



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
MÁSTER EN PROFESOR DE EDUCACIÓN SECUNDARIA
OBLIGATORIA Y BACHILLERATO, FORMACIÓN
PROFESIONAL Y ENSEÑANZA DE IDIOMAS
ESPECIALIDAD FÍSICA Y QUÍMICA

TRABAJO FIN DE MÁSTER

***“UTILIZACIÓN DE ANALOGÍAS EN LA ENSEÑANZA
DE FÍSICA EN BACHILLERATO”***

AUTORA: Dña. Rocío Mínguez San José

TUTORA: Dña. Carmen Lavín Puente

Valladolid, Julio 2015

ÍNDICE

Agradecimientos

Resumen

Abstract

Introducción.....	5
1. Objetivos.....	8
2. Justificación.....	9
3. Analogías en el proceso de enseñanza-aprendizaje.....	10
3.1. Definición de analogía.....	10
3.2. Elementos que constituyen una analogía.....	11
3.3. Tipos de analogías.....	11
4. Utilización de analogías en Educación.....	13
4.1. Conocimientos previos y su importancia en el uso de analogías.....	13
4.2. Función del profesor en una analogía.....	13
4.3. Aprendizaje significativo y su relación con las analogías.....	14
4.4. Factores que influyen en el planteamiento de una analogía.....	16
4.5. Ventajas y desventajas derivadas del empleo de analogías.....	17
5. Prácticas externas del Máster en un centro educativo.....	20
5.1. Unidad didáctica desarrollada durante el Prácticum.....	21
5.1.1. Contenidos y criterios de evaluación.....	21
5.1.2. Contenidos mínimos.....	22
5.1.3. Contenidos impartidos.....	23
5.2. Planteamiento de analogías en el contexto educativo.....	24
6. Analogía para la desintegración radiactiva de isótopos.....	26
6.1. Desintegración radiactiva.....	26

6.2. Selección de la analogía.....	28
6.3. Objetivos de la analogía.....	30
6.4. Planificación de la analogía.....	31
6.4.1. Descripción de la analogía.....	31
6.4.2. Análisis de resultados.....	36
6.4.3. Presupuesto y tiempo estimados.....	43
7. Desarrollo de la analogía para la desintegración radiactiva de isótopos en el aula.....	45
8. Aplicaciones de la radiactividad. Datación por Carbono 14.....	51
9. Conclusiones.....	53
10. Bibliografía.....	54
Anexos.....	57
Anexo I: ORDEN EDU/363/2015. Currículo, implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. LOMCE 8/2013.....	57
Anexo II: Analogía “ <i>Dice-Shaking as an Analogy for Radioactive Decay and First-Order Kinetics</i> ” (Emeric Schultz).....	59
Anexo III: Analogía: Resultados.....	62
Anexo IV: Instrucciones para el alumno.....	66
Anexo V: Encuesta de opinión.....	68

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quería agradecer a mi tutora de este Trabajo Fin de Máster, Doña Carmen Lavín Puente, su ayuda a la hora de elaborar este trabajo, su dedicación a la búsqueda de analogías y al desarrollo de las mismas, así como por los consejos que me ha dado para que este trabajo pudiera salir adelante.

En segundo lugar, quiero dar las gracias al I.E.S. “Vega del Prado” de Valladolid, por la acogida que me dieron durante mi estancia en dicho instituto para hacer las prácticas externas del Máster.

En especial a mi tutora, Doña Begoña Núñez de la Plaza, jefa y profesora del Departamento Didáctico de Física y Química del I.E.S. “Vega del Prado”, por haberme dejado impartir la unidad didáctica “Física Nuclear” a los alumnos que estudiaban la asignatura de Física de 2º de Bachillerato. Esto me ha permitido enfocar mi trabajo desde otro punto de vista. La posibilidad de ver las dificultades que los alumnos tienen a la hora de entender algunos conceptos de esta unidad ha resultado fundamental para desarrollar la analogía que en este trabajo se propone. Así, he intentado plantear la analogía con el objetivo de que los alumnos al emplearla entiendan los conceptos que más les cuestan y se pueda insistir en aquéllos de los que tienen un conocimiento erróneo.

Por último, quería agradecer a mi familia y a mis compañeros del Máster su ayuda en los momentos más difíciles y sus consejos y palabras de ánimo.

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Máster hace referencia a la utilización de analogías en la Educación, concretamente en la enseñanza de la unidad didáctica “Física Nuclear” correspondiente a la asignatura “Física” de segundo curso de Bachillerato. En la primera parte del trabajo se explica el concepto, los elementos y los tipos principales de analogías. También se comentan los factores que el profesor ha de considerar para conseguir motivar a los alumnos y que logren un aprendizaje significativo. El trabajo tiene como parte principal la puesta en práctica y planificación de una analogía, basada en un juego de dados, para explicar la desintegración radiactiva de un isótopo. Además, se hace una propuesta para su desarrollo en el aula, indicando las actividades a realizar para alcanzar los objetivos propuestos con su uso. Con ello se pretende ayudar al alumno a construir su conocimiento científico a partir de las diferentes actividades que componen la analogía.

ABSTRACT

This Master Dissertation refers to the use of analogies in Education, specifically in the teaching of the “Nuclear Physics” unit. This unit is explained in the Physics subject in High School. In the first part of the project, it explains the concept, the elements and the main kinds of analogies. It is also discussed the factors that the teacher has to consider for motivating students and for achieving a significant learning. The project’s main part is an analogy’s implementation and planning. This analogy is based on a dice game and it is used to explain the isotope’s radioactive decay. It is also suggested its development in the classroom and the activities made to achieve the proposed objectives. We expect that the students form their scientific knowledge through the different activities that the analogy has.

INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la Física resulta compleja para cualquier docente, ya que ha de explicar conceptos que la mayoría de las veces son abstractos para los alumnos y por ello, su comprensión les resulta difícil y no siempre el alumno entiende realmente lo que ha querido explicar el profesor. La comprensión de conceptos físicos, y en general científicos, es mucho más difícil para alumnos de Secundaria y Bachillerato que para alumnos universitarios, ya que muchos de ellos a esas edades no tienen la madurez necesaria y no han desarrollado un pensamiento abstracto, el cual es necesario para entender muchos procesos físicos. Esto hace que los alumnos consideren a la Física como una de las asignaturas más complejas, e incluso abstractas, de entre todas las materias que cursan. La dificultad que los alumnos ven en esta asignatura, junto con el hecho de que no son conscientes de las aplicaciones tan importantes y numerosas que tiene en muchos campos y en su vida cotidiana, desemboca en una falta de interés y de motivación por parte del alumno.

Otro inconveniente que el profesor puede encontrar cuando se dispone a impartir clase de Física es una base matemática insuficiente para tratar ciertos conceptos físicos. La mayoría de los alumnos tienen bastantes problemas con la asignatura de Matemáticas en Secundaria y los arrastran a la etapa de Bachillerato, no sólo a la materia de Matemáticas, sino también a la de Física. Muchas leyes y conceptos físicos precisan de un desarrollo matemático que resulta necesario para la comprensión de los mismos. Muchos alumnos tienen dificultades en estos desarrollos, por lo que el profesor de Física ha de explicar aspectos que hacen que los alumnos pierdan la atención en las leyes o conceptos físicos que realmente quiere explicar el docente.

Por otro lado, muchos procesos físicos no se pueden llevar a cabo en el laboratorio y esto hace que los alumnos no vean cómo ocurren, teniéndoselo que imaginar y, debido a ello, consideran ciertos aspectos que realmente no son así. Esto desgraciadamente conduce a que el alumno aprenda conceptos e ideas erróneas.

Debido a las dificultades que se han comentado anteriormente y que tiene un docente a la hora de desarrollar el proceso de enseñanza-aprendizaje en el aula, se hace necesario el empleo de analogías, en especial en asignaturas de Ciencias como Física. Desde el punto de vista del docente, el planteamiento de analogías es un trabajo a mayores, pues han de tener una organización y estructura claras de cara al alumno. Si el docente plantea analogías habiendo estudiado cuidadosamente los puntos en los cuales su desarrollo puede fallar y resultar complejo, el empleo de las mismas puede conseguir que el alumno comprenda procesos y conceptos físicos nuevos para él, que en un principio le resultaban

abstractos. Aparte de permitir esto, las analogías, sobre todo aquéllas en las que los alumnos participan activamente, motivan al alumno y hacen que pierda el miedo a la hora de estudiar asignaturas científicas. Mediante el empleo de analogías los alumnos entienden mejor los procesos y conceptos físicos, ya que los tratan desde una perspectiva que les resulta conocida y familiar. Por ello, el proceso de enseñanza-aprendizaje se ve mejorado con el uso de analogías, ya que permiten que los alumnos adquieran un aprendizaje significativo, pudiendo razonar todo aquello que han aprendido y que este proceso sea duradero en el tiempo. Además, las analogías facilitan el paso de lo macroscópico a lo microscópico, el cual es de enorme dificultad para el alumno y favorecen el desarrollo de un pensamiento científico.

Las analogías no son muy empleadas por los docentes de Secundaria y Bachillerato, en especial las que conllevan una actividad en la que ha de participar el alumno, quizá por la falta de tiempo que muchos profesores encuentran a la hora de explicar la totalidad del temario, quizá por evitar que los alumnos preparen alboroto en el aula con estas actividades o por el temor a que la analogía tenga el efecto contrario al deseado si no es bien entendida por los alumnos. Las analogías más empleadas por los docentes y por los libros de texto son las de tipo expositivo, en las que el alumno se limita a escuchar la comparación que realiza el profesor entre un nuevo concepto y uno conocido por los alumnos. Últimamente se apuesta por las analogías en las que el alumno participa y tiene un papel principal, pues son las que mejores resultados ofrecen y además ayudan a desarrollar la creatividad del alumno, a que preste mayor atención a la asignatura y se sienta más motivado e interesado por ella y a que adquiera habilidades, actitudes y capacidades necesarias para el trabajo científico. Con este tipo de analogías el alumno desarrolla algunas de las competencias clave que fija la LOMCE para esta etapa educativa, como la competencia de aprender a aprender, ya que el alumno va construyendo su propio aprendizaje al intervenir en el desarrollo de la analogía o la competencia de sentido de iniciativa y espíritu emprendedor, pues el alumno tiene un papel activo y puede llegar a proponer nuevas analogías.

En este Trabajo Fin de Máster se han considerado las analogías en el proceso de enseñanza-aprendizaje, los aspectos que ha de considerar el docente y los factores que ha de controlar para que éstas cumplan su objetivo. Se ha descrito una analogía para la desintegración radiactiva de isótopos, proceso que la propia experiencia me hizo ver que resulta complejo de entender, en especial su carácter aleatorio y la ley que lo describe. Esta analogía está planteada de tal forma que cualquier docente la pueda llevar a la práctica en el aula, ya que se ha descrito en su totalidad y se ha detallado la manera más

adecuada y los pasos y aspectos a considerar por el profesor para emplearla con alumnos de 2º de Bachillerato que estudien Física.

En las dos primeras secciones del trabajo se han mencionado los objetivos que se han querido lograr con la elaboración del mismo y se ha justificado la importancia del uso de analogías en la enseñanza de Física a alumnos de nivel de 2º de Bachillerato, concretamente en la importancia de su uso para explicar algunos contenidos de la unidad didáctica "Física Nuclear". Así mismo, se ha justificado la importancia de este tema en el currículo educativo. En las secciones 3 y 4 se han considerado las analogías desde un punto de vista general, los elementos que las constituyen, cuál es la función del profesor en el desarrollo de una analogía, los factores que éste ha de estudiar y valorar detenidamente para conseguir sus objetivos y las ventajas e inconvenientes derivados del empleo de analogías. También se comenta la importancia de los conocimientos previos en el planteamiento de una analogía, ya que éstos resultan imprescindibles para que el alumno adquiera un aprendizaje significativo. En la sección 5 se describen brevemente las prácticas externas del Máster, es decir, el centro donde las realicé y los alumnos a los que impartí clase y se mencionan los contenidos de la unidad didáctica "Física Nuclear" que expliqué, algunos de los cuales se han elegido para el planteamiento de la analogía que se desarrolla en este trabajo.

Las secciones 6 y 7 contienen la parte principal del trabajo. En la sección 6 se explica brevemente la desintegración radiactiva de isótopos, se mencionan los objetivos que se pretenden conseguir con el empleo de la analogía para la desintegración radiactiva de isótopos, los cuales se relacionan con los objetivos establecidos en el currículo de Bachillerato, se comenta la metodología que se llevó a cabo para la elección de la analogía que se desarrolla en este trabajo y se incluye un apartado en el que se hace referencia a la planificación de la misma, incluyendo el análisis de resultados obtenidos con su desarrollo. En la sección 7 se describe la manera que se ha considerado como la más adecuada para que el profesor pueda desarrollar esta analogía con sus alumnos en el aula, describiendo cada una de las tres sesiones que se dedicarían a su desarrollo. Por último, en la sección 8 se comenta una de las aplicaciones de la radiactividad, como lo es la datación por Carbono 14, lo cual puede motivar y resultar interesante para los alumnos, y en la sección 9 se mencionan las conclusiones derivadas de la elaboración de este Trabajo Fin de Máster.

1. OBJETIVOS

Los objetivos que se han pretendido conseguir al elaborar este trabajo son fundamentalmente los siguientes:

-Presentar las analogías como recursos didácticos de enorme utilidad para el profesorado, no sólo porque ayudan al alumno a comprender los contenidos curriculares que más complejos le resultan, sino también porque facilitan al docente llevar a cabo el proceso de enseñanza-aprendizaje con los alumnos.

-Comprender los elementos que forman una analogía y cómo se relacionan unos con otros, los cuales están presentes en todas las analogías que un docente puede desarrollar con un grupo de alumnos en el aula.

-Estudiar los factores que influyen a la hora de plantear una analogía y que ésta tenga el resultado esperado, así como las condiciones más adecuadas para que los alumnos comprendan la función instruccional de la analogía y entiendan el concepto que se pretende explicar mediante su utilización.

-Valorar la importancia de los conocimientos previos a la hora de plantear una analogía, para que a través de ella y partiendo de éstos, el profesor consiga que sus alumnos aprendan significativamente los contenidos tratados.

-Poner de manifiesto la evolución que han experimentado las analogías a lo largo de los años, pasando de ser planteadas en los libros de texto como una simple comparación entre un concepto conocido por el alumno y uno nuevo, a ser planteadas como actividades que motiven a los alumnos al precisar de su intervención y participación, lo cual conlleva que adquiera actitudes para el trabajo en equipo y que se interese por la materia.

-Explicar la necesidad de una analogía para explicar el proceso de la desintegración radiactiva de un isótopo y la ley que lo describe, ya que se tratan de conceptos de gran dificultad para los alumnos de 2º Bachillerato que cursan la asignatura de Física.

-Desarrollar y planificar la analogía para la desintegración radiactiva de isótopos de forma que se obtenga el mayor beneficio posible de ella, es decir, que el docente pueda tratar otros conceptos derivados de la actividad que se propone en esta analogía, como por ejemplo el periodo de semidesintegración de un isótopo.

-Analizar las ventajas e inconvenientes de la analogía desarrollada en este trabajo según diversos factores que se pueden presentar a la hora de llevarla a la práctica con los alumnos.

2. JUSTIFICACIÓN

Las analogías resultan muy útiles y necesarias en la enseñanza de asignaturas científicas, entre ellas la asignatura de Física que se imparte a los alumnos de 2º curso de Bachillerato. En esta etapa se exige al alumno un nivel suficiente y adecuado para que al finalizar esta etapa educativa empiece sus estudios universitarios. Ese nivel implica conceptos, procesos y leyes más complejas y abstractas para los alumnos, en comparación con los contenidos curriculares vistos en la etapa de Educación Secundaria Obligatoria. Debido a ello, como ya se ha comentado anteriormente, la comprensión de estos contenidos por parte de los alumnos y la explicación de los mismos por parte del profesor es difícil, y de ahí que las analogías resulten de gran ayuda y muy útiles en la enseñanza de conceptos físicos. Se ha demostrado que el aprendizaje significativo es el más duradero en el tiempo y que los conceptos aprendidos de forma significativa son los que mejor retiene el alumno en la memoria. Para que se produzca un aprendizaje significativo de los nuevos conceptos hay que partir de los conocimientos previos del alumno, por lo que en este punto las analogías juegan un papel fundamental, ya que permiten relacionar conceptos conocidos y que resultan familiares a los alumnos con los nuevos conocimientos.

Uno de los temas que se incluyen en el currículo educativo para la asignatura de Física en 2º de Bachillerato es el tema "Física Nuclear". Aunque otros temas del currículo tienen mayor peso e importancia, éste es importante desde el punto de vista de que no se trata tan en profundidad en cursos anteriores al de 2º de Bachillerato. Durante la etapa de Secundaria y en el primer curso de Bachillerato, se trata la radiactividad desde la perspectiva de sus efectos y aplicaciones y se estudian los procesos de fisión y fusión, pero todo ello sin ahondar en los motivos por los que algunas sustancias emiten radiaciones o por los que los procesos de fisión y fusión nuclear se producen. Por ello, aunque tienen una idea acerca de la radiactividad y las reacciones nucleares, no son capaces de explicar el por qué se producen ni razonar el proceso por el cual una sustancia radiactiva emite radiación. De la novedad de este enfoque que se da a este tema en este curso, radica la importancia del mismo en el currículo educativo de esta asignatura y la necesidad del empleo de analogías para su comprensión.

3. ANALOGÍAS EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

En este apartado se dan diferentes definiciones de una analogía, se describen los elementos que están presentes cuando se usa cualquier analogía y se explican brevemente los dos tipos principales de analogías que se pueden considerar según la función que tengan.

3.1. Definición de analogía

Una analogía se puede definir como un proceso (también recurso didáctico o mecanismo cognitivo) que permite adquirir al alumno un aprendizaje significativo de los conocimientos que son nuevos para él a partir de los conceptos e ideas previas que tiene y que son conocidas o le resultan familiares. Al emplear una analogía se relaciona un concepto o idea conocidos por el alumno con un conocimiento nuevo para él, por lo que ambos han de ser similares aunque tengan aspectos en los que difieran.

