

La función exponencial planta cara a la homeopatía

Ana Granados Sanandrés
Ana Portilla Ferreira

SUMA+ núm. 93
pp. 19-28

Artículo recibido en *Suma* en agosto de 2018 y aceptado en junio de 2019

En este trabajo se proponen un taller y un mini proyecto que conectan la función exponencial y la probabilidad elemental con un tema de actualidad: la homeopatía. Aunque es este un asunto que suscita frecuentes debates en los medios de comunicación no genera tal polémica en la comunidad científica, en la que existe amplio consenso al respecto. Se fomenta el desarrollo de lectura crítica de internet y la argumentación basada en evidencia científica. Proponemos una secuencia detallada de desarrollo del proyecto, así como posibles acciones interdisciplinarias con otras materias.

Palabras clave: Función exponencial, Probabilidad, Proporciones, Modelo matemático.

La propuesta descrita a continuación ha sido realizada en forma de taller en varias ocasiones dentro del marco de la Semana de la Ciencia. Se ha ofrecido a grupos de 25-30 estudiantes de un mismo curso de 4.º de ESO o Bachillerato de centros públicos y privados con una duración en torno a las 2 horas. Nos gustaría enfatizar que no había ningún tipo de selección previa del alumnado que asistía a los talleres y que cada centro traía a un grupo completo. Pensamos que este trabajo se puede integrar en la programación

Exponential function faces homeopathy // In the present work the authors propose a workshop and a mini-project connecting the exponential function and elementary probability with a topical issue highly debated in the media (although there is a consensus in the scientific community, as it will be shown): homeopathy. Critical internet reading and argumentation based on scientific evidence are encouraged. The authors propose a detailed sequence to carry the workshop on, as well as possible interdisciplinary extensions with other subjects.

Keywords: Exponential function, Probability, Proportions, Mathematical model.

de aula a pesar de que nosotras solo lo hemos llevado a cabo en otro contexto.

Si se consideran sesiones de 50 minutos, esta actividad puede ser planteada de tres maneras: como taller de dos sesiones de duración; como mini proyecto matemático de 4-6 sesiones; o como un mini proyecto interdisciplinar de mayor recorrido. Está dirigido a un alumnado de 4.º de ESO o de 1.º de Bachillerato.

En este trabajo se pone de manifiesto de qué manera saber matemáticas nos convierte en ciudadanos más críticos y, por tanto, más libres y menos manipulables. Nuestro objetivo es mostrar que las matemáticas que el alumnado estudia en estos cursos les proporcionan la suficiente competencia para poder argumentar con autoridad en muchos frentes, en particular sobre la homeopatía (y otras pseudociencias). En este caso, como en otros, es imprescindible tener criterio científico para evitar ser manipulado (ARP-SAPC, s.f.).

A continuación, describimos en detalle una posible secuencia de actividades tal y como se lleva a cabo en el contexto de una Semana de la Ciencia. Para ejecutarlo como mini proyecto, serán necesarias algunas adaptaciones y dejamos a criterio del docente qué parte se realiza como sesión expositiva y qué parte se propone como trabajo de investigación.

Usualmente comenzamos con una breve introducción histórica para contextualizar el origen de la homeopatía que, lejos de ser una práctica milenaria, nació hace poco más de 200 años. Esta pseudociencia surgió cuando un médico alemán, Samuel Hahnemann, leyó en una obra de William Cullen que la medicina precolombina de la época del Virreinato del Perú utilizaba la corteza del árbol del quino para combatir la malaria (Angulo, 2017). Sin embargo, lo que más le llamó la atención es que algunas personas que ingerían accidentalmente quinina sufrían síntomas parecidos a los de la enfermedad. Decidió comprobar en sí mismo la veracidad de esta teoría, y para ello se administró una cantidad significativa de quinina durante cierto tiempo. Su hipótesis pareció confirmarse cuando comenzó a padecer síntomas similares a los de la malaria, según su expectativa. Quizá el hecho de que supiera de antemano lo que esperaba que ocurriera, condicionó de alguna manera el resultado del experimento¹. A partir de un caso particular enunció la ley general que se convirtió en el primer principio de la homeopatía: *Similia similibus curantur* (lo similar cura lo similar). Es decir, que si una sustancia (en lenguaje homeopático, *tintura madre*) produce en una persona sana los mismos síntomas que una determinada enfermedad, entonces esa sustancia también curará dicha dolencia. Por ejemplo,

puesto que la cafeína quita el sueño, según este principio también servirá para tratar el insomnio².

