO ESPAÑA MUNDO OPINIÓN BLOGS OCIO Y CULTURA SERVICIOS TIENDA ANUNCIOS PISOS COCHES EMPLEO

DEVASTACIÓN EN JAPÓN

La OIEA confirma daños en tres de los reactores de Fukushima

Nuevas explosiones y un incendio han empeorado la situación en la planta. La OIEA opina que no se puede afirmar que la situación esté «fuera de control» y según EE.UU. los niveles de radiación podrían impedir las tareas de enfriamiento que hasta ahora han evitado una catástrofe. Japón se prepara para una [fuga masiva de radiactividad](#). [Tokio reduce su actividad](#) entre el miedo y la salida de extranjeros.

EFE | DPA | 16/3/2011 | Actualizada a las 23:51 h

Imagen del reactor número 3 (izquierda) y el número 4 de Fukushima. Reactores

Relacionados de la noticia

- El responsable de **descontaminar Chernóbil** asegura que no se aprendió de los errores
- Varios países urgen a sus ciudadanos en Japón a tomar medidas
- Seguridad:** Revisiones de centrales en España | INES, la escala de sucesos nucleares
- Efectos económicos:** Posible fallo de proveedores en Citroën | El Banco de Japón inyecta más dinero | Inditex cierra 20 tiendas
- V Televisión:** «Apocalipsis» en Fukushima | Buscando supervivientes | Las claves de la catástrofe
- Álbumes:** Temor a la radiación | Refugiados | Trabajo humanitario | La destrucción | Tsunami
- Debate:** ¿Hay que prescindir de la energía nuclear?

Explica lo más detalladamente que puedas tu elección.

4.- La siguiente noticia apareció en el periódico “El Mundo” el 5 de diciembre del año pasado, en relación con el accidente sufrido en la central nuclear japonesa de Fukushima.

EL MUNDO.es

España | Mundo | Europa | Op-Blogs | Deportes | Economía | Vivienda | Cultura | Toros | Ciencia | Salud | Tecnología | Medios | Solidaridad

Internacional | **Terremoto en Japón** | Fukushima | Gráficos | Fotos y vídeos | Desde Sendai | 10 claves

JAPÓN | Podría haberse filtrado fuera de la planta

Tepco detecta una fuga de agua radiactiva en la central de Fukushima

Efe | Tokio
Actualizado lunes 05/12/2011 04:04 horas

Noticias más leídas

1. Organismos de pesadilla
2. Una estudiante muerta en una explosión en Italia
3. ¿Por qué no se cae una biol en movimiento?
4. Motivos para que no cunda el pánico en los bancos
5. El PSOE: 'Por fin se sabe quién mentía'
6. El déficit del Estado se eleva al 8,91% en 2011
7. Antena 3 cancela el programa de Buenaventura
8. Oda al pena
9. La 'imagen definitiva' de la Tierra
10. Gibraltar vuelve a echar a pescadores españoles

Ver lista completa

El “*agua radiactiva*” a la que se alude en la noticia es agua:

x que contiene sustancias radiactivas.

que contiene radiación.

cuyas moléculas, como consecuencia de la radiación recibida, emiten radiación.

ninguna de las anteriores, en realidad significa que

.....

Explica lo más detalladamente que puedas tu elección.

5.- El yodo-131 y el cesio-137 son isótopos radiactivos que se emitieron en el accidente nuclear de Fukushima, ocurrido en Japón en marzo del año pasado. El yodo-131 tiene un período de semidesintegración de 8 días mientras que en el caso del cesio-137 es de 30 años.

El período de semidesintegración es el tiempo que le lleva a cierta cantidad de un isótopo radiactivo en reducirse a la mitad.

En relación con esto contesta a las siguientes preguntas.

5.1. Estos isótopos se dice que son radiactivos porque:

Los átomos de yodo-131 y cesio-137 son inestables.

x Los núcleos de los átomos de yodo-131 y cesio-137 son inestables.