Las analogías son muy útiles cuando el alumno se enfrenta a conceptos que no ha visto con anterioridad y también, a través de ellas, puede corregir y cambiar las ideas previas erróneas que pudiera tener acerca de esos conceptos. Por ello, facilitan al profesor el desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Otra definición de analogía es la propone Oliva (2006), quien define a las analogías como *“comparaciones entre nociones -conceptos, principios, leyes, fenómenos, etc.- que mantienen una cierta semejanza entre sí”*. También considera que una analogía ayuda a cambiar las ideas previas del alumno y a que comprenda mejor conceptos abstractos.

En el ámbito científico, una analogía consiste en llevar a cabo una correspondencia entre conceptos, principios o fórmulas mediante los rasgos comunes que presenten. Estos conceptos, principios, fórmulas, y también hechos y leyes, no han de ser memorizados literalmente por los alumnos, sino que han de ser adquiridos partiendo de los conocimientos previos que tengan. Según Driver (1986) a partir de éstos y empleando una analogía pueden llegar a comprender los nuevos conceptos, principios,... que les resultan más complejos.

Por lo tanto, según lo comentado anteriormente, los dos objetivos principales de una analogía son que el alumno consiga un aprendizaje significativo de los conocimientos nuevos y que corrija aquellos conocimientos previos erróneos que pudiera tener.

3.2. Elementos que constituyen una analogía

Las analogías están caracterizadas por una serie de elementos que han de ser conocidos e identificados cuando se emplean en un proceso de enseñanza-aprendizaje para poder llevar a cabo un adecuado planteamiento y un correcto desarrollo de las mismas. Estos elementos se describen brevemente a continuación:

-*Conocimiento previo*: También se conoce como fuente o vehículo. Se refiere a las ideas o conceptos previos que tienen los alumnos acerca del concepto nuevo que se quiere explicar empleando la analogía. Es usado como referencia al ser conocido y familiar para el alumno y también se le denomina análogo o ancla (Oliva, 2006).

-*Conocimiento nuevo*: También denominado meta, tenor o tópico. Oliva (2006) lo llama objeto o blanco y se refiere a los conceptos nuevos y por ello, desconocidos para el alumno, que se van a explicar empleando la analogía.

-*Extrapolación*: correspondencia entre el conocimiento previo (conocido o familiar para el alumno) y el nuevo (similar al previo pero menos conocido). Para que se produzca esa correspondencia el análogo ha de tener características en común con el tópico y diferir en los menores aspectos posibles para evitar complicar la analogía y confundir al alumno.

-*Inferencia analógica*: proceso que posibilita al alumno la importación del conocimiento del dominio análogo al dominio tópico. Este proceso está favorecido por los conocimientos previos del alumno, ya que a partir de ellos se va a facilitar la comprensión de los nuevos. Estos conocimientos previos no tienen por qué ser sólo conceptos, sino que pueden ser situaciones o procesos de la vida cotidiana que se puedan relacionar con los nuevos conceptos por tener ambos características en común y producirse así esta inferencia analógica.

3.3. Tipos de analogías

Según la función que tengan se pueden considerar principalmente dos tipos de analogías:

-*Analogías de función explicativa*: son aquéllas que se emplean para explicar los conocimientos nuevos con términos o conceptos familiares y conocidos por los alumnos, al relacionar y comparar ambos. Suelen aparecer en los libros de texto y el alumno es un mero espectador de la analogía empleada por el docente.

-*Analogías de función creativa*: son aquéllas que se utilizan para buscar posibles soluciones a problemas nuevos, para identificar nuevos conceptos y para crear

nuevas hipótesis. Estas analogías permiten que el alumno pueda desarrollar su creatividad, ya que invitan a su participación e intervención en el desarrollo de las mismas. Son los alumnos quienes, orientados por el profesor, llevan a cabo la identificación del análogo con el tópico, la extrapolación y el proceso de inferencia analógica. En estas analogías se plantean actividades que ayuden a su desarrollo y que fomenten el trabajo y la participación activa del alumno.

4. UTILIZACIÓN DE ANALOGÍAS EN EDUCACIÓN

Para emplear analogías en la enseñanza, en especial en la enseñanza de los conceptos nuevos para los alumnos, hay que tener en cuenta una serie de aspectos que se desarrollan en los siguientes apartados, como son los conocimientos previos del alumno o el papel que juega el profesor en una analogía, para que éstas tengan la función deseada y para que el alumno logre un aprendizaje significativo.

Glynn y otros (1989) recomiendan que los pasos fundamentales a seguir para llevar a la práctica una analogía en un contexto educativo sean los siguientes:

- Identificación de las características en común que tengan el análogo y el tópico.
- Recuperación del análogo una vez que se ha trabajado con el tópico para que los alumnos aprendan los nuevos conceptos y vean la función instruccional que tiene la analogía.
- Inferencia analógica para pasar del dominio análogo al dominio tópico.

4.1. Conocimientos previos y su importancia en el uso de analogías

La importancia de los conocimientos previos se manifiesta en el hecho de que permiten enseñar, consolidar, relacionar y organizar los conocimientos nuevos y son la base sobre la que se van a asentar estos últimos y el punto de partida para poder abordarlos.

El conocimiento previo que tiene el alumno es el conocimiento cotidiano de la vida diaria, es decir, el que ha aprendido a través de su propia experiencia personal o el aprendido a lo largo de su etapa educativa. El saber qué conocimientos previos tienen los alumnos es fundamental para que el profesor origine y aplique la analogía, ya que la metodología considerada como la más idónea para desarrollar analogías es aquella en la que se parta de las ideas previas del alumno, pues la identificación del análogo con el tópico y el aprendizaje de los nuevos conceptos se facilita. Para saber qué conceptos previos tienen los alumnos y detectar los erróneos el profesor puede realizar ciertas pruebas antes de llevar a la práctica la analogía.

4.2. Función del profesor en una analogía

La identificación de las características en común que tienen el tópico y el análogo puede resultar difícil para los alumnos, en especial si la analogía es compleja o si es la primera vez que emplean analogías en su proceso de aprendizaje. Por ello, en estos casos, el profesor ha de ser una guía para conducir al alumno hacia el objetivo que se quiere

conseguir y ha de seguir constantemente el proceso que llevan a cabo para evitar un uso equivocado de la analogía. Dagher (1995) considera fundamental la labor del profesor en cuanto a la orientación que debe prestar al alumno para que éste utilice y entienda correctamente la analogía. No obstante, se recomienda que el profesor intervenga cuando vea que la analogía va por un camino equivocado para poder reconducirla, pero ha de dejar al alumno que sea él quien identifique el análogo, el tópico y las características que tienen en común para que construya su propio aprendizaje, siempre y cuando lo considere viable. Siempre que se use una analogía el profesor ha de indicar a los alumnos el concepto nuevo que van a aprender y que la analogía empleada sólo tiene un objetivo instruccional, sobre todo a aquéllos que se inicien en el uso de analogías.

Cuando el profesor quiere que sean los alumnos quienes construyan y desarrollen por sí mismos una analogía, ha de tener presente que ha de plantear unas actividades muy bien planificadas para conseguir ese objetivo. Esto sólo se recomienda si los alumnos han empleado varias analogías a lo largo de su etapa educativa.

4.3. Aprendizaje significativo y su relación con las analogías

Las analogías permiten que el alumno aprenda los conceptos nuevos de forma significativa, siempre y cuando se parta de sus conceptos previos. El gran papel que juegan los conocimientos previos en la adquisición del nuevo conocimiento se refleja en la *Teoría del Aprendizaje Verbal Significativo* (Ausubel, 1977), quien considera que este tipo de aprendizaje consiste en que los alumnos relacionen el nuevo conocimiento con el previo. Novak (1982) establece que la cantidad, calidad y el grado de organización que tengan los alumnos acerca de sus conocimientos previos es fundamental a la hora de adquirir un aprendizaje significativo. El alumno, al relacionar ambos conocimientos, consigue modificar las estructuras cognitivas que tenía con anterioridad, aunque esto supone una actividad cognitiva a mayores que requiere la intervención pedagógica del profesor. Ésta es necesaria para que el alumno no pase por alto alguna característica relevante que compartan el análogo y el tópico o para evitar una extrapolación incorrecta de la analogía, tal y como se ha comentado anteriormente.

Utilizar una analogía como recurso didáctico requiere necesariamente una metodología activa y de participación, tanto del profesor como de los alumnos, si se quiere conseguir un aprendizaje significativo. La participación del alumno en el proceso de enseñanza-aprendizaje suele ser escasa, debido a que tanto los profesores como los libros de texto (Aragón y otros, 1998) emplean analogías que se basan en la mera exposición de los conceptos, sin que el alumno intervenga en el proceso y se limite únicamente a observar.

Esta participación se puede llevar a cabo mediante el planteamiento de discusiones, puestas en común y actividades entre alumnos e interacción constante alumno-profesor (Yerrick y otros, 2003). Esta interacción alumno-profesor permite al alumno plantear sus dudas y que éstas sean resueltas por el profesor. El debate y la discusión de diferentes aspectos y actividades están actualmente muy presentes en el desarrollo de una analogía y con ellos se consigue que el alumno tome un papel activo en el proceso de aprendizaje. Esto está favorecido, lógicamente, cuando el conocimiento nuevo a explicar mediante la analogía sea de su interés. Con las analogías que llevan asociada una participación activa del alumno se consiguen mejores resultados en cuanto a un aprendizaje significativo que con aquéllas que no fomentan su participación. Mediante el empleo de estas analogías el alumno crea significativamente su propio conocimiento y desarrolla una de las competencias incluidas en el currículo educativo, que es la competencia para aprender a aprender¹. Cuando un alumno es capaz de controlar su propio aprendizaje ha adquirido la competencia de aprender a aprender y esto se consigue haciendo que participe y tenga una tarea activa en la analogía. Esta tarea activa no tiene que ser necesariamente de tipo manipulativo, sino que puede ser también de tipo intelectual (Oliva, 2006).

Empleando una analogía se podría definir el aprendizaje significativo como consta a continuación:

“El aprendizaje significativo, por analogía, significa coser y saturar con y sobre el conocimiento anterior como cosen los médicos para que cuando pase el tiempo se fundan los tejidos” (Ceacero y otros, 1999).

El opuesto al aprendizaje verbal significativo sería el aprendizaje repetitivo, memorístico o mecánico. A través de este último, el alumno desarrolla una memoria mecánica, mientras que con el aprendizaje verbal significativo desarrolla una de tipo comprensiva. Norman (1985) y Chi (1985) consideran que este último tipo de memoria es la base para adquirir el nuevo conocimiento. El alumno adquiere un aprendizaje mecánico cuando no ha modificado sus conocimientos previos.

Usando una analogía se podría definir el aprendizaje memorístico como figura a continuación:

“El aprendizaje memorístico es como construir una casa sobre unos cimientos inestables, con ladrillos superpuestos” (Ceacero y otros, 1999).

¹ Recomendación del Parlamento Europeo y del Consejo sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente. Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, (2006/962/CE), Bruselas (2006). Currículo y competencias básicas. Ministerio de Educación y Ciencia, Gobierno de España (2006).

Comparando ambos tipos de aprendizaje, el significativo resulta más complejo para el alumno y requiere un mayor esfuerzo por parte de éste, aunque es más estable y duradero en el tiempo que el memorístico. Por ello, siendo tan importante la adquisición de un aprendizaje significativo, las analogías han de estar perfectamente planteadas para conseguir este objetivo.

4.4. Factores que influyen en el planteamiento de una analogía

Para aplicar correctamente una analogía es necesario conocer, controlar y valorar los factores que van a permitir que el alumno aprenda conceptos nuevos y, la mayoría de las veces abstractos para él, a través de la analogía. Así mismo, se va a evitar una interpretación incorrecta de la analogía que tendría el efecto contrario al deseado.

En la construcción, comprensión y uso de las analogías, Halford (1993), considera algunos de los siguientes factores como facilitadores:

-Gran parecido entre el análogo y el tópico: cuantos más aspectos tengan en común el tópico y el análogo más sencillos resultarán al alumno el aprendizaje de los nuevos conceptos y la extrapolación.

-Utilización de varias analogías, en especial si el concepto resulta abstracto y complejo para los alumnos.

-Empleo de representaciones gráficas, esquemáticas y pictóricas (Gick y Holyoak, 1983), ya que facilita la identificación del tópico con el análogo.

-Mayor nivel de experiencia del alumno, refiriéndose la experiencia a mayores conocimientos previos (Novick, 1988). Según Spiro y cols. (1989) y Zook y Di Vesta (1991), el alumno con menores conocimientos previos suele transferir no sólo la información relevante, sino también la irrelevante y la que tiene rasgos superficiales más notorios.

-Un menor número de elementos y transformaciones, es decir, inferencias analógicas sencillas que van a simplificar la analogía.

En la investigación llevada a cabo por Ceacero y otros (1999), en la que se analiza el aprendizaje mediante analogías en la materia de Física, se llegó a la conclusión de que si se utiliza una analogía compleja para el alumno en cuanto a su estructura y comprensión, el resultado es prácticamente similar a si se lleva a cabo un aprendizaje literal. Esto es debido a que no se consiguen cambiar aquellos conocimientos previos erróneos que poseen los alumnos, ya que la extrapolación les resulta difícil si la analogía es compleja.

De todos estos factores resultan relevantes frente al resto la utilización de varias analogías, el empleo de representaciones gráficas, esquemáticas y pictóricas y sobre todo, el nivel de experiencia en el empleo de analogías y los conocimientos previos del alumno.

Otro aspecto que va a hacer más sencillas las analogías es trabajar con aquéllas que resulten muy familiares a los alumnos y que sean de su interés, ya que esto les motivará.

Como se ha comentado anteriormente, en ocasiones los conceptos previos de los alumnos son erróneos, por lo que es necesario que se produzca un cambio conceptual de los mismos para aprender los nuevos conceptos. Hewson (1981) considera que las dos condiciones más importantes para que se produzca ese cambio son:

- El alumno ha de darse cuenta de que sus conocimientos previos son insuficientes o incorrectos.

- Los conocimientos nuevos aportados por el profesor han de ser comprensibles, estructurados, funcionales y útiles para el alumno.

Para Mason (1994a; 1994b), el cambio conceptual está favorecido cuando existe una mayor comprensión de la analogía y de su propósito instruccional por parte del alumno.

4.5. Ventajas y desventajas derivadas del empleo de analogías

Los alumnos que aprenden mediante analogías llevan a cabo un proceso de aprendizaje dinámico, alejado de la típica transmisión verbal y literal de conocimientos por parte del profesor. Como ya se ha comentado anteriormente, una analogía permite corregir los conocimientos previos erróneos, facilita la comprensión de los nuevos y posibilita que el alumno aprenda nuevos conocimientos de forma significativa, sin tener que recurrir a un aprendizaje memorístico. Por todo ello, emplear analogías no sólo facilita el aprendizaje al alumno, sino que facilita la tarea del profesor en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Aparte de estas importantes ventajas, las analogías tienen desventajas debidas principalmente a un mal planteamiento de las mismas. Se podrían considerar como ventajas y desventajas del empleo de analogías las consideradas por Halford (1993):

Ventajas:

- Ayudan a que el alumno retenga y organice mejor los conocimientos nuevos en la memoria, sin llegar a ser un aprendizaje completamente memorístico.

- El alumno aprecia mejor la veracidad de lo aprendido, al relacionarlo con una idea o concepto que le resulta familiar.

- Aumentan la flexibilidad del pensamiento.
- Facilitan al alumno la recuperación del conocimiento aprendido.
- Facilitan la transición a niveles altos de abstracción.

Desventajas:

- Puede producirse una mala interpretación de la analogía debido a que no existen características completamente idénticas entre el análogo y el tópico, debido a que el docente tiene un aula muy heterogénea y se tendrían múltiples interpretaciones no siempre correctas, o debido a que los alumnos estén poco acostumbrados a usar analogías en su aprendizaje. La heterogeneidad del aula en cuanto a capacidades, actitudes, conocimientos previos de los alumnos... es un aspecto a tener muy en cuenta a la hora de presentar una analogía, sobre todo si ésta es compleja y requiere un esfuerzo de comprensión considerable.
- A los alumnos les podría resultar más difícil la comprensión del nuevo conocimiento, ya que la extrapolación implica un proceso cognitivo a mayores que el alumno ha de realizar. Para evitarlo, el profesor ha de estar muy presente y ayudar a los alumnos en el proceso de extrapolación cuando considere que es necesario debido a la dificultad de algunas analogías.
- Las analogías mal planteadas pueden generar una información errónea acerca del nuevo conocimiento. Esto lo ponen de manifiesto Gentner y Gentner (1983), quienes consideran que una analogía con errores conceptuales va a generarlos en el nuevo conocimiento, al realizar la extrapolación.

Aparte de las ventajas citadas anteriormente, Donnelly y McDaniel (1993) consideran el empleo de analogías beneficioso para los alumnos, debido a que desarrollan el pensamiento abstracto e inferencial. Oliva (2006) piensa que el uso de analogías en situaciones de enseñanza-aprendizaje permite que el alumno tenga una actitud favorable al aprendizaje de materias científicas y que desarrolle un pensamiento científico. También, mediante una analogía, el alumno desarrolla su creatividad e imaginación, sobre todo si es él quien construye la analogía.

Una vez finalizado el desarrollo de la analogía es útil e interesante que el profesor lleve a cabo una valoración y estudio acerca de los resultados obtenidos al haberla aplicado. Esto le permitirá corregir posibles fallos que pudiera presentar en cuanto a descripción, desarrollo... para no cometerlos en un futuro con otro grupo de alumnos. Una forma de valorar los resultados obtenidos al emplear una analogía es pasar una encuesta de opinión

a los alumnos para que el profesor conozca si les ha gustado, si les ha facilitado su proceso de aprendizaje, etc.

Según Simons (1984) las analogías se pueden aplicar en muchos ámbitos de la enseñanza (ortografía, matemáticas...) aunque este trabajo se centra en el uso de las analogías en la enseñanza de las ciencias, concretamente en la enseñanza de la Física en el Bachillerato. Yus y García Sánchez (1987), Hierrezuelo y Montero (1986) y Furio (1986) aconsejan emplear analogías en la enseñanza de la Física y de la Química para poder cambiar conceptualmente las ideas previas de los alumnos. El empleo de analogías en asignaturas científicas ayuda al alumno a pensar desde una perspectiva científica, lo cual le suele resultar muy difícil.