El segundo principio de la homeopatía, el de *Infinitiesimalidad*, no tiene un origen tan claro, y establece que cuanto más diluida se encuentre la tintura madre, más efectiva resultará. Contrariamente a la creencia popular, la homeopatía y la fitoterapia no solo no son lo mismo, sino que en homeopatía se consideran más efectivas las tinturas madre de origen mineral³.

Esta práctica resultó revolucionaria a finales del siglo XVIII. La medicina de la época era realmente agresiva y los tratamientos más frecuentes consistían en realizar sangrías, vómitos y lavativas. Hasta finales del siglo XIX, cuando Koch enunció sus famosos postulados (Fuentes, 2007) no se conocía apenas nada de la relación entre microorganismos y enfermedades. Tampoco existía el concepto de asepsia. La recién nacida homeopatía, en cambio, era mucho más amable con el paciente. Sin embargo, doscientos años después, sus principios siguen igualmente vigentes e intocables según sus seguidores. ¿Tiene esto sentido a la vista de las frecuentes revisiones a las que se somete la ciencia moderna?

Metodología: gestión de las sesiones

El esquema de diseño propuesto se apoya en un aprendizaje basado en resolución de problemas. La cuestión por resolver consiste en determinar si la homeopatía tiene o no base científica (*spoiler*: no). El esquema de actuación básico es un trabajo que enriquece a la vez conocimiento y razonamiento crítico-matemático.

Entre las actividades propuestas se encuentran la elaboración de un modelo matemático, el uso de material manipulativo, el desarrollo de lectura crítica de internet y la argumentación basada en evidencia científica (Villatoro, 2018), (Frías, 2013).

En lo que sigue, consideramos dos subsecciones que se aplican según se haya decidido plantear el trabajo bien como un taller de dos sesiones, bien como un

mini proyecto con una duración de cuatro a seis sesiones. Como se dijo al principio, el mini proyecto puede extenderse interdisciplinariamente a otras materias de forma muy natural, convirtiendo el problema en una tarea mucho más interesante (estas sugerencias de ampliación se marcarán con [T] o se mencionarán en el anexo).

En cualquiera de los formatos elegidos, el primer paso consiste en la formación de grupos de trabajo que, a su vez, deben designar un coordinador. Este actuará, además, como intermediario entre el docente y el grupo.

Para facilitar la lectura, se procede a dar un guion en el que se secuencian las actividades por orden cronológico.

TALLER DE DOS SESIONES

Actividad 1

En la primera sesión los grupos de trabajo comienzan discutiendo de manera informal qué es lo que entienden por método científico y cuáles creen que son las diferencias entre ciencia y pseudociencia. A continuación, cada grupo acaba clasificando la homeopatía (según su criterio personal) dentro de una de estas dos categorías. Finalmente, se pide a cada grupo que consulte fuentes fiables para responder a estas mismas preguntas y que compare las conclusiones a las que han llegado en ambos casos. El docente guía la discusión y hace una recapitulación final. Queda a criterio del docente si se prepara un documento que guíe la discusión.

Actividad 2

El docente inicia el trabajo exponiendo la técnica de preparación de un producto homeopático (Sanz, 2010) y solicita la colaboración de un par de alumnos voluntarios que deben ir poniendo en práctica sus explicaciones. Para la realización de esta tarea el material necesario para todo el alumnado es el siguiente: 1 litro de agua, 10 ml (aproximadamente) de agua fuertemente teñida con colorante alimentario, 2 pipetas, de 6 a 10 vasos de precipitado de 100 ml cada uno, 3 o 4 terrones de azúcar y un aerosol vacío.

El proceso de elaboración es iterativo, y cada iteración consiste en dos fases: *dilución* y *sucusión*, según la terminología homeopática. Así, en la primera iteración se diluye 1 ml de tintura madre (en nuestro caso, el agua teñida) en 99 ml de agua (fase de dilución) y a continuación se agita vigorosamente la mezcla anterior (fase de sucusión). Después de este proceso se obtiene lo que se conoce como un preparado 1 CH⁴. En la segunda iteración se repiten las dos fases, tomando ahora como tintura madre el preparado 1 CH; es decir, se diluye 1 ml de 1 CH en 99 ml de agua y se obtiene un producto 2 CH. De esta manera, para conseguir un preparado n CH habrá que iterar el proceso un total de n veces. El último paso consiste en pulverizar la dilución obtenida sobre gránulos de sacarosa o lactosa (en nuestro caso, azúcar) mediante un aerosol. Aunque se pueden encontrar otras presentaciones de preparados, esta es la más usual.