Los electrones de los átomos de yodo-131 y cesio-137 están en una situación inestable.

Ninguna de las anteriores, en realidad son radiactivos porque

Explica lo más detalladamente que puedas tu elección.

5.2. ¿Cuál de los dos isótopos anteriores crees que es más inestable?

x El yodo-131 es más inestable.

El cesio-137 es más inestable.

Faltan datos. Necesitaría saber

5.3. ¿Qué crees que le ocurre a los isótopos anteriores?

x Se transforman en otro elemento químico emitiendo radiaciones.

Emiten radiaciones, quedando el mismo elemento químico, pero con menor energía.

Emiten radiaciones y, como consecuencia, desaparecen.

Ninguna de las anteriores. En realidad considero que,

6.- Una manera de disminuir la radiactividad de las dos sustancias anteriores sería:

disminuir/aumentar su temperatura. (Tacha lo que no proceda)

pasarlas a fase *solida/líquida/gas*. (Tacha lo que no proceda)

Las dos opciones anteriores: *disminuiría/aumentaría* su temperatura y las pasaría a fase *solida/líquida/gas*. (Tacha lo que no proceda)

Ninguna de las anteriores, lo que haría sería

.....

x No es posible aumentar o disminuir su radiactividad.

7. Si te vieses implicado en un accidente por radiación ionizante¹, ¿qué medidas de protección tomarías de forma inmediata? Cita al menos 2 medidas y explica tu elección.

¹Radiación ionizante: son los rayos X y la radiación emitida por las sustancias radiactivas.

ANEXO II

CITAS DE LOS PERIÓDICOS EL MUNDO, EL PAÍS Y LA VOZ DE GALICIA

Categorías de Análisis	FRASES RECOGIDAS DE LA PRENSA
Sobre la diferenciación entre irradiación y contaminación	<p>“La evidencia de radiación detectada en vegetales, agua y leche ha creado alarma en Japón.” (El Mundo, 22/03/2011)</p> <p>“Tepco, la empresa operadora de la planta atómica, tenía previsto extraer el agua contaminada con radiación de los cuatro bloques de reactores de Fukushima 1.” (El Mundo, 27/03/2011)</p> <p>El problema del agua de mar no es el agua en sí, sino los crustáceos, los moluscos y los peces, que acumulan radiación ...” (El País, 23/03/2011)</p> <p>Los habitantes que huyeron de los alrededores de la nuclear de Fukushima [...] son rechazados en los centros de evacuación por temor a que sean radiactivos y contaminen a otros. (La Voz de Galicia, 14/04/2011)</p>
Sobre el alcance y modo de propagación de la radiación	<p>“La radiación detectada en España procedente de Fukushima no es peligrosa.” (La Voz de Galicia, 1/04/2011)</p> <p>“en California se habían hallado unas cantidades "minúsculas" de radiación procedentes, al parecer, de los reactores nucleares japoneses dañados.” (El Mundo, 22/03/2011)</p> <p>“Los expertos creen que la radiación fue transportada por el viento desde la central de Fukushima y que la lluvia la llevó a los ríos.” (El País, 26/03/2011)</p> <p>“Buena parte de la radiación se ha dispersado sobre el Pacífico, ya que los vientos dominantes iban hacia allí.” (El País, 27/03/2011)</p> <p>“El proceso implicaría la posible difusión de vapores radiactivos ...” (El Mundo, 12/03/2011)</p>
Sobre la diferenciación entre los conceptos radiactividad, radiación y materia radiactiva	<p>“El OIEA aseguró en un comunicado a media tarde de este viernes que no se había producido ningún escape de radiactividad ...” (El Mundo, 12/03/2011)</p> <p>“La radiación liberada por las plantas nucleares ha suscitado las críticas de grupos ecologistas ...” (El Mundo, 12/03/2011)</p> <p>“Por el lado negativo, se han detectado fugas de radiación de la planta, que han afectado a algunos alimentos y el agua.” (El Mundo, 20/03/2011)</p> <p>“En ambos casos [núcleos de los reactores 3 y 4] se libera una enorme cantidad de radiactividad.” (El País, 17/03/2011)</p> <p>“Tokyo Electric Power (Tepco), la operadora de la central atómica japonesa de Fukushima I, ... está estudiando la posibilidad de sellar los reactores ... para poner fin al riesgo de una fuga masiva de radiación.” (El País, 19/03/2011)</p> <p>“Según el OIEA, la fuga de radiactividad continúa, pero se desconoce exactamente de dónde procede.” (La Voz de Galicia, 23/03/2011)</p>