5. PRÁCTICAS EXTERNAS DEL MÁSTER EN UN CENTRO EDUCATIVO

El Máster de Profesor en Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas cuenta con una asignatura denominada “Prácticum”² (Prácticas externas). Dicha asignatura consiste en la realización de prácticas en un centro educativo, público o privado, en el que se impartan algunas de las enseñanzas a las cuales se dirige este Máster.

El “Prácticum”, cuya duración es de 6 semanas, se divide en dos etapas:

-Fase de observación: durante esta fase el alumno en prácticas de este Máster acude al centro educativo que le ha sido asignado para observar el funcionamiento y organización del mismo, las actividades, documentos y la impartición de las clases correspondientes a su especialidad por parte de su tutor asignado. Tiene una duración de 2 semanas.

-Fase de intervención: consiste en la intervención del alumno en las clases y cursos de cuya docencia se encarga su tutor asignado. Tiene una duración de 4 semanas. El alumno en prácticas elabora, imparte y evalúa una unidad didáctica.

En mi caso, realicé las Prácticas externas del Máster en el Instituto de Educación Secundaria “Vega del Prado”, situado en el barrio de Huerta del Rey de la ciudad de Valladolid. Se trata de un instituto con pocos alumnos matriculados, especialmente en el segundo ciclo de la Educación Secundaria Obligatoria y en la etapa de Bachillerato. La mayoría de los alumnos de este centro pertenecen a clases sociales medias y bajas.

Las dos fases de las que consta el Prácticum las desarrollé en el Departamento Didáctico de Física y Química de dicho instituto, cuya jefa de departamento, Doña Begoña Núñez de la Plaza, fue mi tutora durante mi estancia en este centro educativo.

En esta sección se describe la unidad didáctica desarrollada durante el Prácticum, en cuanto a los contenidos y criterios de evaluación establecidos por ley en el currículo educativo y los contenidos impartidos. También se comenta la posibilidad de emplear analogías en ese contexto educativo.

² Las Directrices generales para la realización del Prácticum del Máster de Profesor en Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas de la Universidad de Valladolid han sido elaboradas por el Vicerrectorado de Docencia de dicha universidad. Este documento se encuentra citado en el apartado de bibliografía.

La asignatura “Prácticum” viene establecida legalmente en la ORDEN ECI/3858/2007 de la Ley Orgánica de Educación 2/2006, citada en el apartado de bibliografía.

5.1. Unidad didáctica desarrollada durante el Prácticum

Durante la fase de intervención del Prácticum, como ya se ha explicado en los párrafos anteriores, el alumno en prácticas del Máster tiene que participar en el proceso de enseñanza que lleva a cabo su tutor en cualquiera de los cursos educativos a los cuales imparte docencia.

Personalmente, pude impartir la unidad didáctica “Física Nuclear” a los alumnos de 2º Bachillerato de la modalidad Ciencias y Tecnología que habían elegido la asignatura de Física. Esta unidad forma parte del Bloque 6 “Introducción a la Física moderna”, incluido en el currículo LOE (Ley Orgánica de Educación)³ para la asignatura de Física de 2º Bachillerato. Según el currículo LOMCE (Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa)⁴, esta unidad didáctica también se encuentra en el Bloque 6, aunque éste se denomina “Física del siglo XX”.

Durante mis prácticas, el currículo de Bachillerato que seguí para impartir esta unidad didáctica fue el correspondiente a la LOE, ya que es el que estaba implantado durante mi estancia en el centro educativo. No obstante, a continuación se mencionan los contenidos y criterios de evaluación referentes a la unidad didáctica “Física Nuclear” de ambas leyes educativas.

5.1.1. Contenidos y criterios de evaluación

Los contenidos que constan en el currículo LOE, correspondientes a la unidad didáctica “Física Nuclear”, son los que se enumeran a continuación:

- Física nuclear. La energía de enlace.
- Radiactividad: tipos, repercusiones y aplicaciones (médicas y tecnológicas).
- Reacciones nucleares de fisión y fusión: aspectos básicos, aplicaciones y riesgos.

Los criterios de evaluación según el currículo LOE, correspondientes a los contenidos mencionados anteriormente, son:

- Aplicar la equivalencia masa-energía para explicar la energía de enlace de los núcleos y su estabilidad, las reacciones nucleares, la radiactividad y sus múltiples aplicaciones y repercusiones.

³ El Decreto 42/2008 de la LOE 2/2006 que establece el currículo de bachillerato en la Comunidad de Castilla y León se encuentra citado en el apartado de bibliografía.

⁴ La ORDEN EDU/363/2015 de la LOMCE 8/2013 por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León se encuentra citada en el apartado de bibliografía.

-Aplicar los conceptos de fisión y fusión nuclear para calcular la energía asociada a estos procesos.

Los contenidos referentes a esta unidad didáctica, según el currículo de la LOMCE, se resumen a continuación, al igual que los criterios de evaluación correspondientes a esos contenidos. (En el Anexo I se incluyen los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables referentes a la unidad didáctica “Física Nuclear” que vienen establecidos por ley en la ORDEN EDU/363/2015 de la LOMCE 8/2013 del BOCYL).

Contenidos:

- La radiactividad. Tipos.
- El núcleo atómico. Leyes de la desintegración radiactiva.
- Núcleos inestables: la radiactividad natural. Modos de desintegración radiactiva.
- Ley de la desintegración radiactiva.
- Periodo de semidesintegración y vida media.
- Reacciones nucleares: la radiactividad artificial.
- Usos y efectos biológicos de la energía nuclear.

Criterios de evaluación:

- Distinguir los distintos tipos de radiaciones y su efecto sobre los seres vivos.
- Establecer la relación entre la composición nuclear y la masa nuclear con los procesos nucleares de desintegración.
- Utilizar el vocabulario básico de la física de partículas y conocer las partículas elementales que constituyen la materia.
- Valorar las aplicaciones de la energía nuclear en la producción de energía eléctrica, radioterapia, datación en arqueología y la fabricación de armas nucleares.

5.1.2. Contenidos mínimos

Aunque el profesorado ha de seguir el currículo educativo e impartir los contenidos que en él se especifican, es decisión del profesor, según el nivel del alumnado, sus características y otros factores, como, por ejemplo, el tiempo disponible, impartir todos los contenidos expuestos anteriormente o ceñirse a los contenidos mínimos que fija el Ministerio de Educación.

Los contenidos mínimos, según la Ley Orgánica de Educación⁵, en esta unidad didáctica, son los siguientes:

- Física nuclear. La energía de enlace.
- Radioactividad: tipos, repercusiones y aplicaciones.
- Reacciones nucleares de fisión y fusión, aplicaciones y riesgos.

Los contenidos mínimos, según el currículo básico de la Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa⁶, para esta unidad, se enumeran a continuación:

- Física Nuclear. La radiactividad. Tipos.
- El núcleo atómico. Leyes de la desintegración radiactiva.
- Fusión y Fisión nucleares.
- Interacciones fundamentales de la naturaleza y partículas fundamentales.
- Las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza: gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil.
- Partículas fundamentales constitutivas del átomo: electrones y quarks.
- Historia y composición del Universo. Fronteras de la Física.

5.1.3. Contenidos impartidos

En mi caso, considerando las características de mis alumnos, el tiempo disponible para impartir esta unidad didáctica y los puntos que se incluían en el manual de texto⁷ manejado por los alumnos, los contenidos que expliqué en el tema “Física Nuclear” fueron los siguientes:

- Repaso de la composición del átomo: núcleo atómico (protones y neutrones) y electrones. Número atómico y número másico. Isótopos y su representación.
- Radioactividad: definición. Tipos de radiaciones (α , β y γ) y su clasificación según su poder de ionización y de penetración.

⁵ El REAL DECRETO 1467/2007 de la LOE 2/2006 por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas se encuentra citado en el apartado de bibliografía.

⁶ El Real Decreto 1105/2014 de la LOMCE 8/2013 por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato se encuentra citado en el apartado de bibliografía.

⁷ El manual de texto para Física de 2º Bachillerato de Edebé, manejado por los alumnos y que consulté para elaborar la unidad didáctica, se encuentra citado en el apartado de bibliografía.

- Desintegración radiactiva: Ley de emisión radiactiva y parámetros característicos de los isótopos (periodo de semidesintegración, vida media y actividad o velocidad de desintegración).
- Efectos de la radiactividad (tipos y su medida) y sus aplicaciones (medicina, industria, química y arqueología).
- Interacciones fundamentales: gravitatoria, electromagnética y nucleares (nuclear fuerte y nuclear débil).
- Energía de enlace nuclear: definición. Defecto de masa y ecuación para calcularlo. Energía de enlace por nucleón y su relación con la estabilidad de los núcleos.
- Reacciones nucleares: ajuste de las mismas, energía liberada en ellas y emisiones radiactivas (Ley de Soddy y Ley de Fajans). Concepto de familia radiactiva.
- Fisión y fusión nuclear: concepto y reacciones nucleares en cadena.
- Centrales nucleares: componentes principales de las mismas.
- Partículas subatómicas: leptones y hadrones. Concepto de antipartícula y proceso de aniquilación de pares.

5.2. Planteamiento de analogías en el contexto educativo

Las características del centro educativo, su entorno, los alumnos matriculados en el centro y sus características (nivel educativo, situación social...) influyen mucho a la hora de plantear el desarrollo de una analogía. Si el alumno no tiene unos conocimientos previos suficientes y adecuados para plantear correctamente una analogía, el desarrollo de la misma, así como la comprensión de los nuevos conceptos se verán dificultados. Por otro lado, si el profesor cuenta con un grupo de alumnos a los que les cuesta entender normalmente la materia, es más conveniente emplear analogías sencillas y que les motiven, ya que una compleja confundirá a los alumnos y tendrá por ello el efecto opuesto al esperado.

El número de alumnos del Bachillerato de Ciencias y Tecnología que cursaban la asignatura optativa "Física 2º Bachillerato" y por lo tanto, a los que impartí clase, no era muy elevado. El número de alumnos matriculados era 14 pero normalmente acudían a clase unos 10. La mayor parte de ellos tenían unos conocimientos previos correctos acerca de esta unidad, los cuales son fundamentales para desarrollar analogías relacionadas con los contenidos de este tema, y son principalmente los siguientes: conocían la estructura del átomo y del núcleo atómico, sabían qué era un isótopo, conocían qué son las sustancias

radiactivas y algunos efectos de la radiactividad y les resultaban familiares las reacciones nucleares de fusión y fisión.

No obstante, durante la explicación de esta unidad, observé que tenían dificultades a la hora de comprender conceptos abstractos como el proceso de desintegración radiactiva de un isótopo como un proceso aleatorio.

La analogía que se propone en el siguiente apartado hace referencia a los contenidos de la unidad didáctica “Física Nuclear”, enumerados en párrafos anteriores, en especial al proceso de la desintegración radiactiva de un isótopo y la ley que lo describe que, junto con el periodo de semidesintegración, eran los contenidos que noté que les resultaban más complejos a mis alumnos. En mi caso, no pude llevar a la práctica con los alumnos esta analogía. La falta de tiempo y la necesidad de impartir la totalidad del temario de la asignatura “Física 2º Bachillerato”, debido a que los alumnos se presentaban a las Pruebas de Acceso a la Universidad, fueron los principales impedimentos para llevar a la práctica esta analogía.

6. ANALOGÍA PARA LA DESINTEGRACIÓN RADIATIVA DE ISÓTOPOS

En esta sección se desarrolla una analogía para explicar la desintegración radiactiva de isótopos, parte principal de este trabajo. Se explica brevemente qué es el proceso de desintegración radiactiva, la ley que lo caracteriza y los parámetros característicos de los isótopos. También se indican los criterios seguidos en la selección de la analogía, los objetivos que se pretenden conseguir con su empleo y se lleva a cabo una planificación de la misma, incluyendo su descripción y el análisis de los resultados obtenidos en su desarrollo.

6.1. Desintegración radiactiva

Los contenidos referentes al tema “Física Nuclear” que resultan más complejos al alumno, como ya se ha dicho anteriormente, son fundamentalmente dos: el entender que la desintegración radiactiva de un isótopo es un proceso aleatorio y el periodo de semidesintegración de un isótopo radiactivo. Son dos contenidos que les resultan difíciles de entender porque no son capaces de ver que la desintegración radiactiva es un proceso que ocurre al azar y porque confunden el periodo de semidesintegración con otro parámetro característico de los isótopos que es la vida media.

En cuanto a la desintegración radiactiva, los alumnos piensan que algunos núcleos de un isótopo radiactivo tienen unas determinadas características que les predisponen a desintegrarse antes que el resto de los núcleos de ese isótopo. No comprenden que el hecho de que unos núcleos se desintegren antes que otros sólo va a depender del azar, ya que todos ellos son idénticos entre sí. Como se trata de un concepto abstracto que no pueden observar macroscópicamente, se hace necesario el uso de una analogía en la que se lleve a cabo un juego de azar para que los alumnos puedan entender la aleatoriedad de este proceso. Además, mediante este tipo de analogías, pueden comprender el significado del periodo de semidesintegración de un isótopo sin confundirlo con la vida media, aparte de visualizar el carácter exponencial de la ley de desintegración radiactiva.

A continuación se explican brevemente estos conceptos:

La desintegración radiactiva de un núcleo atómico es un proceso mediante el cual se transforma en otro núcleo diferente cuando emite radiación. Los núcleos que se desintegran son inestables, es decir, radiactivos. Por lo tanto, mediante este proceso, los núcleos que constituyen isótopos radiactivos se van desintegrando aleatoriamente hasta que se llega a un isótopo no radiactivo, es decir, estable.

Este proceso está determinado por la ley de desintegración radiactiva, que indica el número de núcleos que en un instante, t , aún no se han desintegrado.

Su expresión matemática es:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Siendo:

N = número de núcleos que no se han desintegrado en un instante t .

N_0 = número de núcleos iniciales que hay en una cierta cantidad del isótopo radiactivo.

λ = constante de desintegración radiactiva (característica de cada isótopo).

Para calcular el número de núcleos iniciales que forman una cierta cantidad de isótopo se puede hacer el siguiente cálculo:

$$N_0 = \frac{m_0}{P_{at}} * N_A$$

Siendo:

m_0 = cantidad inicial de un isótopo radiactivo.

P_{at} = Peso atómico del isótopo.

N_A = Número de Avogadro.

Por lo tanto, el cociente N/N_0 representa la fracción de núcleos que aún no se han desintegrado para un instante t . Durante mis clases teóricas a los alumnos de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato, observé que este cociente les resultaba complejo, ya que se equivocaban frecuentemente al considerar que ese cociente representaba el número de núcleos desintegrados. Con la analogía que se propone pueden ver claramente el significado de ese cociente.

Cada isótopo se caracteriza por unos parámetros: actividad o velocidad de desintegración, periodo de semidesintegración y vida media.

La *actividad o velocidad de desintegración* hace referencia al número de núcleos que se desintegran por unidad de tiempo y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

El *periodo de semidesintegración*, $T_{1/2}$, es el tiempo que transcurre hasta que se desintegran la mitad de los núcleos iniciales (hasta que se desintegran $N_0/2$ núcleos) y la otra mitad permanecen aún sin desintegrarse.

La expresión matemática empleada para calcularlo es la siguiente:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Sin embargo, la *vida media*, τ , es el tiempo medio para que un núcleo al azar se desintegre, es decir, el promedio de vida de un núcleo antes de desintegrarse. Se relaciona con el periodo de semidesintegración a través de la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{\ln 2}$$

Estos contenidos, dentro de la unidad didáctica “Física Nuclear”, son posteriores a una serie de contenidos que el alumno ha de conocer para entender los explicados en los párrafos anteriores y que se enumeran a continuación:

- Repaso de la estructura de los átomos (núcleo y electrones) y de la composición del núcleo atómico (protones y neutrones).
- Repaso de los números atómico y másico. Repaso del concepto de isótopo y su representación.
- Radiactividad natural: definición y tipos de radiaciones.

6.2. Selección de la analogía

En la literatura se han encontrado varias analogías en las que se realizan actividades que implican la aleatoriedad, cuyo objetivo principal es que el alumnado entienda el proceso de desintegración radiactiva de un isótopo como un proceso gobernado por el azar.

Una de estas analogías es la propuesta por Bakaç y otros (2011). Estos autores proponen un juego de azar para comprender la ley de desintegración radiactiva. Se emplean 200 monedas, las cuales representan un isótopo radiactivo; cada una de ellas representa un núcleo de ese isótopo. Se tiran al aire a la vez las 200 monedas y aquéllas en las que sale cara permanecen en el juego, ya que representan núcleos no desintegrados. Sin embargo, las monedas en las que sale cruz se retiran del juego, pues se identifican con los núcleos desintegrados. Se continúa el juego con las monedas en las que haya salido cara, las cuales se siguen tirando al aire hasta eliminar del juego todas las monedas. Se va anotando en cada tirada el número de monedas que permanecen en el juego. El número

de tirada representa el tiempo. Representando estos datos obtienen una gráfica de tipo exponencial como la de la ley de desintegración radiactiva. Aparte de entender el proceso de desintegración de un isótopo como un proceso aleatorio, mediante esta analogía se trata también el concepto de periodo de semidesintegración (número de tiradas necesarias para que el número de monedas iniciales se reduzcan a la mitad).

Treagust (1992) propone una analogía entre el proceso aleatorio de la desintegración de un isótopo y el juego de azar de la lotería. Se compara la probabilidad que tienen los núcleos de un mismo isótopo de desintegrarse con la probabilidad que tienen todos los jugadores de la lotería de que salga premiado su número. Existe la misma probabilidad de que un núcleo u otro de un mismo isótopo se desintegren o de que salga premiado un número u otro.

Schultz (1997) en su artículo "*Dice-Shaking as an Analogy for Radioactive Decay and First-Order Kinetics*" (Anexo II) propone un juego de dados para que los alumnos comprendan el proceso de desintegración radiactiva. El juego consiste en emplear dados de diferente número de caras que se identifican con núcleos de isótopos distintos y se tiran. Los dados en los que sale un número que se ha elegido previamente se retiran del juego, ya que se identifican con núcleos desintegrados y se sigue jugando con el resto. Se van anotando los dados que permanecen en el juego en cada una de las tiradas, por lo que así se considera la variable tiempo. El juego finaliza cuando no quedan dados y se repite tantas veces como sean necesarias para tener un número suficiente de datos como para llevar a cabo un tratamiento estadístico de los mismos.

