

CENTRO EDUCATIVO JEAN PIAGET

## LA FUSIÓN NUCLEAR COMO FUENTE DE ENERGÍA

SEBASTIAN STEPHAN DULONG SALAZAR

TMI, FÍSICA, QUÍMICA

6°

4 / 10 / 18

**ABSTRACT:**

La búsqueda de energías renovables, económicas, y amigables con el medio ambiente continúa siendo un problema que aqueja a la población. En este trabajo de investigación no-experimental, que tiene una finalidad básica, además de explicar cómo se lleva a cabo la fusión nuclear, se presentarán las diferencias entre fusión y fisión nuclear cuanto a costos, producción de desechos tóxicos, y cómo se generan la mismas.

Se eligió esta energía en particular pues los acercamientos con ella han sido relativamente pocos dentro de la comunidad científica, y dada la magnitud de la energía que genera, puede ser una opción viable para la generación de energía si se perfeccionan los métodos de producción.

Con el uso de datos cuantitativos y cualitativos, se realizará un análisis desde una perspectiva tanto científica como lógica, con las cuales se averiguará si la fusión nuclear es lógicamente preferible sobre la fisión nuclear (que es el único tipo de energía manufacturable que produce una cantidad de energía comparable) para ser una energía clave para el futuro de la humanidad. Esto se logrará de forma documental analizando documentos de personas y organizaciones con competencias en el tema.

Como parte central en nuestra investigación, nos fundamentaremos en los conceptos físicos y químicos subyacentes de estos dos procesos.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Pregunta de investigación	4
1.2 Objetivos	4
1.3 Justificación	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Fusión nuclear	6
2.1.1 Producción de la fusión nuclear	6
2.1.2 Impacto ambiental	7
2.1.3 Ventajas de la fusión	8
2.1.4 Estado actual de la fusión y perspectiva a futuro	8
2.2 Fisión nuclear	9
2.2.1 Producción de la fisión nuclear	9
2.2.2 Impacto ambiental	10
2.2.3 Ventajas de la fisión	10
2.2.4 Estado actual de la fisión y perspectiva a futuro	10
3. MÉTODO	11
3.1 Tipo de investigación científica	11
3.2 Participantes o sujetos	12
3.3 Variables	12
3.4 Materiales	13
3.5 Procedimiento	14
3.6 Hipótesis	14
BIBLIOGRAFÍA	15

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Pregunta de investigación:**

¿Es la energía generada a partir de la fusión nuclear preferible a la de fisión, en los ámbitos ambiental y económico?

### **1.2 Objetivos:**

Objetivo General:

Que al final de la investigación, se conozca la viabilidad de la energía de fusión nuclear y verificar si es preferible en los aspectos económicos, ambientales y científicos sobre la fisión nuclear (que es la única energía que produce una magnitud con una escala comparable a aquella de la fusión).

Objetivos específicos:

- Explicar el proceso de la fusión nuclear a partir de un reactor de fusión.
- Comparar la facilidad de llevar a cabo cada proceso de fabricación desde el punto de vista físicoquímico.
- Contrastar el impacto ambiental y costo con la fisión nuclear.
- Evaluar la más viable hoy y la más viable a futuro.

### **1.3 Justificación:**

Como explica Roberts (2004), la importancia de este problema se encuentra en que la producción energética global es un problema a futuro pues ésta se sostiene principalmente en el petróleo, que de acuerdo a British Petroleum (2014), éste se acabará en a lo más el año 2067, es decir, menos de 50 años. La desaparición de los yacimientos de petróleo, conlleva una caída colosal en la producción energética (y con ello, una inminente catástrofe en la economía mundial) que solo se evitará encontrando nuevas fuentes de energía.

Para este trabajo de investigación, se recopilará el trabajo de varios autores y científicos, principalmente el de Petrescu (2014), para la obtención de información relevante y relativa al tema.

Se espera que este trabajo de investigación, pueda dar a entender con claridad las diferencias cualitativas de ambos tipos de energías, y consecuentemente, sentar bases para idear soluciones más prácticas y efectivas, mostrando un innovador tipo de energía que podría evitar problemas relacionados con la producción de la misma en un futuro no tan lejano.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Fusión nuclear**

“La fusión nuclear es el proceso por el cual 2 o más núcleos atómicos se unen, es decir, se fusionan, formando un nuevo núcleo más pesado y denso” (Petrescu, 2014).