Categorías de Análisis	FRASES RECOGIDAS DE LA PRENSA
Sobre el átomo radiactivo	<p>“TEPCO [...] confirmó la filtración al mar de cerca de 12 toneladas de agua contaminada con estroncio radiactivo.” (El Mundo, 5/04/2012)</p> <p>“El agua de Tokio, en la que se había detectado yodo, ha dado positivo también de cesio.” (El País, 21/03/2011)</p> <p>“... los niveles de yodo radiactivo en el agua de Tokio habían superado dos veces los límites permitidos para niños menores de un año.” (La Voz de Galicia, 24/03/2011)</p>
Sobre los conceptos de periodo de semidesintegración, actividad y dosis	<p>“el plutonio-239, tiene un periodo de semidesintegración de 24.100 años. El plutonio no está de forma natural en el medio ambiente. Pero se podría hacer una comparación muy sencilla para hacerse una idea del enorme periodo que supone su vida media: si se hubiese liberado plutonio en algún lugar de la Tierra cuando se extinguieron los neandertales, hace 24.000 años, aún seguiría siendo muy radiactivo.” (El Mundo, 31/03/2011)</p> <p>“El cesio-134 tarda dos años en perder la mayor parte de su actividad. Y el cesio-137, otro de los elementos que ha salido en grandes cantidades de los reactores de Fukushima, no reduce su radiactividad hasta 30 años después de producirse.” (El Mundo, 31/03/2011)</p> <p>“... si bien el yodo radiactivo tiene una vida corta de cerca de ocho días y luego su radiactividad decae naturalmente en cuestión de semanas, hay un riesgo a corto plazo para la salud humana ...” (El País, 21/03/2011)</p> <p>“... el estroncio se acumula en los huesos un mínimo de 30 años, como si fuera calcio, y durante años continúa irradiando el organismo.” (La Voz de Galicia, 13/03/2011)</p> <p>“Ello supondría que, en verano, la dosis de radiación emitida por la planta se habría reducido de forma constante ...” (La Voz de Galicia, 17/04/2011)</p> <p>“De acuerdo al Ejecutivo, el nivel máximo de ionización registrado ayer -hasta 1.557 microsievert respecto a los 500 considerados recomendables para la salud.” (La Voz de Galicia, 13/03/2011)</p> <p>“El ministro japonés de Ciencias ha dicho, no obstante, que las dosis radiactivas son inferiores a los límites que marca la ley.” (El País, 19/03/2011)</p>
Sobre medidas protectoras y efectos de la radiación	<p>“Que no salgan de su casa para no verse expuestos a ningún tipo de radiación.” (El País, 15/03/2011)</p> <p>“Los soldados reciben píldoras contra las radiaciones.” (El País, 17/03/2011)</p> <p>“Estados Unidos, que, a petición de Japón, ha enviado trajes anti-radiación y un equipo de especialistas.” (El País, 17/03/2011)</p> <p>“Trabajadores de la operadora Tepco entraron ayer en el edificio del reactor 1 [...] Ataviados con máscaras, trajes protectores y pesados tanques de oxígeno ...” (La Voz de Galicia, 6/05/2011)</p>

Student ideas concerning radioactivity at the end of secondary school and their relation to textbooks and the media. A case study

Javier Corbelle Cao, José Manuel Domínguez Castiñeiras

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Santiago de Compostela. España
jcorbelle@edu.xunta.es, josemanuel.dominguez@usc.es

This paper, a continuation of a previous work (Corbelle y Domínguez, 2015), has two objectives: to ascertain which ideas our students have about radioactivity at the end of their mandatory education, and to establish if these ideas are related to the information provided by textbooks and digital press available to them.