La analogía propuesta por Treagust (1992) tiene algunas limitaciones, como por ejemplo el hecho de que en el juego de azar de la lotería está implicada la suerte pero no el tiempo. Considerar la variable tiempo es fundamental en una analogía empleada para que los alumnos entiendan la ley de desintegración radiactiva y el periodo de semidesintegración. Por tanto, la analogía del juego de la lotería no es considerada como la más idónea para explicar la desintegración radiactiva.

La analogía propuesta por Bakaç y otros (2011) no presenta esta limitación, pero el hecho de que los alumnos han de tirar las 200 monedas a la vez puede dar pie a que el conjunto de la clase prepare mucho ruido y alboroto, impidiendo el desarrollo de la analogía deseado. Para evitar este alboroto, la analogía propuesta por Schultz (1997) se ha considerado como la más idónea para conseguir los objetivos que se mencionan en el siguiente apartado.

6.3. Objetivos de la analogía

Los objetivos que se pretende conseguir mediante el empleo de la analogía del juego de dados para la enseñanza de la desintegración radiactiva son principalmente que el alumno desarrolle capacidades necesarias para el trabajo científico y que aprenda algunos conceptos fundamentales de Física Nuclear. Estos objetivos están contenidos en los objetivos generales propuestos en el currículo educativo de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato y en los objetivos específicos de la unidad didáctica “Física Nuclear”, tanto en la LOMCE como en la LOE.

Objetivos generales

- Interpretar gráficas, tablas y expresiones matemáticas.
- Utilizar las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) para tratar datos y extraer y utilizar información de diferentes fuentes, evaluar su contenido, fundamentar los trabajos y adoptar decisiones.
- Promover una metodología de trabajo activa para que el alumnado se implique en su proceso de aprendizaje de manera directa.
- Favorecer el trabajo en equipo, la confianza en uno mismo y el sentido crítico.

Objetivos específicos:

Los objetivos específicos que se pretenden conseguir con el uso de la analogía son:

- Objetivos conceptuales:

- Identificar el proceso de desintegración radiactiva de un isótopo como un proceso aleatorio.
- Comprender que un proceso aleatorio está regido por leyes estadísticas.
- Comprender la necesidad de disponer de un gran número de datos para llevar a cabo un tratamiento estadístico.
- Interpretar la ley de la desintegración radiactiva.
- Distinguir entre los parámetros periodo de semidesintegración y vida media.
- Establecer la relación entre período de semidesintegración y constante de desintegración.

- Objetivos procedimentales:

- Construir una tabla con los datos tomados en el juego de dados.
- Representar en forma gráfica los resultados obtenidos en la analogía.
- Interpretar las gráficas obtenidas con el juego de dados.

- Extrapolar los resultados obtenidos en la analogía al proceso de desintegración radiactiva.
- Objetivos actitudinales:
 - Valorar la importancia del empleo de la radiactividad en la datación de muestras arqueológicas con Carbono 14.
 - Valorar los riesgos que entrañan los residuos radiactivos.
 - Estimular el interés por el estudio de la física, en general, y de la física nuclear, en particular.

6.4. Planificación de la analogía

La utilización de analogías como recurso didáctico en el proceso de enseñanza-aprendizaje requiere, como primera etapa, que el profesor realice la analogía antes de plantearla a los alumnos, de forma que pueda ver las dificultades que presenta. Esta práctica es particularmente necesaria en el caso de la analogía seleccionada en el presente TFM para explicar la ley de desintegración radiactiva debido a su relativa complejidad. En esta sección se describe la analogía y se analizan los resultados obtenidos.

6.4.1. Descripción de la analogía

En el tratamiento de la radiactividad se considera un isótopo radiactivo, es decir, un isótopo no estable que al emitir radiación se vaya transformando en otros isótopos hasta que se llega a un isótopo estable, y por lo tanto, no radiactivo. En este proceso, los núcleos del isótopo radiactivo se desintegran transformándose en otros más estables. Todos los núcleos de un isótopo radiactivo, al ser idénticos, tienen la misma probabilidad de desintegrarse.

Un isótopo radiactivo contiene un número muy elevado de núcleos, por lo que la desintegración radiactiva es un proceso aleatorio, es decir, está sometido al azar, y, por tanto, gobernado por leyes estadísticas. Debido a esto, en este trabajo se utiliza para la enseñanza de la desintegración radiactiva una analogía consistente en un juego de dados, en el cual los resultados que se obtengan van a depender del azar.

El estudio de los procesos aleatorios requiere un tratamiento estadístico, por lo que el número de dados usados en el juego debe ser elevado, por ejemplo, 200 dados, lo cual complica la puesta en práctica de la analogía. Sin embargo, no es necesario utilizar tantos dados, ya que se obtienen esencialmente los mismos resultados jugando una sola vez con 100 dados que jugando 10 veces con 10 dados. En el presente trabajo, el juego se realizó

40 veces empleando en cada juego 6 dados de 6 caras, lo que es equivalente a un juego con 240 dados. El juego se realizó también con dados de 4 caras.

En la analogía para la desintegración radiactiva de un isótopo, los análogos (ideas previas o elementos conocidos por el alumno y que le resultan familiares) y los tópicos (conocimiento nuevo que se quiere que el alumno entienda mediante el empleo de la analogía) se relacionan de la siguiente forma:

Un isótopo radiactivo, al que llamamos A, es el tópico cuyo análogo es un conjunto de 240 dados de 4 caras. Otro isótopo radiactivo diferente a A, al que llamamos B (tópico), se representa por un conjunto de 240 dados de 6 caras (análogo). Según esto, cada uno de los dados de 4 y 6 caras (análogos) representan un núcleo del isótopo radiactivo A y del isótopo radiactivo B, respectivamente, los cuales serían los tópicos. Los dados de 6 caras se identifican con núcleos idénticos de un isótopo radiactivo B, que tienen la misma posibilidad de desintegrarse, y que sólo por azar unos se desintegrarán antes que otros, ya que todos son iguales. Esto mismo sucede para los dados de 4 caras.

Para tratar los tópicos núcleo desintegrado e isótopo estable (no radiactivo) se considera que si al agitar los 6 dados y tirarlos al azar sale en uno o varios de ellos un número que se ha elegido previamente (por ejemplo el número 3), ese dado o esos dados en los que ha salido ese número serían el análogo del núcleo desintegrado. Ese dado o esos dados no se vuelven a agitar (no siguen en el juego), ya que representan núcleos desintegrados de un isótopo. El análogo del isótopo estable se identificaría con la eliminación del juego de todos los dados porque en todos ellos ha salido el número escogido (todos los núcleos se han desintegrado y el isótopo ya no es radiactivo).

Cada tirada equivale a una unidad de tiempo. El periodo de semidesintegración se representa por el número de tiradas necesario para que el número de dados se reduzca a la mitad.

En la Tabla 1 se resumen los tópicos y sus correspondientes análogos que se consideran en esta analogía y que se han explicado en los párrafos anteriores.

Los conjuntos de dados de seis caras y cuatro caras utilizados en este trabajo se muestran en la Figura 1.

Tabla 1. Relación entre el análogo y el tópico.

ANÁLOGO	TÓPICO
Conjunto de 240 dados de 4 caras	Isótopo radiactivo A
Conjunto de 240 dados de 6 caras	Isótopo radiactivo B
Dado de 4 caras	Núcleo activo de un isótopo radiactivo A
Dado de 6 caras	Núcleo activo de un isótopo radiactivo B
Una tirada	Unidad de tiempo
Dado o dados en los que ha salido el nº 3 (dado o dados que eliminamos del juego)	Núcleo desintegrado que ha emitido radiación y se ha transformado en otro núcleo diferente
Nº de tiradas hasta que se eliminan la mitad de los dados iniciales	Periodo de semidesintegración: tiempo transcurrido hasta que la mitad de los núcleos iniciales se desintegran
Fin del juego (la actividad acaba porque en todos los dados ha salido el nº 3)	Isótopo estable (no radiactivo) formado por núcleos estables que no se desintegran



Conjunto de 6 dados de 6 caras



6 dados de 4 caras en distinta perspectiva

Figura 1. Dados utilizados en la analogía.

A continuación se enumeran las actividades que componen la analogía:

1º) Se ha de disponer de dos conjuntos de 6 dados: uno formado por 6 dados de 4 caras y el otro formado por 6 dados de 6 caras. Es conveniente también disponer de una hoja de cálculo (programa Excel), en la cual se vayan anotando simultáneamente al realizar el juego los resultados de cada una de las tiradas.

2º) Se ha de elegir un número que al agitar los dados pueda salir en cualquiera de ellos (por ejemplo el número 3).

3º) Se agitan los dados (se trabajará con cada conjunto de dados por separado) y se tiran al azar. Si en cualquiera de los 6 dados sale el número elegido, el 3 (Figura 2) o el que se haya escogido, ese dado o esos dados se retiran y se continúa jugando con los dados restantes. El juego finaliza cuando en los 6 dados ha salido el número escogido y, por lo tanto, no quedan más dados para seguir jugando.

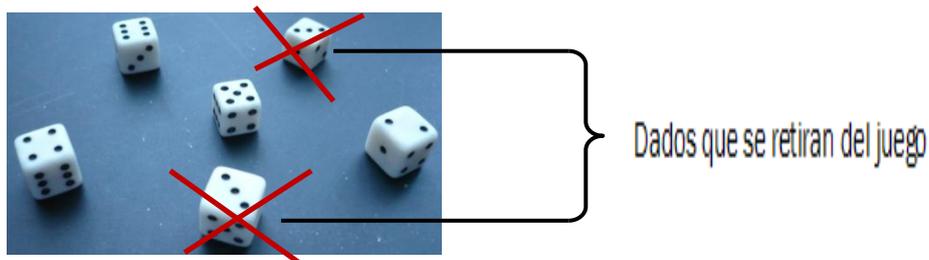


Figura 2. Dados eliminados en una tirada (número elegido el 3)

4º) Se repite el tercer paso (40 veces en la experiencia realizada en este trabajo) con cada uno de los conjuntos de dados empleados.

5º) Con los resultados obtenidos se elabora una tabla (Tabla 2) en la hoja de cálculo, en la que se indica el número de dados que permanecen en el juego después de cada tirada, para cada experiencia. El número de dados que permanecen en el juego después de una tirada es el análogo para el número de núcleos, N , que no se han desintegrado a un tiempo t . El número inicial de dados (240) es el análogo del número de núcleos en el isótopo radiactivo, N_0 . La fracción de dados que permanecen en el juego es el análogo para la fracción de núcleos del elemento radiactivo que no se han desintegrado, es decir, N/N_0 a un tiempo t .

Tabla 2. Resultados obtenidos con el juego de dados con 4 caras

Nº Tirada	Exp. 1	Exp. 2	...	Exp. 40	Fracción permanente
1					
2					

En el Anexo III se muestran los resultados para el juego con dados de 6 y 4 caras.

6°) Los resultados obtenidos se representan en una gráfica. En las figuras 3 y 4 se representan los resultados obtenidos en este trabajo con los dados de 4 y 6 caras, respectivamente.

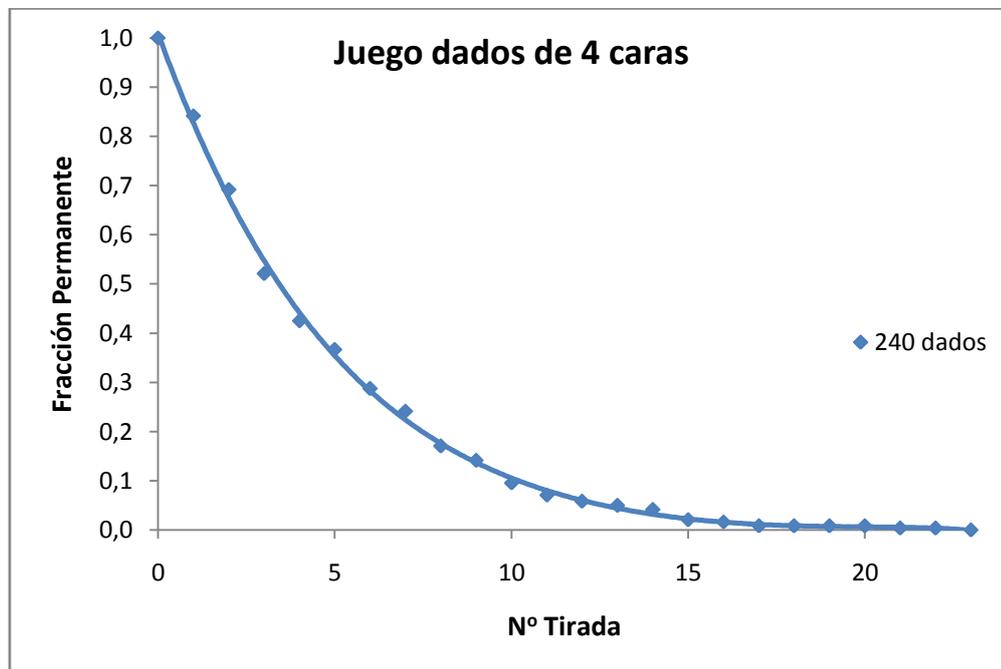


Figura 3. Resultados obtenidos con el juego de 4 caras.

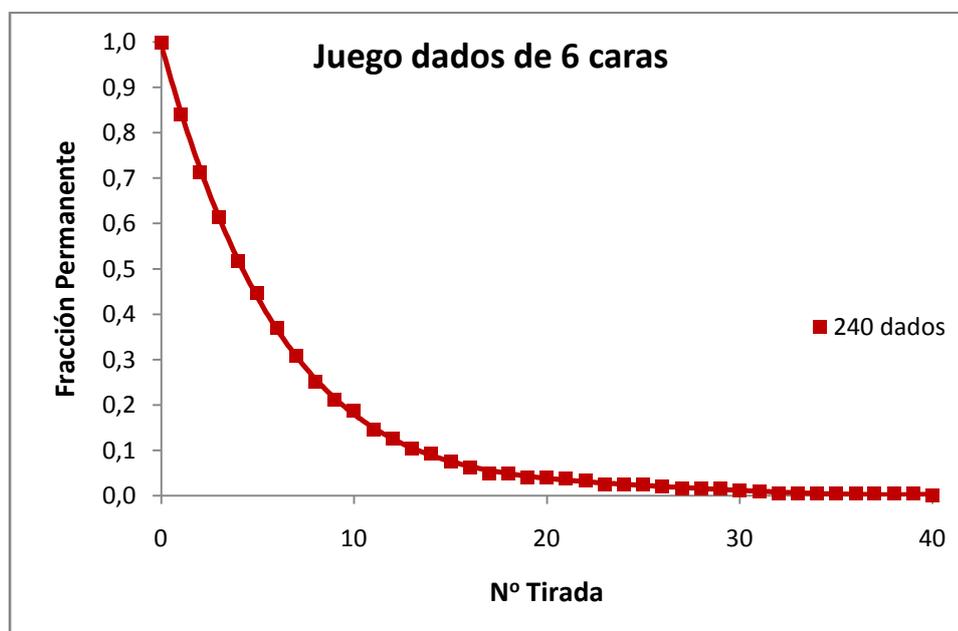


Figura 4. Resultados obtenidos con el juego de 6 caras.

6.4.2. Análisis de resultados

En este apartado se analizan los resultados obtenidos con el juego de dados y la idoneidad de la analogía para conseguir los objetivos que se pretenden alcanzar con su utilización en el aula.

El estudio de los procesos aleatorios, como ya se ha mencionado, requiere un tratamiento estadístico, por lo que la muestra, que en esta analogía es el número de dados, debe ser grande. En este trabajo, el juego se repitió 40 veces con cada tipo de dados, lo que equivale a un juego con 240 dados. Se considera que la muestra es lo suficientemente grande como para poder realizar un tratamiento estadístico.

En el aula, el número de veces que se lleva a cabo el juego, y por tanto el número de dados, viene limitado por el tiempo disponible para realizar la analogía. El tiempo dedicado al juego se puede acortar si se agrupa a los alumnos por parejas, uno de ellos lanza los dados y el otro anota los resultados. De esta manera, en una clase formada por 20 alumnos, si cada pareja repite cuatro veces el juego con un tipo de dados y se juntan los resultados de todas las parejas, el número total de dados en el juego serían 240, que coincide con el número usado en este trabajo. El tiempo estimado para la práctica del juego sería de unos 15 minutos, ya que, en promedio, se tarda 6 minutos en finalizar cuatro juegos con dados de 4 caras y 9 minutos con dados de 6 caras. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que la asignatura de Física II es optativa y puede suceder que el número de alumnos sea bajo. Si fuera 10, como hubiese sido mi caso si hubiera podido llevar a la práctica esta analogía con mis alumnos, se formarían 5 parejas, con lo que el número total de dados en el juego sería 120 ($4 \times 5 \times 6$). En este punto, cabe la pregunta de si este número de dados es suficiente para que la analogía dé lugar a resultados significativos. En la Figura 5 se muestran los resultados del juego con los 6 dados de 4 caras repetido 20 veces (equivalente a 120 dados) y repetido 40 veces (equivalente a 240 dados). Como se puede apreciar las dos curvas son muy similares; lo mismo se ha observado para el juego con dados de 4 caras.

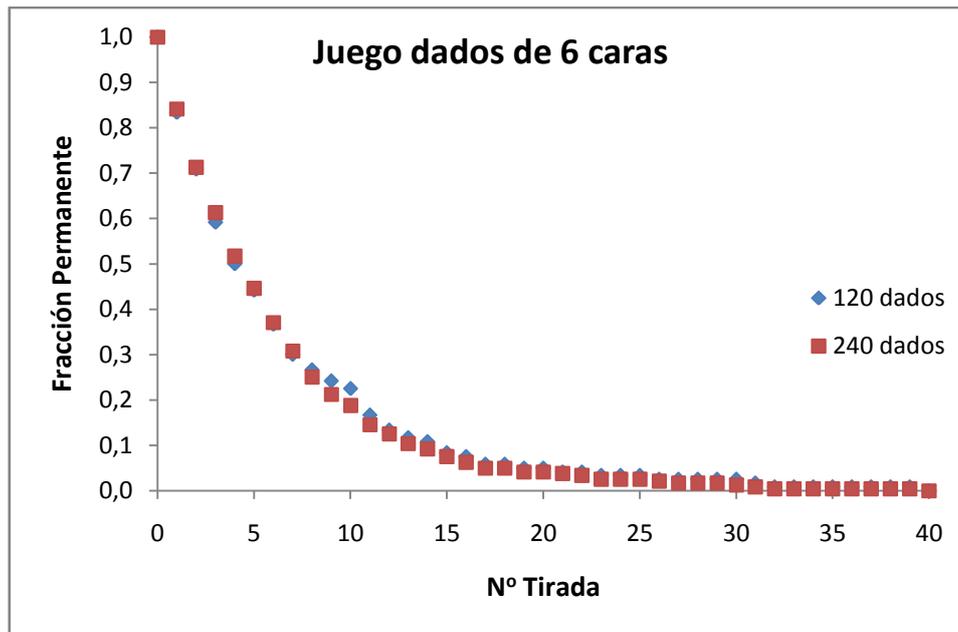


Figura 5. Los resultados del juego no varían cuando se utiliza un número elevado de dados.