Actividad 3

En este momento, la homeopatía queda aparcada temporalmente para presentar otras situaciones reales que serán modelizadas por funciones exponenciales. ¿Por qué proponemos hacerlo así? Para introducir la función exponencial buscamos un ejemplo que sea motivador y suficientemente sencillo para ellos. Los clásicos como la reproducción de bacterias, aunque sencillos, no suscitan especial interés. Sustituir las bacterias por el doblado de papel, nos permite visualizar el crecimiento de la función exponencial en el aula. Pero el doblado de papel, sin más, no nos parece suficientemente atractivo. La homeopatía, en cambio, es un tema de actualidad que aparece constantemente en los medios de comunicación, y ante el que creemos que es interesante que tengan una opinión crítica con base científica.

Comenzamos con el ejemplo del doblado de papel:

¿Cuántas veces es posible doblar un folio por la mitad?

Una vez que el alumnado ha comprobado empíricamente que es imposible hacerlo más de 6 o 7 veces, se les pide que observen el grosor que ha adquirido el papel tras esta manipulación.

Paso	N.º capas del 1.º montón	Grosor (mm) del 1.º montón	N.º capas del 2.º montón	Grosor (mm) del 2.º montón
1	2	$0,1 \cdot 2 = 0,2$	2	$0,1 \cdot 2 = 0,2$
2	$2 \cdot 2 = 2^2 = 4$	$0,1 \cdot 4 = 0,4$	$2 + 2 = 2 \cdot 2 = 4$	$0,1 \cdot 4 = 0,4$
3	$4 \cdot 2 = 2^3 = 8$	0,8	$4 + 2 = 2 \cdot 3 = 6$	0,6
...				
7	$2^7 = 128$	12,8	14	1,4
...				
10	$2^{10} = 1\,024$	102,4	20	2,0
...				
n	2^n	$0,1 \cdot 2^n$	$2n$	$0,1 \cdot 2n$

Tabla 1. Cálculo de los grosores de los montones

Hagamos ahora las cuentas en el cuaderno. Para ello, vamos a comparar el grosor de dos hipotéticos montones de papel contruidos por etapas. Para el primer montón partimos de un folio de longitud arbitrariamente larga que admitiría ser doblarlo por la mitad tantas veces como se quisiera; para la segunda pila de papel, disponemos de tantos folios como se necesiten, y en cada etapa iremos añadiendo un par al montón, partiendo de cero. De esta forma estamos comparando el crecimiento de la función exponencial de base 2 con el de la función lineal de pendiente 2. Se podría, por ejemplo, pedir al alumnado que rellenase la tabla 1. Para ello, lo primero que se tiene que hacer es averiguar el grosor de un folio. Podría hacerse midiendo un paquete de 500 y completando el cálculo con una regla de tres (el resultado es, aproximadamente 0,1 mm).

Comparando las dos columnas sombreadas, se observa la diferencia de crecimiento entre ambos tipos de funciones.

Una vez hechas las cuentas en papel, procedemos a trabajar la intuición de crecimiento exponencial. Para ello, el docente propone varios ejercicios concretos que el alumnado discute mediante una dinámica grupal. A modo de ejemplo:

¿Qué altura tendría un folio doblado 20 veces?

- La misma que Pau Gasol.
- Igual que un edificio de tres plantas.
- Tanto como la Giralda de Sevilla.

Actividad 4

El docente plantea ejemplos similares para al de la anterior actividad plegando el papel 30, 45, 54... veces. El objetivo es que, con estos ejemplos en mente, el alumnado tome conciencia real de que la función exponencial crece mucho más deprisa de lo que la intuición indica.

En estas cuestiones se ha usado una función exponencial de base 2. A partir de este momento se retoma el problema inicial de la homeopatía y el docente guía al alumnado para deducir cuál es la base de la función exponencial que modeliza la fase de dilución de un preparado homeopático. Esta reflexión dará pie para hablar del decrecimiento exponencial.

Actividad 5

Retomamos el hilo de la homeopatía con el objetivo de averiguar qué proporción de tintura madre queda presente en preparados homeopáticos n CH para distintos valores de n . También se anima al alumnado a buscar ejemplos que permitan entender cómo de pequeños son estos números. El objetivo no es encontrar el valor numérico exacto, sino una solución aproximada que permita traducir a contextos cotidianos el significado de cifras muy grandes o pequeñas (para profundizar más en el tema, véase por ejemplo Paulo (1990)).

A continuación, proponemos dos ejemplos que se pueden tomar como guía.

Ejemplo 1

¿Qué volumen de agua se necesita para que un preparado tipo 5CH contenga una cantidad de tintura madre equivalente a una cucharadita de las de café?

Una posible solución son 8 piscinas olímpicas.

