

Reacción en Cadena

Miguel García Guerrero¹

¹ Grupo Quark, Museo de Ciencias, Universidad Autónoma de Zacatecas

Resumen

Dinámica en la que se usan canicas y bases de cartón para mostrar la manera en la que se libera energía en los procesos de fisión nuclear, con aplicaciones tanto en centrales eléctricas como en armas de destrucción masiva. La actividad representa cómo la división de un núcleo libera energía, en forma de radiación, junto a partículas que al chocar con otros núcleos causan nuevos procesos de fisión.

Tipo de público

Estudiantes				
Preescolar	Primaria	Secundaria	Bachillerato	
	X	X	X	
Otros sectores				
Familias	Jóvenes adultos	Adultos mayores	Madres de familia	Otro (especificar)
X	X	X		
¿La actividad se diseñó para trabajar con personas con alguna discapacidad? Especificar				
No				

Área de la ciencia: Física.

Conceptos clave: Fisión nuclear, energía nuclear, reacción en cadena, interacción fuerte.

Objetivo (s)

Usar un juego simbólico para explorar la forma en la que se produce una reacción en cadena a partir de choques de neutrones con núcleos atómicos.

Identificar las fuerzas que le dan cohesión al núcleo atómico, así como lo que ocurre cuando éste se divide.

Discutir los diferentes usos de la energía nuclear, así como sus impactos sociales.

Tipo de actividad: Taller.

Duración sugerida: 20 minutos.

Material	
Grupal	50 canicas de tamaño normal (1.5 cm de diámetro). 1 canica mediana (2.5 cm de diámetro). 1 caja de pizza (o puede ser otra caja de cartón de tamaño similar). 2 hojas de máquina (de preferencia de reúso).
Por participante	Ninguno
Requerimientos técnicos	
Ninguno	
Factores de riesgo	
En caso de trabajar con niños pequeños, evitar que se lleven las canicas a la boca.	

Marco teórico

Toda la materia conocida está hecha de átomos, los componentes fundamentales de los elementos químicos. El tamaño de un átomo ronda 1 Angstrom (1×10^{-10} m) y, aun siendo tan pequeños, estos bloques están a su vez compuestos de tres partículas: neutrones (sin carga), protones (carga eléctrica positiva) y electrones (carga negativa). Las dos primeras se encuentran en un núcleo que tiene un diámetro diez mil veces menor al del átomo, mientras los electrones se distribuyen en niveles de energía a su alrededor.

En principio, si sólo consideramos la interacción electromagnética, la situación del núcleo podría parecer insostenible: en un espacio diminuto tenemos confinadas a partículas que se rechazan de forma inversamente proporcional a la distancia. Al estar tan cerca unas de otras hay una fuerza tremenda que las impulsa a separarse. El hecho de que el núcleo se mantenga unido significa que existe una fuerza más grande que esta repulsión eléctrica. La responsable de esto es la interacción fuerte, que actúa entre protones y neutrones (así como los quarks que los componen) y es la fuerza más grande de la naturaleza, aunque sus efectos se presentan en distancias muy cortas; en esencia al interior del núcleo atómico.

La pugna de fuerzas al interior del núcleo, entre la atracción de la interacción fuerte y la repulsión de los protones, tiene consecuencias importantes para diferentes sustancias. Los elementos químicos ligeros tienen un núcleo estable con prácticamente el mismo número de protones y neutrones. Sin embargo, conforme aumenta el número atómico (y con él la cantidad de partículas positivas en el núcleo), se vuelve más grande la fuerza de repulsión eléctrica y es necesaria una mayor presencia de neutrones con respecto a la de protones en los núcleos; de otra forma no podrían ser estables.

Aun así, hay casos (en elementos muy pesados) en los que los neutrones no pueden mantener unido el núcleo y éste tiene un comportamiento inestable: acaba por fisionarse, se divide. Cuando esto ocurre, el material libera la energía que mantenía unido al núcleo en forma de ondas electromagnéticas (rayos) y partículas; de ahí que a este tipo de materiales se les llama radioactivos. Este proceso de división se presenta de manera natural en materiales muy pesados: fue descubierto originalmente en el uranio y posteriormente se

encontraron nuevos elementos radiactivos como el radio, el torio y el polonio. Más adelante, el ser humano logró producir un nuevo elemento radiactivo: el plutonio.