Si el tiempo del que se dispone no permite que cada pareja repita el juego cuatro veces, es conveniente que realice al menos dos juegos para que quede claro el significado de proceso aleatorio. Los alumnos pueden comprender que el proceso de desintegración radiactiva de los núcleos ocurre al azar, ya que al repetir la actividad con el conjunto formado por el mismo tipo de dados se obtienen resultados diferentes en cada experiencia. Si asocia los dados con los núcleos de un isótopo comprenderá que todos los núcleos de un mismo isótopo son iguales y que, al igual que en todos los dados existe la misma probabilidad de que salga el número escogido, todos tienen la misma probabilidad de desintegrarse, y el que unos lo hagan antes que otros sólo dependerá del azar. Durante mis prácticas observé que este concepto les resultaba difícil; esta analogía puede ayudarles a entenderlo más fácilmente.

Uno de los objetivos que se pretenden con la analogía del juego de dados es que el alumno comprenda que se necesita un gran conjunto de núcleos para establecer una ley que describa un proceso aleatorio, como es la ley de la desintegración radiactiva. Es importante que entienda que no tiene sentido intentar predecir si un determinado núcleo va a desintegrarse o no o cuánto tiempo va a tardar en desintegrarse. Sólo se puede averiguar, en un conjunto muy grande de núcleos, cuántos van a permanecer en un tiempo determinado o cuántos van a desintegrarse al cabo de un cierto tiempo. En la Figura 6 se representan diferentes resultados para el juego con 6 dados. Es evidente que a partir de estos resultados no se puede establecer una ley que proporcione una descripción matemática de un proceso aleatorio. Sin embargo, si el número de dados es grande (Figura

5) se observa una regularidad en los resultados. Esto también les permitirá entender por qué cada pareja de alumnos ha juntado sus resultados con el resto de parejas formadas.

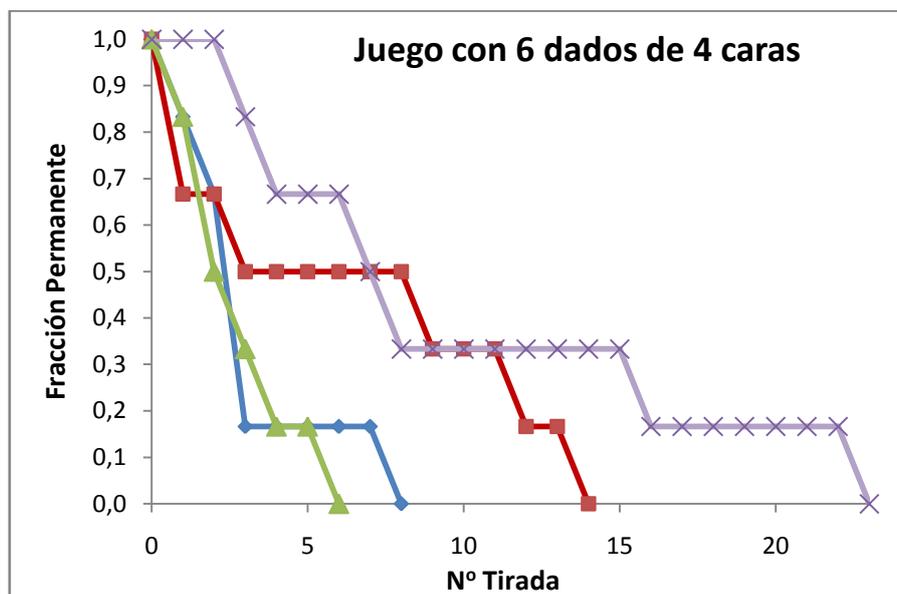


Figura 6. Resultados obtenidos en el juego con un número de dados pequeño.

Con la analogía también se pretende que los alumnos comprendan el significado del cociente N/N_0 que aparece en la ley de desintegración radiactiva. Durante las clases que impartí, mis alumnos solían confundir las magnitudes que aparecen en este cociente y no tenían claro si indicaba la fracción de núcleos desintegrados o la de núcleos que permanecen sin desintegrar. Las actividades realizadas, anotar en una tabla los dados que permanecen en el juego y representar en una gráfica la fracción de dados que permanecen, les ayudarán a comprender y recordar su significado. Por otra parte, con el juego de dados, el alumno puede observar el carácter exponencial de la ley de desintegración radiactiva. Al observar que la representación gráfica de la fracción permanente de dados en el juego (Figura 5) frente al tiempo es una función exponencial negativa será capaz de entender que en la desintegración radiactiva, el número de átomos que permanece sin desintegrarse experimenta una disminución exponencial.

El juego de los dados también ayuda a comprender uno de los términos que suele utilizarse para describir la desintegración radiactiva, el periodo de semidesintegración. Los alumnos, al relacionarlo con el número de tiradas necesario para eliminar del juego la mitad de los dados iniciales, pueden ver claramente que hace referencia al tiempo transcurrido hasta que se desintegran la mitad de los núcleos iniciales de un isótopo. En la Figura 7 se representa el “periodo de semidesintegración” obtenido con el juego realizado con los dados de 4 caras. Con esta gráfica el alumno puede comprender que dicho período es independiente del número de átomos inicial del isótopo radiactivo, es característica de

cada isótopo. También puede ver que cada vez se desintegran menos átomos (o núcleos) en un mismo tiempo, por lo que una muestra radiactiva tarda mucho en convertirse en inactiva. Este es uno de los peligros de la radiactividad.

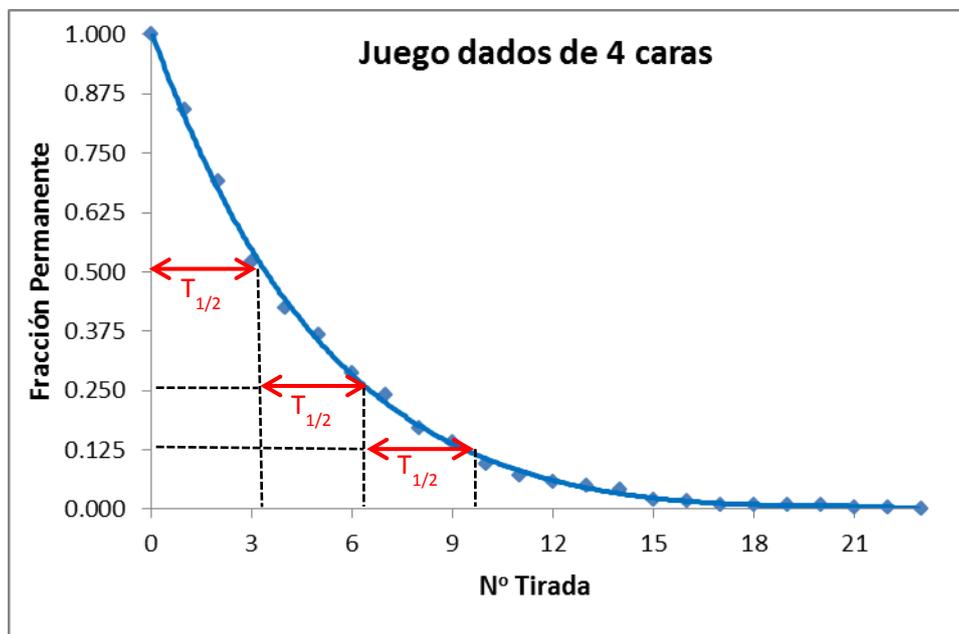


Figura 7. “Períodos de semidesintegración” del juego de dados con cuatro caras.

Otro aspecto que se puede mostrar con esta analogía es que diferentes isótopos radiactivos presentan diferente estabilidad. Para ello, se compara el tiempo que tarda en finalizar el juego con los conjuntos de dados de cuatro caras y de seis, que son los análogos de dos isótopos radiactivos diferentes (Figura 8). El alumno observará que, en promedio, se necesitan menos tiradas para el conjunto de dados que tenga el menor número de caras, ya que, en este caso hay más posibilidades de que salga el número elegido. De esta forma, el dado de 4 caras representaría a un núcleo de un isótopo bastante inestable (ya que uno de cada cuatro estados es inestable) mientras que el de 6 representa a un núcleo de un isótopo más estable que el anterior (sólo uno de cada 6 estados es inestable) y por ello este último tardará más tiempo en desintegrarse.

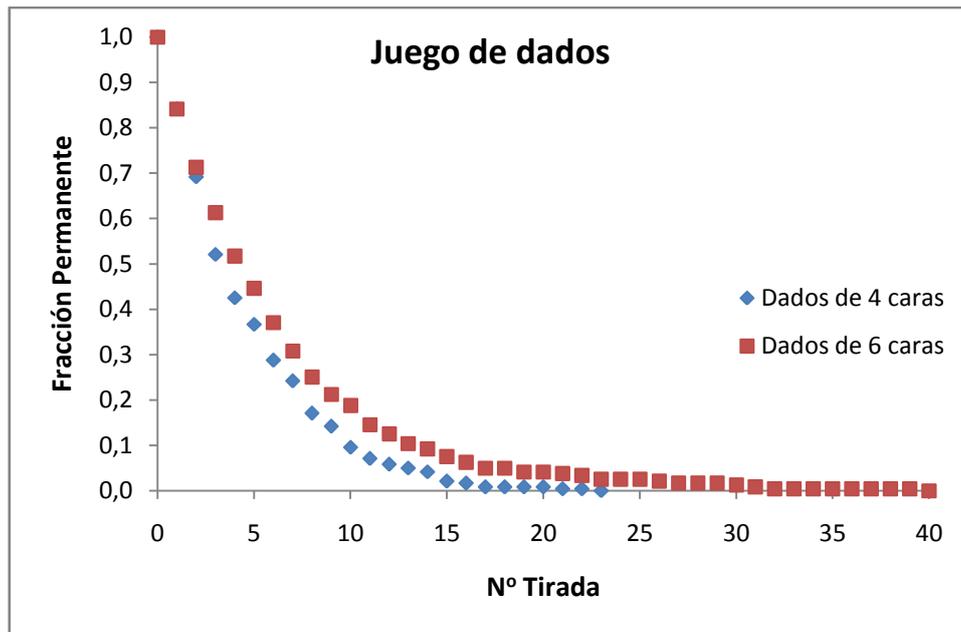


Figura 8. Dado de 4 caras representa a un núcleo más inestable que el dado de 6 caras

En la Figura 9 se representan los “periodos de semidesintegración” para los conjuntos de dados de 4 y 6 caras. A partir de la figura, el alumno también puede comprender que cada isótopo tiene un periodo de semidesintegración característico y que éste es mayor para el isótopo más estable, representado por el conjunto de dados de 6 caras. La diferencia de los períodos de semidesintegración de dos isótopos se apreciaría mejor si se hubiese realizado el juego con dados de 8 caras en lugar de 6. Sin embargo, el juego con dados de ocho caras presenta el inconveniente de que lleva más tiempo, y éste es uno de los factores a tener en cuenta al plantear una analogía, dado que se dispone de un tiempo limitado para impartir la unidad didáctica.

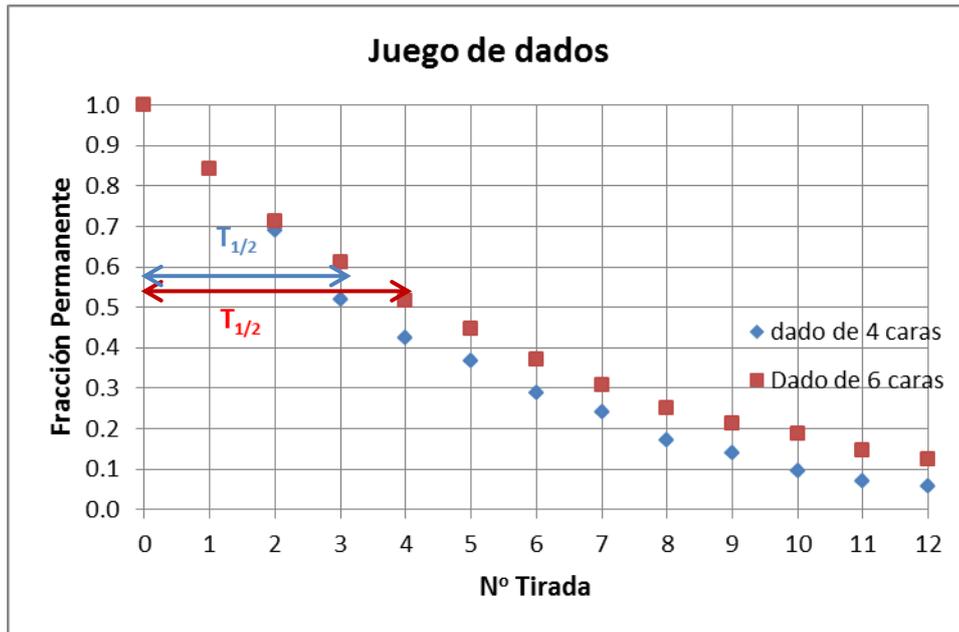


Figura 9. "Períodos de semidesintegración" para los conjuntos de dados de 4 y 6 caras.

Con el juego de dados el alumno será capaz de entender por qué la constante de desintegración, λ , que aparece en la ley de desintegración radiactiva es característica de cada isótopo radiactivo. Si se toman logaritmos neperianos en la ecuación de la Ley de desintegración radiactiva se tiene $\ln N/N_0 = -\lambda t$, se puede determinar λ a partir de la representación gráfica de $\ln N/N_0$ frente a t . En las figuras 10 y 11 se representan los mejores ajustes a una función logarítmica para los juegos con los conjuntos de dados de 4 y 6 caras, respectivamente.

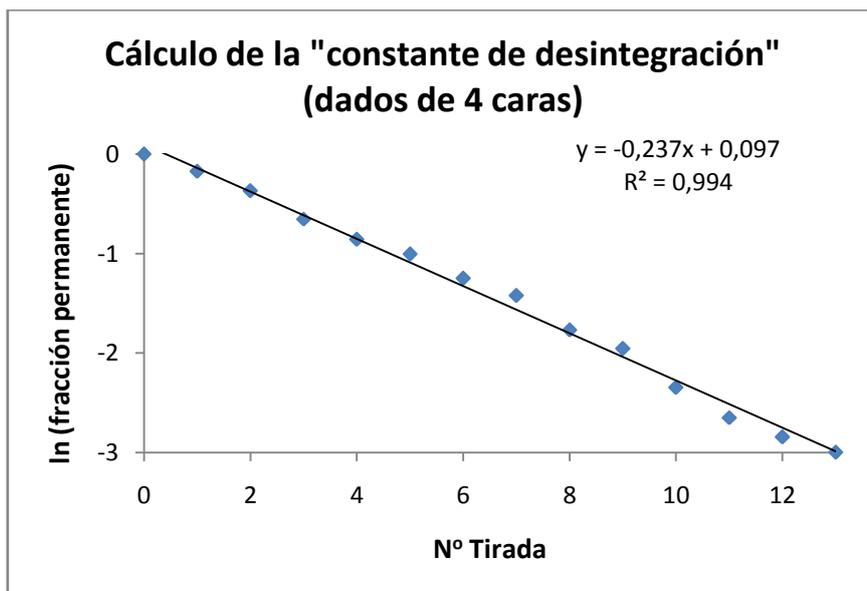


Figura 10. "Constante de desintegración" en el juego de dados de cuatro caras

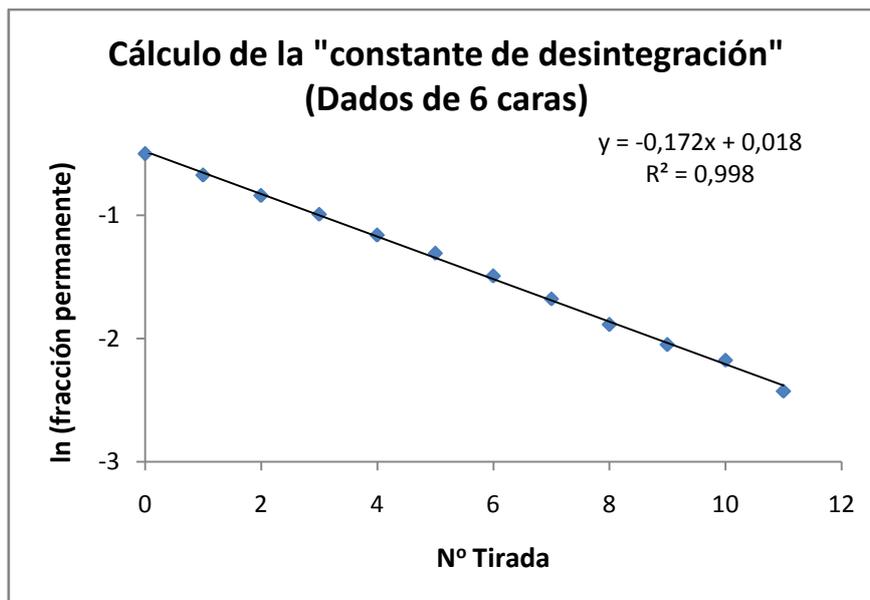


Figura 11. "Constante de desintegración" en el juego de dados de seis caras

La constante de desintegración representa la probabilidad de que un núcleo se desintegre en la unidad de tiempo, por lo que cuanto mayor sea su valor, el isótopo será más inestable. Ahora el análogo es la pendiente de la gráfica y el tópicos la constante de desintegración. Se observa que la pendiente es mayor para el conjunto de dados de 4 caras que representa al isótopo más inestable.