Podría argumentarse así: una cucharadita de las de café contiene, aproximadamente, 2 ml. En un preparado 5CH hay una parte de tintura por cada 10^{10} partes de agua. Esto equivale a decir que, en este preparado, hay una cucharadita de las de café de tintura por cada 20 millones de litros. Esta cantidad, sin embargo, sigue siendo demasiado grande para intuirlo. ¿Qué tiene una capacidad similar? Por ejemplo, una piscina olímpica contiene, aproximadamente, 2500 m^3 o 2,5 millones de litros. Por lo tanto, para conseguir una cucharadita de tintura se necesitaría un volumen de agua comparable al de 8 piscinas olímpicas.

Se propone buscar una relación similar para un preparado 12CH. Una posible solución es $\frac{3}{4}$ de cucharadita de café en toda el agua de la Tierra.

Argumento: un preparado 12CH equivale a una parte de tintura por cada 10^{24} de agua, y se estima que el agua de la Tierra está en torno a $1,36 \times 10^9 \text{ km}^3$. Unos cálculos similares a los anteriores dan el resultado.

Ejemplo 2: (Basado en una idea de @JMagallonZ)

Si cada molécula de la disolución fuera una persona y cada molécula de tintura madre un médico, ¿cuál sería la ratio de habitantes/médico?

Algunas soluciones posibles son:

- a) 3CH equivale a disponer de un médico para toda la provincia de Zaragoza
- b) 5CH equivale a disponer de un médico para todo el planeta Tierra (según la población estimada existente en el año 2050)
- c) 6CH equivale a disponer de un médico por cada 142 planetas Tierra.

Argumento: según la analogía propuesta en el problema, un preparado 3CH equivaldría a disponer de un médico por cada millón de habitantes; 5CH a uno por cada diez mil millones de habitantes, etc. El alumnado deberá buscar territorios cada vez más extensos para acomodar a la población necesaria para llegar a esos números.

Antes de trabajar el ejemplo 2 tal como está planteado hace falta explicación tan sencilla y elemental como sea necesaria del concepto de molécula. Otra alternativa es la de traducir el enunciado a un problema de cálculo de proporciones: una parte de tintura madre equivale a un médico, y una parte de agua equivale a un habitante.

Actividad 6

Una vez que el alumnado ha entendido en qué consiste realmente un preparado homeopático, podemos entrar en una fase argumentativa, siempre apoyándonos en criterios científicos, concretamente matemáticos (Mulet, 2015).

Los partidarios de la homeopatía esgrimen tres argumentos fundamentales en su defensa: afirman que estos productos son baratos, inocuos y eficaces. Teniendo en cuenta que estamos en un taller de tan solo dos sesiones no hay tiempo para abordar las tres cuestiones. Por ello, se propone tan solo un análisis crítico sobre la validez de la primera de estas afirmaciones, es decir, ¿son realmente baratos? Para responder a esta pregunta se utiliza el preparado homeopático más vendido para el tratamiento (y prevención) de la alergia estacional: *Pollens* 30CH. El alumnado deberá guiarse por la posología recomendada en su prospecto (figura 1) y comparar el gasto que supone un tratamiento sintomático mediante antihistamínico genérico con respecto al de *Pollens*⁵.

Actividad 7

Finalmente, el docente programa una puesta en común en la que se recopilan todas las evidencias descritas para dar la respuesta razonada con evidencia científica a la pregunta inicial «¿Es la homeopatía una práctica científica?»

Pollens 30 CH

GLÓBULOS
MEDICAMENTO HOMEOPÁTICO

Lea todo el prospecto detenidamente porque contiene información importante para Ud. Este medicamento puede obtenerse sin receta, para el tratamiento de afecciones menores sin la intervención de un médico. No obstante, debe usted utilizar con cuidado POLLENS 30 CH para obtener los mejores resultados.

- Conserve este prospecto. Puede tener que volver a leerlo.
- Si necesita información adicional o consejo, consulte a su farmacéutico.
- Si los síntomas empeoran o persisten, debe consultar a un médico.

Las sustancias activas en cada envase unidosis de 1 gramo de glóbulos es:
Diluciones 30 CH de los siguientes pólenes:

- **Gramíneas:** Poa pratensis, Dactylis glomerata.
- **Árboles:** Pino, Tilo, Castaño, Álamo, Sauce, Olmo, Carpe, Roble, Arce, Haya, Fresno, Plátano, Aligustre, Sauco, Ciprés, Morera, Olivo y Acacia.

aa c.s.p. 0,01 ml

Los demás componentes son: sacarosa (0,85 gramos) y lactosa (0,15 gramos) por cada envase unidosis de 1 gramo.