Durante este proceso, la masa del nuevo núcleo, dado el principio de impenetrabilidad, resulta ser menor a la suma de las masas de los dos núcleos originales. Esta diferencia de masas, conocida como defecto de masa, se traduce en energía por la ecuación de Einstein,  $E=mc^2$ , donde E es la energía producida, m es el defecto de masa, y c es la velocidad de la luz (300 000 km/s).

#### **2.1.1 Producción de la fusión nuclear**

La reacción más simple de producir es la fusión del deuterio y el tritio, dos isótopos del hidrógeno, para formar helio (partícula alfa) y un neutrón, liberando una energía de  $2.81 \times 10^{-12}$  J, por pareja de isótopos. En magnitudes considerables, esta reacción puede llegar a generar 180 GJ, que es el equivalente al consumo calórico al día promedio de 21.5 millones de personas, como se infiere de McClenon (2012).

“El problema de unir dos núcleos ligeros, radica en que los núcleos de los átomos están cargados positivamente, con lo que al acercarse se repelen cada vez con más fuerza” (Rivero, 2013). Una posible solución sería colisionarlos en un acelerador de partículas, pero debido a la ineficiencia de este método se recurre al siguiente.

En la fusión por confinamiento inercial, se comprimen esferas de combustible para generar plasma altamente denso, y, al estar tan cercanos los núcleos unos de otros, se fusionarán, como explica Rivero (2013).

La fusión por confinamiento magnético, por otro lado, se obtiene calentando el combustible a tan alta temperatura, que se disocia en partículas con carga, y por lo tanto se puede confinar mediante campos magnéticos.

Valores numéricos para la fusión

“Los parámetros principales que caracterizan el estado del plasma son la temperatura, su densidad y el tiempo de confinamiento de energía. En el caso de la reacción deuterio-tritio tenemos:

Temperatura de plasma: 100 - 200 millones de °C

Tiempo de confinamiento: 1 - 2 s

Densidad en el plasma:  $2.5 \times 10^{20}$  partículas/m<sup>3</sup> (Rivero, 2013)

### **2.1.2 Impacto ambiental**

Este tipo de reacciones es la que tiene lugar en el interior de las estrellas, proporcionándoles su brillo y su producción energética. A escala terrestre, la problemática que enfrentan los experimentos realizados sobre fusión nuclear es la colosal cantidad de energía producida, que, sin una condensación adecuada, puede causar una explosión devastadora.

Para darnos una idea de la magnitud de la energía producida, la fusión nuclear que se produce en el interior de nuestro sol, es de las fusiones más básicas que hay (2 núcleos de helio), y produce una temperatura de alrededor de 15 millones de grados centígrados (Olmo, 2005). Si un reactor explotara en el centro la Ciudad de México, el radio de la explosión sería de 2.16 km, equivalente a aproximadamente 20 bombas de hidrógeno (300 kilotones) (Barnaby, 2003; Wellerstein, 2012).

### **2.1.3 Ventajas de la fusión**

El sistema es prácticamente autosostenible e intrínsecamente seguro, pues el mismo sistema solo tiene combustible para 10 segundos de reacción. El combustible, a su vez, es virtualmente inagotable, pues el deuterio se encuentra en el agua de mar, y el tritio es fácil de producir con un neutrón y litio, un metal abundante en la corteza. (Petrescu, 2014)

### **2.1.4 Estado actual de la fusión y perspectiva a futuro**

“Se ha producido energía por fusión nuclear en dos máquinas distintas, las dos por confinamiento magnético, el JET (Joint European Torus) de la Unión Europea en Oxfordshire, y el TFTR (Toroidal Fusion Thermonuclear Reactor) en Princeton” (Rivero, 2013).

En éstas, se comprueba la viabilidad de la producción energética por fusión. La viabilidad tecnológica se busca en reactores como lo serán el International Thermonuclear Experimental Reactor, y el IGNITOR, actualmente en fase de diseño.



Estos reactores conllevan una colaboración internacional, pues el esfuerzo tecnológico y económico no puede ser afrontado por un solo país.

## 2.2 Fisión nuclear

La fisión nuclear es la reacción en la que el núcleo de un átomo pesado, se divide en dos o más núcleos de átomos más ligeros, llamados productos de fisión, emitiendo en el proceso neutrones, rayos gamma y grandes cantidades de energía, como explica el CSN (2018). Usando el mismo principio que en la fusión, el defecto de masa es traducido en energía por la ecuación de Einstein.