La ecuación que relaciona período de semidesintegración de un isótopo radiactivo y su constante de desintegración viene dada por $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$. Las "constante de desintegración" obtenidas en este trabajo son 0.24 y 0.17 para los conjuntos de dados de 4 y 6 caras, respectivamente. Empleando la ecuación anterior, los períodos de semidesintegración para los isótopos representados por los conjuntos de 4 y 6 caras tendrían valores de 2.9 y 4, respectivamente. Estos valores son muy próximos a los presentados en la Figura 9.

La mayoría de los alumnos que cursan la asignatura de Física, también estudian Química, en cuyo temario se incluye la unidad didáctica "Cinética química". Los alumnos observarán que las ecuaciones y gráficas para una cinética de primer orden son las mismas que para la desintegración radiactiva. No obstante, es importante insistir en que la velocidad de una reacción química depende de la temperatura, a diferencia de la velocidad de desintegración de un núcleo que es independiente.

Teniendo en cuenta lo expuesto en este apartado, la analogía del juego de dados presenta un carácter interdisciplinar. Esta analogía no sólo permite visualizar los conceptos de

radiactividad y período de semidesintegración, sino que se apoya en fórmulas matemáticas y representaciones gráficas para describir la desintegración radiactiva. El tratamiento estadístico no les resultará muy nuevo porque en la asignatura de Matemáticas de 1º de Bachillerato (Matemáticas I) y en la de 2º (Matemáticas II), en los bloques de Estadística y Probabilidad, lo estudian. Según la LOE (Decreto 42/2008) uno de los contenidos que tratan en Matemáticas I es *“Utilización de la hoja de cálculo para realizar cálculos estadísticos y simulaciones de probabilidad”*. Según el currículo LOMCE (ORDEN EDU/363/2015) se trata tanto en la asignatura Matemáticas I como en la de Matemáticas II siendo los contenidos *“Predicciones estadísticas y fiabilidad de las mismas”* y *“Experiencias aleatorias”*, respectivamente. Además, permite establecer una conexión con la cinética de las reacciones de primer orden.

Por otra parte, la analogía fomenta la participación de los alumnos en el proceso de enseñanza-aprendizaje, ya que son ellos quienes realizan las actividades. Además, aprenden a trabajar en equipo, tanto en parejas como con el resto de sus compañeros compartiendo los datos obtenidos.

Una limitación que presenta esta analogía es que los dados en los que sale el número elegido se retiran del juego, lo que indicaría que los núcleos desintegrados de un isótopo radiactivo desaparecerían al emitir radiación. Como esto no es cierto, Schultz (1997) propone que estos dados sigan en el juego pero marcados. Ésta sería una verdadera analogía, pues los dados marcados se identificarían con núcleos desintegrados pero existentes en el isótopo y se acabaría la actividad cuando todos los dados estuvieran marcados. Aunque esta manera de realizar la analogía sea la idónea, se alargaría mucho la misma, por lo que se ha considerado que la analogía tal y como se ha planteado bastaría para que los alumnos entiendan el proceso de desintegración radiactiva.

6.4.3. Presupuesto y tiempo estimados

Un aspecto importante a la hora de decidir si una analogía se pondrá en práctica en el aula es la estimación del tiempo y el presupuesto disponibles. Si se supone una clase formada por 20 alumnos, al realizar la actividad en parejas, se formarían 10 parejas. Según esto, se necesitarían 10 conjuntos de dados de cada tipo. Los dados de 6 caras se encuentran fácilmente y entre los dos miembros de la pareja pueden reunir 6 dados de 6 caras, ya que los pueden coger de muchos juegos de azar que tengan en su casa (parchís, oca, etc.). Sin embargo, los dados de 4 caras son más difíciles de conseguir (en algunas tiendas especializadas en cómics y juegos muy específicos), por lo que el profesor se los proporcionará a los alumnos para que la actividad no suponga ningún coste económico

para ellos. Como se necesitarían 10 conjuntos formados por 6 dados de 4 caras cada uno y el precio de cada dado es 1 euro:

$$10 \text{ conjuntos} \times 6 \text{ dados} \times 1 \text{ euro} = 60 \text{ euros}$$

El coste de la experiencia no superaría los 120 euros, incluso si se les proporcionan los dados de 6 caras. En caso de que el número de alumnos fuese menor, se formarían menos parejas y por lo tanto, se necesitarían menos dados (se reduciría el coste económico), aunque el número de juegos que tendría que realizar cada pareja tendría que ser mayor para que al juntar los resultados de todas las parejas se pudiera llevar a cabo un tratamiento estadístico de los datos obtenidos. Esto alargaría la analogía y sería un inconveniente para poder llevarla a la práctica. Para una clase de 20 alumnos, como ya se ha dicho anteriormente, el tiempo en realizar 4 juegos con cada conjunto de dados sería de aproximadamente 15 minutos, lo cual no resulta excesivo.

Los alumnos pueden anotar los resultados de cada tirada en una hoja de cálculo Excel, por lo que se precisarían ordenadores para desarrollar la analogía y ésta se llevaría a la práctica en el aula de informática. Muchos institutos tienen un presupuesto económico muy reducido para el curso escolar. Si no fuera posible que cada pareja disponga de un ordenador, los resultados los pueden ir anotando en una hoja y, como las tablas y las gráficas las elaboran a partir de los resultados de las tiradas de todos sus compañeros, bastaría con disponer de un ordenador en el que juntarían todos los resultados.

7. DESARROLLO DE LA ANALOGÍA PARA LA DESINTEGRACIÓN RADIATIVA DE ISÓTOPOS EN EL AULA

El conjunto de actividades que se proponen para la enseñanza de la ley de desintegración radiactiva y sus consecuencias se puede realizar en tres sesiones de 50 minutos cada una, las cuales se describen a continuación de la forma que se ha considerado como la más idónea para llevarlas a la práctica:

Primera Sesión

Esta sesión está dedicada a la explicación teórica de los conceptos señalados en el apartado 6.1 (desintegración radiactiva, ley de desintegración radiactiva y parámetros característicos de los isótopos). Previamente, dentro de la unidad didáctica, se han explicado las estructuras del átomo y del núcleo, los isótopos y los tipos de radiaciones. Es indispensable conocer el nivel de conocimientos previos de los alumnos antes de comenzar una unidad didáctica; para ello se puede plantear oralmente en clase:

¿Qué entendéis por radiactividad?

¿Qué tipos de radiaciones conocéis?

¿Creéis que todas las sustancias pueden ser radiactivas?

¿Qué elementos constituyen un átomo? ¿Y un núcleo?

Diferenciad entre número atómico y número másico.

¿Qué es un isótopo?

¿Conocéis algún isótopo radiactivo?

¿Qué creéis que le pasa a un núcleo cuando emite radiación? ¿Se transforma en otro diferente o desaparece?

Aparte de explicar los conceptos del apartado 6.1, el docente en esta primera sesión puede plantear a sus alumnos una serie de preguntas que se realizarían en el aula tras esa explicación. Esta especie de test (Test 1) va a permitir al profesor conocer el nivel de conocimientos adquirido por sus alumnos y, según los resultados de esta prueba, el profesor planteará la analogía de tal manera que haga mayor hincapié en aquellos aspectos que no han quedado claros tras la explicación, para poder corregir conceptos erróneos. Este test, por ello, no será evaluado. Las preguntas pueden ser:

¿Cómo definirías el proceso de desintegración radiactiva de un núcleo?

Este proceso ¿se produce por alguna razón determinada antes en unos núcleos de un isótopo radiactivo que en otros núcleos que forman ese mismo isótopo?

¿Cuándo se transforma un núcleo atómico en otro diferente?

Todos los núcleos que forman un mismo isótopo ¿tienen la misma probabilidad de desintegrarse?

¿Cuándo finaliza la desintegración radiactiva de un isótopo?

¿Qué indica la ley de desintegración radiactiva?

¿Qué indica el cociente N/N_0 ?

Si representamos el cociente anterior, ¿qué tipo de gráfica obtenemos: lineal, polinómica, exponencial...?

¿En qué se diferencian los parámetros periodo de semidesintegración y vida media?

Si el isótopo ^{214}U tiene un periodo de semidesintegración de 250.000 años y en un principio teníamos una muestra de 10 g de ese isótopo: ¿Cuánto vale su constante de desintegración radiactiva? ¿Qué masa quedará sin desintegrar después de 50.000 años?

Si el número de núcleos radiactivos de una muestra se reduce a tres cuartas partes de su valor inicial en 38 horas, ¿Qué periodo de semidesintegración tiene dicha muestra?

Segunda Sesión:

Al comenzar esta sesión, el profesor explicará a los alumnos qué es una analogía y para qué la van a emplear, de manera similar a la siguiente:

La analogía que vamos a desarrollar en estas dos sesiones es un recurso que nos va a ayudar a entender que el proceso de desintegración radiactiva de un núcleo ocurre al azar, el significado de la ley de desintegración radiactiva, y a comprender qué es el periodo de semidesintegración de un isótopo.

En una analogía tenemos un análogo y un tópico. El tópico es el concepto que queremos aprender y el análogo, un concepto que conocemos y nos resulta familiar y que lo relacionamos con el tópico.

El profesor puede aclarar a los alumnos estos dos elementos diciéndoles que una analogía es comparar el modelo atómico de Thomson con una sandía (el análogo es la sandía y el tópico es el modelo atómico). Esta analogía les resulta muy conocida porque se encuentra en muchos libros de texto y la habrán empleado en más de una ocasión.

Posteriormente, se pasará a explicar los tópicos y los análogos de la analogía para la desintegración radiactiva de un isótopo, pues resulta necesario para que los alumnos puedan ver más allá del juego y sean capaces de analizar los resultados obtenidos:

El conjunto de dados de 4 caras vamos a identificarlo con un isótopo radiactivo al que llamamos A y el conjunto de dados de 6 caras lo identificamos con un isótopo radiactivo llamado B. Cada uno de los dados de 6 caras lo identificamos con un núcleo inestable (radiactivo) del isótopo B.

Para ver si los alumnos han entendido bien qué son el tópico y el análogo en una analogía y, concretamente en ésta, se pueden plantear preguntas como: *¿Cuál sería el análogo, el isótopo radiactivo o el conjunto de dados?, ¿Con qué podemos identificar cada uno de los dados de 4 caras?*

Cuando en uno de los dados de 6 o 4 caras os salga el número que habéis escogido lo retiramos del juego y este dado (análogo) lo identificamos con el tópico “núcleo desintegrado”. Lo eliminamos del juego porque ese dado lo identificamos con un núcleo que es estable y que, por lo tanto, no se va a poder desintegrar más.

Durante esta explicación se mantiene proyectada la Tabla 1, que contiene los elementos de la analogía. No obstante, se dejará que sean los alumnos quienes, tras desarrollar la analogía, identifiquen los tópicos periodo de semidesintegración e isótopo estable. A continuación, se explican las actividades que componen la analogía (descritas en la sección 6.4.1.), se divide a la clase por parejas y se entrega a cada pareja una hoja con las instrucciones del juego según el modelo incluido en el Anexo IV.

En esta sesión los alumnos comenzarán el juego con los dados de 4 caras debido a que lleva menos tiempo que el juego con los de 6 caras. El profesor guiará el juego, introduciendo en cada etapa del mismo el concepto que pretende que los alumnos aprendan.

El significado de proceso aleatorio puede ser entendido por los alumnos durante el juego. Como ya se comentó en el apartado de análisis de resultados (6.4.2), ven que cada vez que realizan el juego obtienen resultados diferentes y que el hecho de que salga el número elegido en el dado, al igual que se desintegre un núcleo, depende sólo del azar.

Al finalizar el juego, cada pareja de alumnos juntará sus resultados con los de sus compañeros para construir una tabla y una gráfica en conjunto (se recomienda que el profesor les ayude en esta tarea, ya que puede ser algo para ellos). Este aspecto puede resultar difícil para los alumnos, quienes pueden no comprender por qué han tenido que juntar sus resultados con los del resto de sus compañeros. Si, por ej., en la clase son 20 alumnos, se les hace ver que el conjunto de todos sus juegos equivale a jugar una sola vez con 240 dados. Con esto, son capaces de ver que el número de experiencias en común se identifica en la analogía con el número de núcleos que tiene el isótopo (su isótopo estaría formado por 240 núcleos). En este punto se insiste en que el número de núcleos en un isótopo es muchísimo mayor.

Para que los alumnos comprendan que un tratamiento estadístico requiere que la población, en este caso el número de dados, sea muy grande, se les muestra una gráfica como la de la Figura 6. En ella pueden apreciar que si el número de dados es pequeño no se observa una regularidad en los resultados y no se puede considerar una ley, lo contrario que con un número de dados elevado (se les muestra la Figura 5). También en esta sesión pueden comprender el periodo de semidesintegración de un isótopo. Al mostrarles la Figura 7 entienden que este parámetro se refiere al tiempo para que la mitad de los núcleos iniciales de un isótopo se desintegren. Lo relacionarán con el número de tiradas para que los dados iniciales se reduzcan a la mitad, verán que ese periodo es independiente del número de núcleos iniciales de un isótopo y que se considera cada vez que la fracción de núcleos sin desintegrar se reduce a la mitad. Si les cuesta entender este concepto el profesor puede plantear el siguiente problema para ayudarles:

Si tenemos un isótopo radiactivo formado por 100 núcleos y en el primer periodo de semidesintegración se desintegran la mitad de los iniciales permaneciendo 50 núcleos: ¿Cuántos núcleos permanecerán sin desintegrarse después del segundo periodo de semidesintegración? ¿Cuántos crees que se habrán desintegrado tras el tercer periodo de semidesintegración?

Tercera Sesión

Una vez comprendido el mecanismo del juego y el tratamiento de los datos con los dados de 4 caras, en esta sesión los alumnos desarrollarán la analogía con los dados de 6 caras, ya que, aunque se tarde más con este conjunto de dados, conocen lo que tienen que hacer al ser los mismos pasos que con el de 4 caras.

Después de que hayan representado la gráfica para el conjunto de dados de 6 caras, la compararán con la del conjunto de 4 caras. El profesor puede ayudar en esta comparación juntando estas dos gráficas en una sola (Figura 8). Así, comprenderán que los núcleos de

los isótopos más inestables tardan menos tiempo en desintegrarse (lo relacionarán con que han tenido que realizar más tiradas para eliminar todos los dados de 6 caras). También verán que dos isótopos diferentes tienen distinta estabilidad comparando las constantes de desintegración y los periodos de semidesintegración (Figuras 9, 10 y 11). De esta manera podrán relacionar estos conceptos, pues verán que cuanto mayor es el periodo de semidesintegración, el isótopo es más estable y la constante de desintegración menor.

Posteriormente, el profesor puede pasar de nuevo a sus alumnos el test que hicieron antes de realizar la actividad (Test 1) para comprobar qué conceptos han aprendido y si han corregido alguno de los erróneos tras emplear la analogía con este fin.

Para finalizar esta sesión, se realizará una puesta en común oral para analizar los resultados obtenidos. Esta puesta en común es fundamental para corregir conceptos erróneos y ver si realmente la analogía ha servido para que los alumnos entiendan mejor la ley que rige el proceso de la desintegración radiactiva y el periodo de semidesintegración. También puede suponer una especie de autoevaluación para el docente, mediante la cual vea qué ha fallado y corregirlo para posteriores analogías. Las preguntas que los alumnos pueden ir respondiendo ordenadamente y guiados por el profesor serán del tipo a las siguientes:

¿Con qué parámetro característico de los isótopos relacionáis el número de tiradas que habéis tenido que hacer para que en la mitad de los dados iniciales saliera el número escogido y los pudierais eliminar del juego? ¿Por qué?

Cuando habéis eliminado todos los dados del juego porque en ellos ha salido el número elegido, ¿Con qué tipo de isótopo lo relacionaríais: con uno radiactivo o con uno no radiactivo?

Cada conjunto de dados que habéis usado está formado por dados idénticos entre sí, por ello, existe la misma probabilidad en todos ellos de que salga el número escogido. ¿Cómo relacionaríais esto con el proceso de desintegración radiactiva de un isótopo?

¿Habéis obtenido los mismos resultados con el conjunto de dados de 6 caras que con el de 4 caras? Según esto, ¿cómo son los procesos de desintegración radiactiva de dos isótopos diferentes?

¿Por qué creéis que cada una de las cuatro veces que habéis repetido el juego con cada uno de los dos conjuntos de dados habéis obtenido resultados diferentes?

Entonces, ¿por qué hecho está gobernada la desintegración de los núcleos de un mismo isótopo radiactivo?

¿Con qué tipos de datos habéis acabado antes el juego? ¿Recordáis el tópico con el que lo identificábamos?

¿Con qué cociente de la ley de desintegración radiactiva relacionaríais la fracción de datos que permanece en el juego? ¿Qué tipo de gráfica habéis obtenido?

¿Recordáis por qué habéis juntado vuestros resultados con los del resto de vuestros compañeros? ¿Podrías haber realizado el mismo tratamiento si no los hubierais juntado?

¿Cómo están relacionados la constante de desintegración y el periodo de semidesintegración? ¿Son directamente proporcionales? Los isótopos más estables ¿tienen mayor o menor constante de desintegración? Y ¿mayor o menor periodo de semidesintegración?

8. APLICACIONES DE LA RADIATIVIDAD. DATACIÓN POR CARBONO 14.

Uno de los aspectos que más motiva a los alumnos es conocer la aplicación que tiene aquello que han aprendido. Se puede proponer a sus alumnos que busquen una de las aplicaciones de la radiactividad, como es la datación de muestras arqueológicas. Esa búsqueda la realizarían en internet para que manejaran las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs); éste es uno de los objetivos propuestos en este trabajo. La información buscada se compartiría con el resto de la clase.

Entre todos los alumnos, con ayuda del profesor, se puede comentar en qué consiste el método del ^{14}C . Es un método empleado para determinar la edad de restos arqueológicos (como momias) mediante la comparación entre el cociente $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$. Este cociente se mantiene constante cuando el organismo está vivo. Es válido tanto para organismos vegetales como animales, ya que cuando mueren dejan de incorporar ^{14}C a través de la función clorofílica o de la ingestión, respectivamente. Como este isótopo es radiactivo se va desintegrando, por lo que el cociente $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ va disminuyendo cuando el organismo muere al dejar de incorporar ^{14}C y, de esta forma, se puede determinar la edad del organismo.