Titular de la autorización de comercialización:
BOIRON S.I.H., s.a. - Av. Valdelaparra, nº 27 - 28108 Alcobendas - MADRID
Fabricante: BOIRON - 2 avenue de l'Ouest Lyonnais - 69510 Messimy, FRANCE

1. ¿QUÉ ES POLLENS 30 CH Y PARA QUÉ SE UTILIZA?
POLLENS 30 CH es un medicamento homeopático utilizado tradicionalmente para el tratamiento preventivo y sintomático de la hipersensibilidad a los pólenes que forman parte de su composición, rinitis alérgica, conjuntivitis alérgica y asma polínica.
POLLENS 30 CH se presenta en una caja con 6 envases unidosis de 1 gramo cada uno.

2. ANTES DE TOMAR POLLENS 30CH
Si usted está embarazada o en período de lactancia, consulte a su médico o farmacéutico antes de tomar un medicamento.
Información importante sobre alguno de sus componentes
Este medicamento contiene lactosa y sacarosa. Si su médico le ha indicado que padece una intolerancia a ciertos azúcares, consulte con él antes de tomar este medicamento.
"Informe a su médico o farmacéutico si está tomando, o ha tomado recientemente cualquier otro medicamento, incluso los adquiridos sin receta".

3. CÓMO TOMAR POLLENS 30 CH

Para extraer los tubos:



- 1- Coger una barqueta de 3 envases unidosis.
- 2- Empujar un envase unidosis desde el lado transparente hasta romper el precinto.
- 3- Sacar el envase unidosis.

El contenido entero de un un envase unidosis corresponde a una toma.
La posología varía según el momento en el que se interviene:


- **Para prevenir:** tomar un envase unidosis a la semana de febrero a octubre.
- **Desde los primeros síntomas:** tomar un envase unidosis diaria.

Vaciar directamente el contenido entero de un envase unidosis bajo la lengua manteniéndolo hasta su disolución.

Vía oral.
Absorción sublingual.
"Siga estas instrucciones a menos que su médico le haya dado otras indicaciones distintas"
"Recuerde tomar su medicamento"

Si estima que la acción de POLLENS 30 CH es demasiado fuerte o débil, comuníquese a su médico o farmacéutico.
Si los síntomas empeoran o persisten, consulte a su médico.
Si usted ha tomado POLLENS 30 CH más de lo que debe, consulte inmediatamente a su médico o a su farmacéutico.
Si olvidó tomar POLLENS 30 CH no tome una dosis doble para compensar las dosis olvidadas.

4. POSIBLES EFECTOS ADVERSOS
Como todos los medicamentos, POLLENS 30 CH puede tener efectos adversos. Si se observa cualquier reacción no descrita en este prospecto, consulte con su médico o farmacéutico.
Comunicación de efectos adversos
Si experimenta cualquier tipo de efecto adverso, consulte a su médico, farmacéutico o enfermero, incluso si se trata de posibles efectos adversos que no aparecen en este prospecto. También puede comunicarlos directamente a través del Sistema Español de Farmacovigilancia de medicamentos de Uso Humano: <https://www.notificaram.es>. Mediante la comunicación de efectos adversos usted puede contribuir a proporcionar más información sobre la seguridad de este medicamento.

5. CONSERVACIÓN DE POLLENS 30 CH
Conservar a temperatura inferior a 25° C y protegido de la humedad.
No utilizar este medicamento después de la fecha de caducidad indicada en el envase.
Los medicamentos no se deben tirar por los desagües ni a la basura. Deposite los envases y los medicamentos que no necesita en el punto  de la farmacia. En caso de duda pregunte a su farmacéutico cómo deshacerse de los envases y de los medicamentos que no necesita. De esta forma, ayudará a proteger el medio ambiente.
Mantenga este medicamento fuera del alcance y de la vista de los niños.

BOIRON

Figura 1. Prospecto del preparado *Pollens 30CH* con posología e instrucciones de uso

A la vista de todo el trabajo realizado a lo largo del desarrollo de las actividades del taller, parece natural discutir sobre si el alumnado piensa tomar alguna medida al respecto en su vida cotidiana y en la de sus allegados.

MINI PROYECTO O PROYECTO INTERDISCIPLINAR

Actividad 1

Se desarrolla según se ha descrito en la sección anterior.

Actividad 2

El docente se reúne con los alumnos coordinadores de los grupos y realiza con ellos la práctica descrita en detalle en la sección anterior. El objetivo es prepararlos para que sean los alumnos coordinadores los que la lleven a cabo la práctico en el aula con sus respectivos grupos de trabajo. El material necesario para cada grupo es el mismo que el descrito anteriormente.