Cuando los científicos descubrieron los neutrones y aprendieron a manipularlos, se dieron cuenta de que podían controlar la división de los núcleos atómicos. Más adelante encontraron que esto podría dar lugar a algo tan poderoso como terrible: una reacción en cadena capaz de liberar una enorme cantidad de energía. Se rompían núcleos que liberaban energía y neutrones, los cuales chocaban con nuevos núcleos, haciendo que se dividieran y emitieran más energía y más neutrones.

La energía que se libera en cada proceso procede de una situación particular: si se compara la masa de un núcleo con la de las partículas que quedan después de que se divide, se nota que hay una pequeña pérdida de materia. Aunque se trata de una masa minúscula, se transforma en una gran cantidad de energía de acuerdo con la famosa ecuación $E=mc^2$ que planteó Albert Einstein.

Para lograr una reacción en cadena autosustentable, que no requiera energía exterior para desarrollarse, es preciso contar con una masa crítica de material radiactivo. Hay que tener suficientes átomos que dividir para lograr una gran cascada de energía.

A partir de esto, en primer lugar, nació la bomba atómica, y posteriormente se logró el uso pacífico de la energía nuclear como fuente para producir electricidad. Actualmente hay países que aprovechan esta opción como una importante alternativa a la quema de combustibles fósiles, misma que ha ocasionado el grave problema de calentamiento global que enfrentamos en la actualidad.

Francia obtiene más del 80% de su electricidad de centrales nucleares; en Estados Unidos el porcentaje es menor (25%) aunque en términos brutos tienen más poder nuclear que los galos; en México, cuando funciona la planta de Laguna Verde en Veracruz, sólo se produce el 4% de la electricidad consumida a nivel nacional.

Flujo de la actividad

Presentación al público:

¿Te has preguntado cuál es la cosa más pequeña que conforma todo lo que nos rodea?

Los átomos son unas diminutas partículas que forman toda la materia que conocemos; desde nuestros cuerpos, la ropa que usamos, el aire a nuestro alrededor, e incluso el sol, la luna y las estrellas, todo está hecho de átomos. Pero la cosa no termina ahí; estos pequeños bloques están hechos por otras tres partículas: protones (con carga eléctrica positiva), neutrones (carga neutra) y electrones (carga negativa).

Los protones y neutrones forman una compacta estructura central llamada “núcleo”, mientras que los electrones forman una nube de orbitales alrededor de él. Por lo general los

átomos son eléctricamente neutros; es decir, tienen el mismo número de protones y de electrones. El número de estas partículas que tiene un átomo establece de qué elemento se trata, y determina las propiedades del material.

Pero, si los protones tienen carga positiva y cargas iguales se rechazan, ¿cómo pueden estar todos juntos en un núcleo muy pequeño?

A pesar de que existe una fuerza de repulsión eléctrica entre los protones, el núcleo se mantiene unido gracias a la interacción fuerte; esa otra fuerza produce una atracción entre protones y neutrones que se encarga de mantener unido el núcleo. Si bien la interacción fuerte puede vencer a la repulsión electromagnética, ya que a distancias cortas su intensidad es mucho mayor, cuando tenemos muchos protones juntos la repulsión puede causar divisiones.

De aquí que no existe un patrón estable para la cantidad de neutrones que hay. Entre más protones tiene un átomo aumenta más el número de neutrones presentes de su núcleo: el helio tiene dos partículas de cada una, pero el flúor cuenta con 9 protones (p) y 10 neutrones (n); para el hierro son 26 p y 30 n y un caso extremo sería el del uranio: 92 p y 146 n. Esta desproporción es necesaria para mantener la estabilidad del núcleo.

El total de protones y neutrones en cada núcleo determina el peso atómico de cada elemento, pero esto no es homogéneo: puede ocurrir que haya átomos con diferente cantidad de neutrones respecto a la mayoría de los casos del mismo elemento, a los cuales se les llama isótopos. El comportamiento químico de los isótopos es idéntico al de las versiones más comunes de los átomos de un elemento, pero hay cambios en la estabilidad del núcleo.