Para que practiquen ellos con este sencillo cálculo, para determinar la edad de muestras arqueológicas, el profesor les puede proponer que resuelvan este problema:

El periodo de semidesintegración del ^{14}C es 5570 años. Imagínate que eres miembro de un importante equipo de arqueólogos y que habéis determinado al analizar una muestra de una momia del Antiguo Egipto que ésta presenta tres cuartas partes de la radiactividad de un ser vivo. ¿Cómo tú y el resto de tu equipo calcularíais la edad de esta momia?

También los alumnos pueden leer noticias relacionadas con este tema, como el descubrimiento de los restos de un elefante prehistórico en Castelldefels⁸.



Encuentro de restos arqueológicos

⁸ En el apartado de bibliografía se encuentra el link de la página web donde se puede ver esta noticia.

Aunque esta aplicación es la que más les llamará la atención, el profesor les puede comentar que la radiactividad no sólo tiene efectos perjudiciales, sino que tiene otras aplicaciones importantes como la destrucción de células cancerosas debido a las emisiones de algunos isótopos radiactivos. Esta actividad surgida a partir de la analogía puede plantear un debate en torno a las ventajas y desventajas de la radiactividad, lo cual resulta enriquecedor para los alumnos al poder ellos expresar su opinión.

También es conveniente que el profesor reparta entre sus alumnos una encuesta de opinión para saber si les ha gustado la analogía, si les ha ayudado a comprender mejor los conceptos, etc. Esto va a permitir al docente cambiar aquellos aspectos que no hayan funcionado como se esperaba. Se incluye en el Anexo V.

9. CONCLUSIONES

Una de las conclusiones más importantes de este Trabajo Fin de Máster es haber puesto de manifiesto la importancia del uso de analogías en Educación, y más concretamente en la enseñanza de asignaturas científicas, ya que son en estas materias donde los alumnos suelen encontrar mayores dificultades. A lo largo de este trabajo se han presentado los enormes beneficios que los docentes y los alumnos pueden obtener con el empleo de analogías. No sólo ayudan a la comprensión de conceptos complejos y abstractos, sino que permiten que el alumno desarrolle las competencias, actitudes y habilidades necesarias para el trabajo científico y para su vida personal y profesional, en especial las analogías que precisan de la intervención y participación del alumno. Así mismo, se ha plasmado la importancia de una planificación de la analogía que sea correcta y estructurada, para que tenga el resultado deseado.

La analogía para la desintegración radiactiva de isótopos que se desarrolla en este trabajo se ha planificado y descrito de forma que el docente y los alumnos puedan sacar el mayor beneficio de ella. A partir de la propuesta de Schultz se han planteado diferentes actividades que se pueden llevar a la práctica con los alumnos, teniendo en cuenta los factores que permiten entender bien la analogía, entre ellos se han planificado actividades que fomenten la participación del alumno y la discusión de resultados, se han tenido en cuenta los conocimientos previos de los alumnos y se ha desarrollado una actividad (un juego de dados) que les resulta familiar. Como conclusión, se puede decir que se trata de una analogía compleja que requiere una buena planificación por parte del docente, pero que permite principalmente que los alumnos comprendan que el proceso de desintegración de un isótopo es aleatorio, aspecto que les suele resultar muy difícil.

10. BIBLIOGRAFÍA

Artículos

Aragón, M^a. M., Bonat, M., Cervera, J., Mateo, J. y Oliva, J. M^a. (1998). Las analogías como estrategia didáctica en la enseñanza de la Física y de la Química. EN E. Banet y A. de Pro (coords.), *Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias*. La pobla de Segur: DM.

Ausubel, D. P. (1977). The facilitation of meaningful verbal learning in the classroom. *Educational Psychologist*, 12, 162-178.

Bakaç, M., Kartal, A. y Uyumaz, G. (2011). Modeling radioactive decay. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 15, 2196-2200.

Cánovas, F. (2006-2007). Física Nuclear y Partículas. Datación radiactiva [en línea]. Disponible en: http://webs.um.es/gustavo.garrigos/biotec2014/datacion_radiactiva.pdf [2015, 13 de junio].

Ceacero, J. (Coordinador), González, M. J. y Muñoz, P. (1999). *Aplicaciones de la analogía en Educación*. Junta de Andalucía. Consejería de Educación y Ciencia. Dirección General de Evaluación Educativa y Formación del Profesorado.

Chi, M. T. M. (1985). Changing conceptions of sources of memory development. *Human Development*, 28, 50-56.

Dagher, Z. R. (1995). Analysis of analogies used by science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), 259-270.

Donnelly, C. M. y McDaniel, M. A. (1993). Use of analogy in learning scientific concepts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19(4), 957-987.

Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1), 3-15.

Furio, C. (1986). Un curriculum de Física y Química para las enseñanzas medias basado en la investigación didáctica: primeros/resultados. En *IV Jornadas de estudio sobre la Investigación en la Escuela*. Universidad de Sevilla.

Gentner, D. y Gentner, D. R. (1983). Flowing waters or teeming crowds: Mental models of electricity. EN D. Gentner y A. L. Stevens (Eds.), *Mental models*. Hillsdale, N. J: Erlbaum.

Gick, M. L. y Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive Psychology*, 15, 1-38.

Glynn, S. M., Britton, B. K., Semrud-Clikeman, M. y Muth, K. D. (1989). Analogical reasoning and problem-solving in science textbooks. EN J. A. Glover, R. R. Ronning y C. R. Reynolds (Eds.), *Handbook of Creativity: Assessment, Research and Theory*, 383-398. New York: Plenum Press.

Halford, G. S. (1993). Analogies and structure-mapping processes. EN L. Erlbaum, *Children understanding. The development of mental models*. Associates publishers. Hillsdale, New Jersey.

Hewson, P. W. (1981). A Conceptual Change Approach to Learning Science. *European Journal of Science Education*, 3, 383-396.

Hierrezuelo, J. y Montero, A. (1986). *La ciencia de los alumnos*. Ed. CEP de la Axarquía. (Serie monografías No. 1).

Mason, L. (1994a). Analogy, metaconceptual awareness and conceptual change: A classroom study. *Educational Studies*, 20(2), 267-291.

Mason, L. (1994b). Cognitive and metacognitive aspects in conceptual change by analogy. *Instructional Science*, 22, 157-187.

Norman, D. A. (1985). *Aprendizaje y memoria*. Alianza psicología. Madrid.

Novak, J. A. (1982). *Teoría y Práctica de la educación*. Alianza Universidad. Madrid.

Novick, L. R. (1988). Analogical transfer, problem Similarity and Expertise. *Journal of Experimental psychology: Learning, Memory and Cognition*, 14(3), 510-520.

Oliva, J. M^a. (2006). Actividades para la enseñanza/aprendizaje de la química a través de analogías. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(1), 104-114.

Schultz, E. (1997). Dice-Shaking as an Analogy for Radioactive Decay and First-Order Kinetics. *Journal of Chemical Education*, 74(5), 505-507.

Simons, P. R. J. (1984). Instructing with analogies. *Journal of Educational Psychology*, 76, 513-527.

Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Coulson, R. L. y Anderson, D. K. (1989). Multiple analogies for complex concepts: Antidotes for analogy-induced misconception in advanced Knowledge acquisition. EN S. Vosniadou y A. Ortony (Eds.), *Similarity and Analogical Reasoning* (pp. 498-531). Cambridge: Cambridge University Press.

Treagust, D. (1992). Science teachers' use of analogies: observations from classroom practice. *International Journal of Science Education*, 14 (4), 413-422.

Yerrick, R. K., Doster, E., Nugent, J. S., Parke, H. M. y Crawley, F. E. (2003). Social interaction and the use of analogy: an analysis of preservice teachers' talk during physics inquiry lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 443-463.

Yus, R. y García Sánchez, M. (1987). Resultados de una experiencia de aprendizaje constructivista de la geología en el ciclo superior de la EGB, mediante el método del descubrimiento dirigido. EN R. Porlan y P. Cañal (Eds.), *Actas V Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*. Sevilla: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla.

Zook, K. B. y Di Vesta, F. J. (1991). Instructional analogies and conceptual misrepresentations. *Journal of Educational Psychology*, 83(2), 246-252.

Documentos

Vicerrectorado de Docencia de la Universidad de Valladolid. Directrices generales para la realización del prácticum del máster de profesor en Educación Secundaria Obligatoria y

Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas [en línea]. Disponible en: http://www.der.uva.es/files/DIRECTRICES_PRACTICUM_PUBLICADO.pdf [2015, 25 de mayo].

Decretos, Órdenes educativas

Ministerio de Educación y Ciencia (2007, 27 de diciembre). ORDEN ECI/3858/2007, de 27 de diciembre, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de las profesiones de Profesor de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas. Ley Orgánica de Educación 2/2006. En *BOE* N° 312 [en línea]. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2007/12/29/pdfs/A53751-53753.pdf> [2015, 25 de mayo].

Consejería de Educación (2008, 5 de junio). Decreto 42/2008, de 5 de junio, por el que se establece el currículo de bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. Ley Orgánica de Educación 2/2006. En *BOCYL* N° 111.

Consejería de Educación (2015, 8 de mayo). ORDEN EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa 8/2013. En *BOCYL* N° 86 [en línea]. Disponible en: <http://www.educa.jcyl.es/es/resumenbocyl/orden-edu-363-2015-4-mayo-establece-curriculo-regula-implan> [2015, 26 de mayo].

Ministerio de Educación y Ciencia (2007, 2 de noviembre). REAL DECRETO 1467/2007, de 2 de noviembre, por el que se establece la estructura del bachillerato y se fijan sus enseñanzas mínimas. Ley Orgánica de Educación 2/2006. En *BOE* N° 266.

Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2014, 26 de diciembre). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Ley Orgánica para la Mejora de la Calidad Educativa 8/2013. En *BOE* N° 3 [en línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/251862957/RD-Ensenanzas-Minimas-ESO-y-Bachillerato-LOMCE> [2015, 27 de mayo].

Libros:

Grupo Edebé (2009). *Física Bachillerato. Modalidad de Ciencias y Tecnología. Segundo curso de Bachillerato*. Barcelona: Edebé.

Páginas web:

Aplicaciones de la radiactividad:

<http://fisicayquimicaenflash.es/eso/3eso/atomosymoleculas/atomo09.htm>
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/42/htm/sec_10.html

Noticia sobre la datación de muestras arqueológicas:

<http://biqfr.blogspot.com.es/2012/08/descubren-los-restos-de-un-elefante.html#more>

ANEXOS

Anexo I: ORDEN EDU/363/2015. Currículo, implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. LOMCE 8/2013.

Contenidos:

- La radiactividad. Tipos.
- El núcleo atómico. Leyes de la desintegración radiactiva.
- Las interacciones nucleares.
- Energía de enlace nuclear.
- Núcleos inestables: la radiactividad natural. Modos de desintegración radiactiva.
- Ley de la desintegración radiactiva.
- Período de semidesintegración y vida media.
- Reacciones nucleares: la radiactividad artificial.
- Fusión y Fisión nucleares.
- Usos y efectos biológicos de la energía nuclear.
- Interacciones fundamentales de la naturaleza y partículas fundamentales.
- Las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza: gravitatoria, electromagnética, nuclear fuerte y nuclear débil.
- Partículas fundamentales constitutivas del átomo: electrones y quarks. Los neutrinos y el bosón de Higgs.
- Historia y composición del Universo. La teoría del Big Bang. Materia y antimateria. Fronteras de la Física.

Criterios de evaluación:

- Distinguir los distintos tipos de radiaciones y su efecto sobre los seres vivos.
- Establecer la relación entre la composición nuclear y la masa nuclear con los procesos nucleares de desintegración.
- Valorar las aplicaciones de la energía nuclear en la producción de energía eléctrica, radioterapia, datación en arqueología y la fabricación de armas nucleares.
- Justificar las ventajas, desventajas y limitaciones de la fisión y la fusión nuclear.
- Distinguir las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza y los principales procesos en los que intervienen.
- Reconocer la necesidad de encontrar un formalismo único que permita describir todos los procesos de la naturaleza.
- Conocer las teorías más relevantes sobre la unificación de las interacciones fundamentales de la naturaleza.
- Utilizar el vocabulario básico de la física de partículas y conocer las partículas elementales que constituyen la materia.
- Describir la composición del universo a lo largo de su historia en términos de las partículas que lo constituyen y establecer una cronología del mismo a partir del Big Bang.
- Analizar los interrogantes a los que se enfrentan los físicos hoy en día.

Estándares de aprendizaje evaluables:

- Describe los principales tipos de radiactividad incidiendo en sus efectos sobre el ser humano, así como sus aplicaciones médicas.
- Obtiene la actividad de una muestra radiactiva aplicando la ley de desintegración y valora la utilidad de los datos obtenidos para la datación de restos arqueológicos.
- Realiza cálculos sencillos relacionados con las magnitudes que intervienen en las desintegraciones radiactivas.
- Explica la secuencia de procesos de una reacción en cadena, extrayendo conclusiones acerca de la energía liberada.
- Conoce aplicaciones de la energía nuclear como la datación en arqueología y la utilización de isótopos en medicina.
- Analiza las ventajas e inconvenientes de la fisión y la fusión nuclear justificando la conveniencia de su uso.
- Compara las principales características de las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza a partir de los procesos en los que éstas se manifiestan.
- Establece una comparación cuantitativa entre las cuatro interacciones fundamentales de la naturaleza en función de las energías involucradas.
- Compara las principales teorías de unificación estableciendo sus limitaciones y el estado en que se encuentran actualmente.
- Justifica la necesidad de la existencia de nuevas partículas elementales en el marco de la unificación de las interacciones.
- Describe la estructura atómica y nuclear a partir de su composición en quarks y electrones, empleando el vocabulario específico de la física de quarks.
- Caracteriza algunas partículas fundamentales de especial interés, como los neutrinos y el bosón de Higgs, a partir de los procesos en los que se presentan.
- Relaciona las propiedades de la materia y antimateria con la teoría del Big Bang.
- Explica la teoría del Big Bang y discute las evidencias experimentales en las que se apoya, como son la radiación de fondo y el efecto Doppler relativista.
- Presenta una cronología del universo en función de la temperatura y de las partículas que lo formaban en cada periodo, discutiendo la asimetría entre materia y antimateria.
- Realiza y defiende un estudio sobre las fronteras de la física del siglo XXI.

Dice-Shaking as an Analogy for Radioactive Decay and First-Order Kinetics

Emeric Schultz

Department of Chemistry, Bloomsburg University, Bloomsburg, PA 17815

A very simple and easily understood experiment involving dice-shaking can be used as an analogy for radioactive decay. This exercise not only works as a qualitative analogy of the concept of nuclear transmutation, but can also be extended to describe the mathematical description of the process of first-order radioactive decay. This exercise can easily be coupled to the determination of the half-life of a radioactive isotope, ^{137}Ba , and both exercises can be accomplished in one 3-hour laboratory period.

Description of the Analogy and the Experiment

Different sided dice (4, 6, 8, 10, 12, and 20 faces) can be obtained from most novelty stores (Fig. 1). (I will use the plural form, dice, throughout even though the singular form of dice is die.)

The analogy can most easily be understood by comparing what can be expected if two sets of dice with different numbers of faces (6 vs. 12, for instance) are shaken. I usually do this as a demonstration dialog as a way of introducing the experiment. The following question is posed: "If I pick an arbitrary number, start shaking the dice, and remove any dice that come up with the selected number, which set of dice will I finish shaking first?" There is universal agreement that, on the average, fewer shakes will be required for the set of dice having fewer faces. It must, however, be established that once in awhile when this game is played sets of dice with more faces may "prevail" (this type of event of course will occur during experimentation and must be rationalized). It is also important for students to recognize that essentially the same result should be obtained from playing the game once with 100 dice as from playing the game ten times with 10 dice.

The concept of half-life is introduced in the context of the dice-shaking experiment. The half-life is defined as the number of shakes required to reduce the number of dice that you have at any given time by half. The only problem here is that there is recognition of the fact that for small sets of dice this number would vary greatly. However for large sets, the "half-life" should be about the same. The analogy to nuclear transformation can now follow. The level and extent of the explanation will depend upon the student clientele in the lab, but will have the following essentials. Unstable nuclei are like dice in that when a certain "arrangement" (number) occurs, then the nucleus will change, radiation will be produced and that particular nucleus will no longer be in the "game". It is important to emphasize that one can predict neither which individual dice will have its number come up, nor which nucleus in a collection of nuclei will decay at any given moment. It follows that the set of 4-sided dice would represent a type of isotope that is fairly unstable (1 of the 4 "states" is unstable), whereas the set of 20-sided dice would represent an isotope that is not as unstable (only 1 of 20 "states" is unstable). The idea of half-life is now applied here: what is the time required for the number of nuclei present at any given time to be re-



Figure 1. Four-, 6-, 8-, 10-, 12-, and 20-sided dice. All dice show the number 4 having been shaken.

duced by half?

Mechanics of the Experiment

The experiment consists of two parts. For the determination of the half-life of ^{137}Ba , the Nucleus Minicounter is used. The other part involves shaking dice. The actual time spent in experimentation is rather limited. It is best if students work in pairs and interchange the roles of experimenter and recorder. Student pairs rotate between tasks on the basis of availability. A certain cooperation sets in after awhile, particularly as students seek out the higher-order dice (which in this experiment are the limiting reagent to completion).

The determination of the half-life of ^{137}Ba is a standard experiment in many general chemistry laboratories. This experiment has been described elsewhere (1). A brief description of the salient points is as follows. First, the level of background radiation over a 5-min interval is determined and is recorded on a data sheet (or in a lab notebook). A sample of ^{137}Ba is generated using a cow, and the amount of radiation in each 0.5-min interval is determined and recorded. Then the background radiation per 0.5 min is subtracted from each experimental value. The final experimental values to be plotted are total elapsed time (x) vs. corrected counts per each successive 0.5 minute interval (y).