Actividad 3

Esta actividad también se desarrolla según lo descrito en la sección anterior.

Actividad 4

Cada grupo de trabajo elabora sus propios ejemplos para el plegado del folio 30, 45, 54... veces, proporcionando referencias a las fuentes utilizadas. La idea es que cada grupo comparta su trabajo con los demás, bien a través de una exposición del coordinador, bien mediante la elaboración de un *kahoot*, etc.

El objetivo sigue siendo encontrar la base de la función exponencial que modeliza la elaboración de los preparados homeopáticos, pero en esta ocasión, la discusión se realiza primero a nivel de grupo.

[T] Se puede relacionar también la función exponencial con otro tema de actualidad: la autorización para la comercialización directa de leche cruda de

vaca en Cataluña, recogida en el Decreto 163/2018, de 17 de julio (DOGC de 19 de julio de 2018) <<http://laadministracionaldia.inap.es/noticia.asp?id=1179287>>.

Según explica Del Caño (2018), la temperatura de conservación de la leche cruda debe oscilar entre 1° y 4° y debe consumirse en un plazo máximo de 48 horas desde su compra (ver el artículo referido para conocer el detalle del complejo proceso de esterilización que debe realizar el consumidor en casa). Las neveras domésticas suelen enfriar a temperaturas comprendidas entre 2° y 8° y se estima que el número de algunas de las bacterias presentes en esta leche se duplica cada 20 minutos. Así que, si en un litro de leche hay inicialmente un número N de tales bacterias, ¿cuántas habría a las 12 horas? ¿Y a las 24? ¿Y en el límite de consumo, a las 48? Se puede investigar cuál es la concentración usual en una leche recién ordeñada y cuál es la cantidad tolerable no patológica.

Actividad 5

Igual que está descrita en la sección anterior, pero cada grupo elabora sus propias soluciones a los ejercicios propuestos, y después las comparte con el resto de la clase. De nuevo, la puesta en común queda a criterio del docente (exposición, *kahoot*, etc.)

[T] Antes de trabajar tanto el ejemplo 2 como lo que se expone a continuación, puede optarse por trabajar en profundidad los conceptos de molécula y número de Avogadro en la materia correspondiente (Quirantes, 2014).

Recordemos que el objetivo inicial es proporcionar evidencia para responder a la pregunta de si la homeopatía es o no una práctica científica. En lo anterior se ha utilizado análisis matemático y álgebra. Ahora se propone argumentar utilizando conceptos elementales de probabilidad.

Tomando uno de los productos homeopáticos más populares, *Natrum Muriaticum* 30 CH, que tiene como tintura madre *NaCl* (sal común), se propone la siguiente actividad grupal:

- a) ¿Cuántos botes de *Natrum Muriaticum* hay que comprar para asegurarse de haber tomado al menos una molécula de *NaCl*?

La solución es 10^{30} botes. (De nuevo, un número demasiado grande para ser comprendido. Por eso se proponen otras preguntas a continuación que ayuden a digerirlo).

Argumento: hay una molécula de sal por cada 10^{36} preparados, y, según se observa en el bote, cada preparado tiene 100 g. Por tanto, para garantizar la presencia de una molécula de sal, hacen falta 10^{32} toneladas.

- b) ¿Cuál es la probabilidad de ganar la lotería primitiva una vez (se entiende que se realiza una única apuesta simple)? ¿Y cinco veces seguidas?

Solución: para garantizar ganar a la primitiva una vez es necesario rellenar 13 900 000 boletos; cinco veces, (por independencia de los sucesos), requiere elevar el número anterior a la quinta, es decir, $13\,900\,000^5$ boletos.

- c) ¿Cuál es la probabilidad de encontrar una molécula de *NaCl* en un único bote?

- d) ¿Cuántas veces seguidas se tendría que ganar la lotería primitiva para igualar la probabilidad del apartado anterior?

Solución de c) y d): ambas son comparables a la de ganar 5 veces seguidas la primitiva.

Actividad 6

Se completa esta misma actividad según se ha descrito en la primera sección, pero trabajando además las preguntas que quedaron sin responder. Es decir, después de argumentar por qué no son baratos, estudiamos las afirmaciones de que son inocuos y eficaces.