Bueno, ahora vamos a jugar un poco para ver cómo se relaciona esto con la energía nuclear:

Actividad:

1. Lo primero es convertir la caja de pizza en un tablero al que le vamos a hacer 7 “choyas” (pequeños desniveles). Cada “choya” tendrá un diámetro de unos 5 cm y se hará presionando con un dedo para hundir el nivel del cartón en la caja.
2. Vamos a colocar siete canicas en cada “choya”, que representará un núcleo atómico en el que las canicas serán protones y neutrones.

¿Qué mantiene unidos los núcleos de los átomos?

La curva de las “choyas”, que mantiene unidas a las canicas, representa la interacción fuerte. Podemos decir que esta fuerza fundamental de la naturaleza hace que haya mucha energía dentro del núcleo y, cuando logramos dividirlo, toda esta energía se libera. Si en un espacio a escala atómica se junta una cantidad de materia suficientemente grande — llamada “masa crítica”— la fisión se presenta de manera espontánea: los átomos se dividen, emitiendo energía y neutrones. Pero esto también puede desencadenarse de forma artificial al usar neutrones como proyectiles.

3. Se dobla la hoja de máquina a la mitad, por el lado más largo, de forma que funcione como una rampa para deslizar la canica mediana.

4. Un participante lanzará la canica por la rampa, de forma que choque contra uno de los “núcleos” en la caja. Hay que darle energía suficiente para “romper” el grupo de canicas, es decir, los neutrones, y que éstos puedan chocar con otros núcleos, fisionándolos. De este modo se simula —a escala— una reacción en cadena y se ilustra el mecanismo de liberación de energía nuclear.
5. Se repite el paso anterior con dos o más personas lanzando canicas al mismo tiempo.

¿Para qué sirve la energía nuclear?

Los neutrones liberados por la fisión pueden chocar con otros núcleos, que a su vez liberan más energía y neutrones, dando lugar a lo que se conoce como reacción en cadena. La energía en una reacción en cadena puede ser usada tanto para destrucción bruta (en bombas) como para proveer de energía a una ciudad entera. En cualquier caso, tiene la desventaja de implicar grandes cantidades de radiación, que resulta muy nociva para los seres vivos.

En las bombas o plantas atómicas se usan los isótopos de uranio 235 y plutonio 239 para iniciar las reacciones; estos isótopos resultan útiles para producir energía por fisión, debido a que tienen menos neutrones de lo normal y son más inestables que los átomos comunes del mismo elemento (como el uranio 238). La desventaja de estos procesos son los desechos radiactivos que dejan.

Una opción de energía atómica mucho más limpia es la fusión, proceso opuesto a la fisión. Consiste en unir dos núcleos de átomos ligeros (como hidrógeno o helio) para formar uno, acción que también libera energía. La desventaja de este proceso es que requiere una gran cantidad de energía para iniciarse; en muchos casos, más de la que se produce. La fusión se lleva a cabo de manera continua en el sol, uniendo átomos de hidrógeno para formar helio.

6. Invitar a los participantes a “fusionar” los núcleos en el tablero. Esto servirá para visualizar esta otra opción para producir energía y dejar el tablero listo para una nueva actividad.

Actualmente uno de los retos de la ciencia es encontrar procesos de fusión “en frío”, que no necesiten tanta energía para iniciarse.

Datos curiosos

El uso de la energía nuclear —como muchos otros desarrollos científicos y tecnológicos en la historia— surgió a partir de una necesidad bélica: antes de generar electricidad para muchas ciudades en el mundo, la fisión del átomo se usó en bombas con un poder destructivo sin precedentes; de aquí, y de los riesgos inherentes a los reactores nucleares, surge la mala percepción que se tiene de la energía atómica.

El primer proyecto orientado a crear una bomba atómica fue desarrollado por los alemanes durante la Segunda Guerra Mundial. Eugene Wigner fue el primero en alertar de esto a los Estados Unidos, pero no obtuvo reacción alguna. Fue una carta enviada por Albert Einstein al presidente Franklin D. Roosevelt lo que impulsó la creación del Proyecto

Manhattan, dirigido por Robert Oppenheimer, que fue el artífice del desarrollo de la bomba atómica.

Bibliografía

García, M. (2012), *Átomos al desnudo*. Texere editores.

Preston, D. (2008), *Antes de Hiroshima*. Tusquets editores.