The dice-shaking is freeform. The rules of this "experimental game" are very straightforward:

1. Obtain a set of six dice of a certain type (4-, 6-, 8-, 10-, 12-, or 20-faced) and a data sheet.
2. Pick any number that could come up on a certain set of dice and record this number and the type of dice on the sheet. (The data sheet has columns of numbers running from 1 to [1]0, repeated 4 times per column; there are 4 columns per data sheet. In this way the same data sheet can be used for any set of dice.)
3. Start shaking the dice.
4. If the selected number "comes up" on any of the dice, an X (or X's) is placed next to the number representing the shake that has been taken and these dice are removed from play; otherwise a check mark is made indicating that a shaking event has occurred.
5. The remaining dice are shaken until the selected number has come up on all the dice.
6. The experiment is repeated three more times with

this set, and then the same experiment is repeated with a different set of dice. For a class of 20, the total number of each type of dice shaken is 240 (10 groups \times 6 dice \times 4 trials).

Data Treatment

The numbers from the radioactivity component of the experiment are already in spreadsheet form. They can be entered into a spreadsheet program in a computer and a graphical output is obtained within minutes. For the sake of normalization and comparison to other sets of data it is useful to convert the counts per 0.5-min interval values to a fractional basis (fraction unconverted).

The numbers from the shaking component will work only if a sizable set of data is available. Therefore data must be pooled. In effect the alternative statistical scenario of shaking 240 dice in one experiment (vs. 6 dice in 40 experiments) is presented. Students can enter their data into a computer as these are obtained and the combined data can be periodically updated. The pooled raw data are converted to the form of dice still in play vs. shaking events. In this case also it is useful to normalize the value for dice still in play to a fractional value for comparison purposes.

Typical results for the shaking experiment with 4-, 8-, and 12-sided dice are shown in Figure 2. There is a very nice reinforcement of the intuitive idea that it will take longer to finish the experiment with the dice that have more sides. From the obvious difference in the pitch of the curves, it follows that the 'half-life' will increase as the number of sides increases. In a bit of serendipity it is found that the 'decay curve' for the 4-sided dice and that of ^{137}Ba essentially overlap (Fig. 3). The half-life of 4-sided dice (2.7, in number of shakes) is within experimental error of the half-life of ^{137}Ba (2.6, in minutes). For the more concrete thinker, this happenstance acts as powerful reinforcement of the idea that dice-shaking and radioactive decay obey the same type of physical laws.

Analysis and Application

In the most recent offering of this experiment, the use of the graphing calculator was also introduced. These calculators have the capacity to give a function that describes a certain set of data that has been entered into the calculator. Alternatively, certain function classes can be tested to see if a fit with the data is obtained. The same result can be obtained by using certain spreadsheet programs that are capable of giving best fits to a set of data and specifying the equation of the best fit. There is a very nice fit between the experimental results, the best fit for a logarithmic function, and the curve that would be obtained from a pure loga-

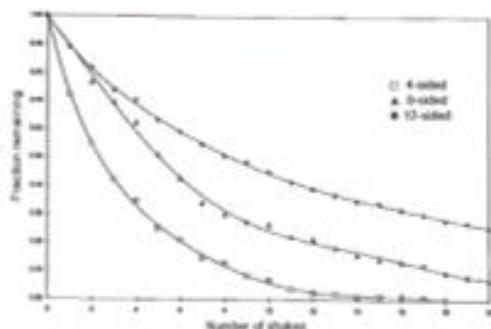


Figure 2. Decay curves for 4-, 8-, and 12-sided dice.

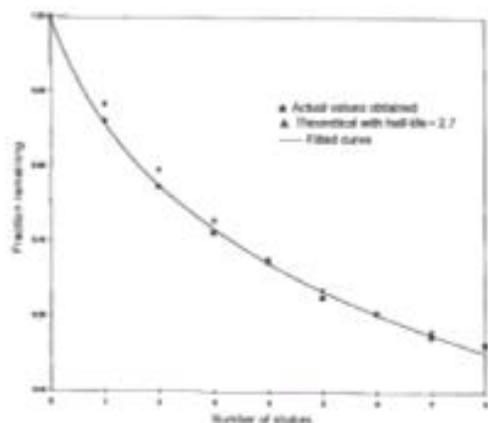


Figure 4. Comparison of actual values obtained, computer-fitted logarithmic curve, and theoretical curve for the experiment of shaking 4-sided dice. Theoretical curve obtained by specifying the rate constant obtained from a half-life of 2.7 shakes.

arithmic function. Typical results for the experiment with 4-sided dice, in which a half-life of 2.7 shakes is specified, are shown in Figure 4.

This experiment has been done with the following audiences: science-oriented minority high school students, general chemistry students, honors freshman (mostly non-science), and 'remedial' science students. Graphing is a central component of this experiment; it is a vital skill that my experience has told me is a serious weakness in current students that has to be addressed forcefully. The focus in all cases is the concept that radioactivity is a phenomenon that obeys the laws of probability and that nothing in the power of the experimenter can change this. The experiment is highly adaptable and the level of mathematics can be adjusted to the audience being addressed.

Two subtle differences that more perceptive students may pick up on need to be mentioned. In the dice experiment the total number of dice that are in play are being looked at. In the radioactive decay, the number of decays during a given interval of the total amount that are potentially radioactive are being looked at. Secondly, someone familiar with statistics recognizes that true probability is not being measured in the case of the dice-shaking experiment. The situation is one that is better described by conditional probability. The problem is that only those dice that have a potential to 'decay' are left in play; the decayed dice are removed. A truer analogy would be if the decayed dice were

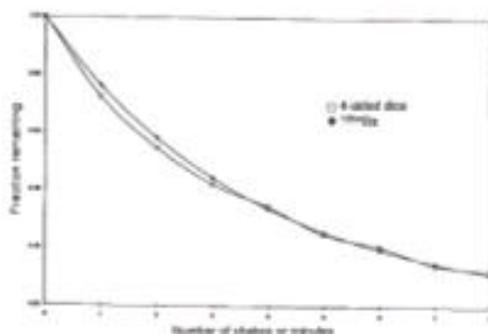


Figure 3. Decay curves for 4-sided dice and ^{137}Ba .

labeled with a sticker and then put back into play. Only after the last of the unlabeled dice has been converted would the experiment be concluded. This approach could easily be adopted for certain audiences whereas the 'simplified approach' would suffice for others.

Conclusion

The dice-shaking analogy, in addition to establishing an intuitive view of the concepts of radioactivity and half-life, provides a natural connection to the mathematical formalism and graphical treatment that describes radioactive decay. The connection to generalized first-order kinetics is just as simple. The rate of the reaction will depend upon the total concentration of reactant (dice) and the rate constant for the process (reactivity). This reactivity in dice terms could be stated as the frequency of attaining the transition state and/or the necessary activation energy. Four-

sided dice would have a higher frequency than 20-sided dice. By varying the number of dice, it could easily be demonstrated that the reactivity (rate constant) is independent of the number of dice (concentration). This analogy of first order kinetics is similar to a games approach reported by Hirsch that models kinetics and mechanism using colored balls (2).

Probability and statistics are important ideas in chemistry, especially in quantum mechanics and entropy. The dice-shaking analogy provides a rough early intuitive appreciation of these ideas in the context of a physical process (radioactive decay) in which the connection is not only direct and easily comprehensible, but also fun.

Literature Cited

1. Hughes, E. Jr. *J. Chem. Educ.* **1991**, *68*, A41.
2. Hirsch, G. *J. Chem. Educ.* **1984**, *61*, 1039.

Anexo III: Analogía: Resultados

Tabla 1. Resultados del juego con dados de 4 caras

Nº tirada	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª	16ª	17ª	18ª	19ª	20ª	21ª	22ª
0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1	5	4	5	5	6	4	6	4	5	6	5	6	4	6	6	5	3	5	6	5	5	5
2	4	4	3	4	6	3	6	3	5	6	3	6	4	6	6	3	2	5	6	3	5	3
3	1	3	2	3	4	2	4	1	3	5	3	4	3	4	5	3	2	4	5	3	3	3
4	1	3	1	3	3	1	4	1	3	4	2	3	2	4	3	3	2	3	4	2	3	2
5	1	3	1	3	2	1	4	1	3	4	1	3	1	3	3	3	2	2	3	2	3	2
6	1	3	0	3	2	1	3	1	3	4	1	2	0	3	1	1	1	2	3	2	2	1
7	1	3		1	2	1	2	1	3	3	1	2		3	1	0	1	2	3	2	2	1
8	0	3		1	1	1	2	1	3	2	0	2		2	1		0	1	1	2	2	1
9		2		1	1	1	1	1	2	2		2		2	1			1	1	1	2	0
10		2		1	1	1	1	0	0	2		1		0	1			1	1	1	2	
11		2		1	0	1	0			2		0			1			1	1	1	0	
12		1		1		1				2					1			0	1	1		
13		1		1		1				2					1				0	1		
14		0		1		1				2					1					1		
15				0		1				2					0					0		
16						1				1												
17						0				1												
18										1												
19										1												
20										1												
21										1												
22										1												
23										0												

Tabla 1. Resultados del juego con dados de 4 caras (continuación)

Nº tirada	23ª	24ª	25ª	26ª	27ª	28ª	29ª	30ª	31ª	32ª	33ª	34ª	35ª	36ª	37ª	38ª	39ª	40ª	Fracción permanente.
0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	1,000
1	5	5	5	6	5	5	5	4	5	6	4	5	5	6	6	6	5	3	0,842
2	4	5	3	5	3	5	3	2	3	4	4	5	4	5	5	4	3	3	0,692
3	3	4	2	5	2	3	3	2	3	3	3	5	2	4	3	3	2	3	0,521
4	3	4	2	4	1	1	2	2	2	2	3	4	1	4	3	2	2	3	0,425
5	2	3	2	3	1	0	1	2	1	1	3	4	1	4	3	2	1	3	0,367
6	1	3	1	1	1		1	2	1	1	3	3	1	4	2	1	1	2	0,288
7	1	2	1	1	1		0	2	0	1	3	2	1	3	1	1	1	2	0,242
8	1	1	0	0	0			1		0	3	2	1	2	1	0	1	2	0,171
9	0	0						1			3	2	1	2	1		1	2	0,142
10								0			2	1	1	2	1		0	1	0,096
11											2	0	1	2	1			1	0,071
12											2		0	2	1			1	0,058
13											2			2	0			1	0,050
14											2			1				1	0,042
15											1			0				1	0,021
16											1							1	0,017
17											0							1	0,008
18																		1	0,008
19																		1	0,008
20																		1	0,008
21																		0	0,004
22																			0,004
23																			0,000

Tabla 2. Resultados del juego con dados de 6 caras

Nº tirada	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª	13ª	14ª	15ª	16ª	17ª	18ª	19ª	20ª	21ª	22ª
0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
1	6	3	6	5	4	4	6	6	5	4	6	5	6	5	6	4	3	5	5	6	4	4
2	5	3	6	5	3	2	5	5	4	4	5	4	6	5	5	2	2	5	4	5	4	3
3	5	2	3	3	3	2	4	5	4	4	5	3	4	5	4	2	2	4	3	4	4	3
4	5	1	2	3	3	2	2	4	3	4	4	2	3	5	4	1	2	4	3	3	3	3
5	5	1	2	2	3	2	1	3	2	3	4	2	3	4	4	1	2	3	3	3	3	3
6	3	1	2	2	3	0	1	3	1	3	4	2	2	4	4	1	2	3	2	1	2	2
7	3	1	2	1	3		1	2	1	3	4	2	2	3	3	1	1	2	1	0	2	0
8	3	1	2	1	3		1	2	1	3	3	2	1	2	2	1	1	2	1		2	
9	3	1	2	0	3		1	2	1	2	3	2	1	2	1	1	1	2	1		1	
10	3	1	2		3		1	2	1	2	3	2	0	2	1	1	1	1	1		1	
11	2	0	1		3		1	2	1	2	2	2		1	1	0	1	0	1		1	
12	2		1		2		1	2	0	2	2	1		1	1		0		1		1	
13	1		1		2		1	2		2	2	0		1	1				1		1	
14	1		1		2		1	2		2	1			1	1				1		1	
15	0		1		2		1	1		2	0			1	1				1		1	
16			1		2		1	1		2				1	0				1		1	
17			1		2		1	1		2				0					0		1	
18			1		2		1	1		2											1	
19			1		1		1	1		2											1	
20			1		1		1	1		2											1	
21			1		0		1	1		2											1	
22			1				1	1		2											0	
23			1				1	1		1												
24			1				1	1		1												
25			1				1	1		1												
26			1				0	1		1												
27			1					1		1												
28			1					1		1												
29			1					1		1												
30			1					1		1												
31			1					1		0												
32			0					1														
33								1														
34								1														
35								1														
36								1														
37								1														
38								1														
39								1														
40								0														

Tabla 2. Resultados del juego con dados de 6 caras (continuación)

Nº tirada	23ª	24ª	25ª	26ª	27ª	28ª	29ª	30ª	31ª	32ª	33ª	34ª	35ª	36ª	37ª	38ª	39ª	40ª	Fracción permanente.
0	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	1,000
1	6	6	4	4	5	6	6	4	4	6	5	5	6	5	5	5	6	6	0,842
2	6	6	4	4	4	5	5	3	2	4	5	4	5	4	5	3	4	6	0,713
3	6	6	4	2	3	4	5	2	2	3	5	4	5	4	4	3	3	4	0,613
4	5	5	3	2	3	3	4	2	2	2	4	2	4	3	4	3	3	4	0,517
5	5	4	3	1	2	2	4	1	2	2	4	1	2	3	3	3	2	4	0,446
6	5	3	2	1	2	1	3	1	1	2	4	1	2	3	3	3	1	3	0,371
7	5	3	1	1	2	1	2	0	1	2	4	1	2	2	3	2	1	3	0,308
8	3	2	0	1	0	1	1		1	1	3	1	1	2	3	2	1	3	0,250
9	2	2		1		1	1		1	0	2	1	1	2	2	1	1	3	0,213
10	1	2		1		1	1		1		1	1	1	2	1	1	1	2	0,188
11	1	2		1		0	1		1		1	1	1	2	1	0	1	1	0,146
12	1	2		1			1		1		1	1	0	2	1		1	1	0,125
13	1	1		0			1		1		1	1		1	1		1	1	0,104
14	1	1					0		1		1	0		1	1		1	1	0,092
15	1	1							1		1			0	1		1	1	0,075
16	1	1							0		1				1		1	0	0,063
17	0	1									1				1		1		0,050
18		1									1				1		1		0,050
19		0									1				1		1		0,042
20											1				1		1		0,042
21											1				1		1		0,038
22											1				1		1		0,033
23											1				1		0		0,025
24											1				1				0,025
25											1				1				0,025
26											1				1				0,021
27											1				0				0,017
28											1								0,017
29											1								0,017
30											0								0,013
31																			0,008
32																			0,004
33																			0,004
34																			0,004
35																			0,004
36																			0,004
37																			0,004
38																			0,004
39																			0,004
40																			0,000

Anexo IV: Instrucciones para el alumno

Analogía para la desintegración radiactiva de un isótopo

La actividad que se propone es el desarrollo de una analogía que te permitirá entender la desintegración radiactiva de un isótopo como un proceso que ocurre al azar, la ley de desintegración radiactiva y el periodo de semidesintegración.

Para ello, has de seguir los siguientes pasos:

- 1º) Forma un equipo de dos personas (una pareja) con otro compañero de clase.
- 2º) El profesor os proporcionará a cada pareja dos conjuntos de dados: uno de ellos consta de 6 dados de 6 caras y el otro, de 6 dados de 4 caras.
- 3º) Entre los dos compañeros de la pareja tenéis que elegir un número que se encuentre en el dado. Anotadlo en una celda de la hoja de cálculo (si se dispone de ella) o en un folio.
- 4º) Escoged uno de los dos conjuntos de dados que os ha proporcionado vuestro profesor y anotadlo al igual que el número elegido.
- 5º) Ahora trabajaréis con ese conjunto de dados. Un miembro de la pareja agitará los 6 dados a la vez y los dejará caer sobre la mesa. Aquellos dados en los que haya salido el número elegido se retirarán del juego.
- 6º) Los dados restantes (en los que no haya salido el número elegido) se vuelven a agitar y se dejan caer sobre la mesa. Los dados en los que salga ese número se retiran y así hasta quedaros sin ninguno de los 6 dados. Tenéis que ir anotando cuántos dados permanecen en el juego en cada tirada que hagáis. La tabla que tenéis que elaborar para poder ir anotando los resultados de las tiradas será del tipo a la que se muestra a continuación:

Número elegido:				
Conjunto de dados:				
Nº de tirada	Dados que permanecen en el juego			
	1ª exp	2ª exp	3ª exp	4ª exp
1				
2				
3				
4				
...				

7º) Repetid con ese mismo conjunto de dados otras tres veces y anotad los resultados (entre los dos os podéis turnar para agitar los dados).

8º) Repetid los pasos 4º hasta 7º con el otro conjunto de dados.

9º) Representad en una gráfica la fracción de dados que permanecen en el juego frente al número de tirada. Lo tenéis que hacer con ambos conjuntos de dados y juntando vuestros resultados con los de vuestros compañeros (el profesor os indicará cómo lo tendréis que hacer).

Anexo V: Encuesta de opinión

Encuesta de opinión sobre la analogía de la desintegración radiactiva de un isótopo y el uso general de analogías

Esta encuesta es completamente anónima. Has de marcar la casilla que más se ajuste a tu opinión:

	Totalmente de acuerdo	Parcialmente de acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	Parcialmente en desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
La analogía me ha ayudado a entender que la desintegración radiactiva es un proceso que ocurre al azar					
He conseguido aclarar conceptos como la ley de desintegración y el periodo de semidesintegración					
He comprendido a través de la analogía que la desintegración radiactiva tiene una cinética de primer orden					
Me ha gustado que la analogía incluyera el uso de las TICs					
He sido capaz de ver la relación entre el análogo y el nuevo concepto					
Me ha gustado que la analogía se haya realizado en grupo					
Considero que la analogía se ha ajustado correctamente al nivel de la clase					
El trabajo realizado por el profesor me ha ayudado a entender la analogía					
Me gustaría que durante el curso se trabajara con más analogías					
Creo que las analogías me pueden ayudar a entender conceptos difíciles					

- Indica los aspectos de la analogía que más te han gustado.
- Indica los aspectos de la analogía que menos te han gustado.
- Escribe qué cambiarías en la analogía (planteamiento y desarrollo de la misma, función del profesor...).

Muchas gracias por tu colaboración