[T] ¿Son inocuos? Se propone una actividad grupal donde se investigan cuáles son los principales peligros del uso de homeopatía (por ejemplo, el diagnóstico

incorrecto, la sustitución o retraso de un tratamiento médico efectivo, o el fraude al consumidor). Se puede además investigar cómo ha evolucionado la esperanza de vida gracias a la medicina moderna. O hacer una lectura crítica de internet sobre episodios graves que afectan a la salud de las personas. Véase por ejemplo:

https://elpais.com/elpais/2017/05/27/mamas_papas/1495900076_089561.html

o también:

https://amp.elespectador.com/noticias/salud/mueren-diez-ninos-estados-unidos-tras-tomar-pastillas-h-articulo-660220?_twitter_impression=true

[T] ¿Son eficaces? Lectura crítica de internet de diferentes bases de datos médicas de reconocido prestigio científico, tales como PubMed o Cochrane. Véase por ejemplo:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1874503/>

Actividad 7

La exposición por parte de cada grupo se realiza como en la primera sección.

[T] Además, las conclusiones se pueden poner por escrito en un informe científico.

A la vista del trabajo realizado, parece natural plantear a los grupos de trabajo una exposición abierta a otros cursos del centro escolar o a familias.

Conclusiones

La experiencia final va más allá de la puramente matemática. El alumnado concluye que la supuesta polémica sobre la validez científica de la homeopatía no existe dentro de la comunidad científica. Como resultado, en un alto porcentaje, la audiencia sale del taller empoderada, con la doble voluntad de transmitir lo que ha aprendido a su entorno más inmediato y también de seguir investigando por su cuenta (véase anexo).

Aunque la mayoría del alumnado conoce de antemano el hecho de que un folio se puede doblar como máximo 7 veces, el comportamiento para exponentes más grandes no deja de resultarles sorprendente. Pero, a nuestro juicio, la parte experimental con las ultradiluciones resulta especialmente relevante para afianzar un conocimiento teórico con una comprensión práctica sobre la velocidad de decrecimiento de la función exponencial.

Nuestra experiencia nos ha mostrado que el alumnado conecta rápidamente con el tema del taller y participa de manera bastante activa, enriqueciéndolo cualitativa y cuantitativamente. En particular, como público siempre muestran interés en relacionar lo que están aprendiendo sobre la homeopatía con otras materias que están cursando a la vez. De aquí surge de manera natural la interdisciplinaridad que hemos propuesto en la metodología y que exponemos en el anexo.

Como resultado, en un alto porcentaje, la audiencia sale del taller empoderada, con la doble voluntad de transmitir lo que ha aprendido a su entorno más inmediato y también de seguir investigando por su cuenta

Por un lado, es cierto que hemos contado con una motivación significativa por el hecho de que se trataba de una actividad realizada fuera del aula; pero, por otro lado, es cierto que el público acude siempre con altas expectativas a este tipo de eventos. La valoración de las respuestas ha de ser entendida teniendo ambas cosas en cuenta.

Siempre propiciamos una parte interactiva al final de las sesiones para recoger sus sugerencias y comentarios para futuras ocasiones. En ellas, con frecuencia nos comunican que les ha resultado divertido, curioso y motivador establecer una relación entre homeopatía, función exponencial y probabilidad. Nos

parece que encuentran atractiva la relación entre un tema de actualidad del que todos han oído hablar (y que últimamente despierta cierto revuelo) y las matemáticas. La diferencia radica en que, en esta ocasión, la aproximación a este tema ha sido científica, concretamente matemática, mientras que el único argumento del que disponían hasta el momento era el de autoridad (venta en farmacias).

Anexo

En los talleres organizados han aparecido espontáneamente temas en los que los alumnos mostraron interés y que podrían permitir enriquecer más el trabajo. Como se verá, tanto los contenidos como la forma de desarrollarlos son muy variados, pero nos parece interesante enunciarlos, aunque no sea de forma organizada, porque nos consta que los participantes los han encontrado atractivos y han demandado más información al respecto.

- Correlación estadística y causalidad. ¿Sigue la infinitesimalidad (segunda ley de homeopatía) la ley de plausibilidad biológica? (Luque, 2016).
- Número de Avogadro (mol y molécula).
- ¿Qué es un principio activo?
- Método científico: ciencia frente a pseudociencia; experimentos con metodología doble y triple ciego.
- Aplicar el método científico para desmontar otras pseudociencias (Goldacre, 2011).
- Uso manipulativo del lenguaje pseudocientífico.
- Efecto placebo y el *amimefuncionismo* (véase <<https://blogs.20minutos.es/yaestaellistoquetodolosabe/tag/amimefuncionismo/>>).
- La malvada industria farmacéutica frente a las compañías que fabrican preparados homeopáticos: ¿cuáles son los beneficios de unas y otras? ¿Cuál el gasto en investigación? ¿Cuáles son los pasos que sigue la fabricación de uno y otro, desde la fase de investigación hasta la salida a mercado?
- Ética de comercialización de productos fraudulentos.