To reach the first objective, an *ad hoc* survey was designed based on the aforementioned previous study. The survey was completed by a group of 18 students in the 4th year of ESO, which is the equivalent of 10th grade in the U.S. or year 11 in the U.K.

The second objective is based on the possible origins of student misconceptions indicated by Pozo (1996): sensory or spontaneous misconceptions, cultural or social misconceptions, and those whose origins come from what students have learned in school. Given that radioactivity is a phenomenon that is not detected by our senses, it is expected that these misconceptions come from a social and educational source. For this reason, a sample of different textbooks from the 3rd year of ESO was reviewed. This is the school year in which these contents are taught in Spanish schools. The use of terms and concepts relative to the phenomenon of radioactivity were analysed in a sample of digital press covering the accident at the Fukushima nuclear power plant.

The following research questions were formulated:

- Research Question 1: Which ideas do the surveyed students possess about radioactivity upon completing their mandatory secondary education (the 4th year of ESO)?
- Research Question 2: How do the selected 3rd year ESO textbooks treat radioactivity?
- Research Question 3: During the accident at the Fukushima nuclear power plant, did the sample selected from the digital press use the terms related to the phenomenon of radioactivity in a manner consistent with school science?
- Research Question 4: Is there a relationship between students' ideas and input from the textbooks and digital media studied?

Relative to Research Question 1, the students usually relate radioactivity with technological devices, and are not aware of our continued exposure to natural ionizing radiation. They do not differentiate the concepts of *radiation* and *radioactive substance*, believing that when a substance is radiated, said radiation remains present inside it as if it were a pollutant. They believe that radiation emitted by a radioactive substance can reach great distances when, in fact, it is those that are dissolved or dispersed in a medium that can travel such distances. They assign the term *radioactive* different meanings: a medium would be radioactive if it contains radioactive substances, radiation, or if its molecules emit radiation. From an atomic-nuclear perspective, they include valence electrons to justify the instability of the atomic nucleus, they note that the transformation of one chemical element into another does not exist during radioactive decay and they consider that factors such as temperature or aggregate state can affect said process. Finally, there is a predisposition to consider the radiation emitted by a radioactive substance as *dangerous radiation*, without considering the dose received. Also, they do not consider that different types of radiation require different types of protection.

With respect to Research Question 2, it is found that the sample textbooks analysed do not solve the problems revealed in the students' responses to the questionnaire. In addition, the textbooks do not make a didactic sequencing of the contents according to the proposal by Millar *et al.* (1990), taken as a reference. Finally, we consider that these contents receive very little consideration, devoting only two pages to the topic.

In relation to Research Question 3, a large number of statements that are not in agreement with school science are observed. For example, radiation is treated as a pollutant that, when interacting with matter, is stored

therein and may be released later. Different agents such as wind, clouds or rain are involved in the *radiation transport*, presenting the idea that radiation can reach places far removed from the point of emission. Indistinct use is made of the terms *radioactivity and radiation*, in addition to the correct term *radioactive substance*, to state the release or escape of it. Expressions are used to incorrectly interpret the concepts of *half-life, activity and dose*. There is a generalized use and abuse of the adjective *radioactive* without its meaning being clear in each situation.

At last, in relation to Research Question 4, the deficiencies found in the students from the survey seem to have, at least, two origins: *educational and social*. In conclusion, textbooks and the press are two areas that need to be worked on, so that students and teachers have adequate resources to be able to deal with such a relevant socio-scientific topic.