- Argumento de autoridad: hay tres científicos de gran prestigio, Brian David Josephson, Luc Montagnier y Jacques Benveniste (los dos primeros tienen un Premio Nobel), que defienden la validez científica de la homeopatía. ¿Significa esto que sus argumentos son irrefutables?
- ¿Existe la memoria del agua? ¿Cuál es el origen de los elementos químicos? ¿Qué significa eso de que somos polvo de estrellas? (Villatoro, 8 de febrero de 2018).
- Regulación legal en España y en Europa. El Servicio Nacional de Salud suizo ofrece la prestación de productos homeopáticos. ¿Es esto un argumento? Es decir, el hecho de que algo se vote democráticamente ¿le otorga validez científica? (Frías, Blog2).
- Posicionamiento de las autoridades sanitarias (colegios de farmacéuticos, médicos, enfermería, etc.) y autoridades académicas.

Referencias bibliográficas

- ANGULO, E. (2017), «Historias de la malaria: El árbol de la quina», *Boletín Científico y Cultural de la Infoteca* n.º 527, Universidad Autónoma de Coahuila.
- ARP-SAPC (s.f.), *Somos escépticos* [Blog], Recuperado de <<http://www.escepticos.es/>>.
- DEL CAÑO, G. (2018), «La cruda realidad de la leche cruda» [Mensaje en un blog], *Framagemma* [Blog], Recuperado de <<https://framagemma.naukas.com/2018/07/18/la-cruda-realidad-de-la-leche-cruda/>>.
- FRÍAS, F. (11 de diciembre de 2013), «#NoSinEvidencia» [Mensaje en un blog], *El fondo del asunto* [Blog], Recuperado de <<http://yamato1.blogspot.com/>>.
- (s.f.) *La lista de la vergüenza* [Blog], Recuperado de <<https://listadelaverguena.naukas.com/>>.
- FUENTES, C. (2007), «Los postulados de Koch: revisión histórica y perspectiva actual», *RCCV*, Vol.1 (2), 262-266. ISSN 1988-2688.
- GOLDACRE, B. (2011), *Mala Ciencia: No te dejes engañar por curanderos, charlatanes y otros farsantes*, Paidós, Barcelona.
- LUQUE, B. (2016), «Correlación no implica causalidad», *Investigación y Ciencia*, n.º 478, 88-90.

MULET, J. M. (2015), *Medicina sin engaños*, Destino, Barcelona.

PAULOS, J. A. (1990), *El hombre anumérico*, Tusquets, Barcelona.

QUIRANTES, A. (2014), *¿Homeopatía? Va a ser que no*, Autoedición (ebook), libro gratuito según licencia Creative Commons.

SANZ, V. J. (2010), *La homeopatía ¡vaya timo!*, Laetoli, Pamplona.

VILLATORO, F. R. (8 de febrero de 2018), «La Traca #8 Luciérnagas: La memoria del agua» [Mensaje en un blog], *Naukas* [Blog], Recuperado de <<https://francis.naukas.com/2018/02/08/la-traca-5-luciernagas-la-memoria-del-agua/>>.

Ana Granados Sanandrés

Saint Louis University, Madrid Campus
<ana.granados@slu.edu>

Ana Portilla Ferreira

Saint Louis University, Madrid Campus
<ana.portilla@slu.edu>

1 Este podría ser un buen momento para que se explique en qué consiste el diseño de un experimento científico, el método doble ciego, etc. Al comenzar la sesión, se puede elegir una persona y preguntarle, por ejemplo, si le molesta el ojo, porque hemos observado que se lo está tocando con frecuencia. En este momento, comentamos cómo la persona elegida no ha hecho más que tocarse el ojo desde que se lo dijimos al comienzo.

2 Se pueden mencionar algunas de las tinturas madre y proponer al alumnado que intente deducir, en base a la similitud mencionada, cuál es el síntoma que tratan. Por

ejemplo, *Cuprum metallicum*, *Excrementum caninum*, *Natrum muriaticum*, *Antimateria*.

3 Véase, por ejemplo, <<https://www.enbuenasmanos.com/natrum-muriaticum#de-donde-proviene-el-remedio>>.

4 En realidad, hay varios tipos de disoluciones: decimal de Hahnemann (DH), centesimal de Hahnemann (CH) o korskoviana (K). Por defecto utilizaremos CH, que es la más frecuente.

5 Se puede comparar la cantidad de principio activo presente en el antihistamínico y la cantidad de tintura madre en el *Pollens*. Se observa que la composición química de *Pollens* es 85% sacarosa y 15% lactosa, es decir, 100% azúcar.