### 2.2.1 Producción de la fisión nuclear

La fisión se produce bombardeando el núcleo de un átomo con neutrones de modo que su núcleo se fracture, liberando energía y dando pie a otras reacciones de fisión nuclear. (Hahn & Strassman, 1939). Los materiales más usados para ser fisionados son el plutonio-239 y el uranio-235, cuyas reacciones se muestran a continuación. (ININ, 2018)

#### *Uranio 235*



#### *Plutonio-239*



### **2.2.2 Impacto ambiental**

El uranio-233 fue utilizado en un par de bombas de prueba en EE.UU. y que se supone que es el principal componente en las bombas. Estos se convierten en inestables cuando absorben un neutrón lento (también conocido como “térmico”).

Los desastres de Chérbobil en 1986 y Fukushima en 2011 muestran la magnitud del desastre natural que se puede causar con la — no tan rara — desestabilización de un reactor (Gómez, 2016).

### **2.2.3 Ventajas de la fisión**

La principal ventaja de la fisión es la relativa facilidad con la que se produce con respecto a la magnitud de la producción energética, que a su vez es la más eficiente de las energías punta en la actualidad, como dice Liserre (2007).

### **2.2.4 Estado actual de la fisión y perspectiva a futuro**

De acuerdo a Petrescu (2014), actualmente la fisión es una de las energías más utilizadas a nivel global, porque, como habíamos explicado en el párrafo anterior, es la más eficiente en cuanto a producción energética, mas el paulatino decremento de yacimientos de recursos (no solo de combustibles fósiles, sino también de isótopos radioactivos) harán que eventualmente se tenga que mirar hacia otro lado en busca de nuevas energías.

### **3. MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de investigación científica**

El estudio se condujo con una finalidad básica, para aportar información sobre las diferencias entre las reacciones de fusión y fisión nuclear, y si esta última es viable en la actualidad. Esto se hizo con el fin de ampliar el panorama de conocimientos de los lectores, y que puedan dar opiniones fundamentadas sobre el tema.

El alcance de la investigación será no solamente correlacional (puesto que vamos a vincular diferentes variables relacionadas a la producción de energía, explicadas a fondo más tarde, para averiguar si se cumple nuestra hipótesis de investigación), sino también será descriptiva, ya que detalla el proceso de generación energía a partir de las reacciones de fusión y fisión nuclear.

Es de carácter no-experimental, pues no se requieren manipular condiciones para recabar información. Esto va de la mano con el carácter documental de la investigación, puesto que las principales fuentes de obtención de datos tanto científicos como estadísticos fueron libros, páginas web, etc.

Sin embargo, el diseño documental no excluye la fuerte implicación que tuvo la recolección de datos de campo para la realización de la investigación, sin la que ésta no hubiera sido siquiera concebida. La investigación de campo se centró en determinar el conocimiento general de una población escolar sobre la fusión y la

fisión nuclear, y así, cuantificar la importancia de la investigación, que en un ámbito tan crítico como la producción energética, debe de dirigir y delinear un plan de acción a largo plazo, es decir, con los futuros profesionistas.

Por último, el enfoque es mixto pues la investigación considera cantidades como la magnitud de energía, costos de producción, entre otros, como medios precisos de ordenar variables en el aspecto de costos, y al mismo tiempo toma en cuenta aspectos como la contaminación y el eventual agotamiento de materias primas para generar estos tipos de energía.

### **3.2 Participantes o sujetos**

La muestra se obtendrá de un grupo de aproximadamente 40 alumnos aleatorios de preparatoria del Centro Educativo Jean Piaget, cuyas edades oscilan entre los 15 y 18 años, sin proporcionarles ningún incentivo (se espera que participen sin oponer resistencia pues no hay razón alguna).

Se eligió esta muestra en específico pues se espera que en 2do semestre de preparatoria, los estudiantes cuenten con fundamentos fisicoquímicos básicos y con un entendimiento mínimo del problema que plantea la falta de una fuente de energía a largo plazo, dado el aparentemente inevitable crecimiento poblacional desmedido.

### **3.3 Variables**

Las variables a considerar para nuestra investigación son:

- El impacto ambiental, donde se incluye la paulatina dificultad para hallar yacimientos de isótopos radioactivos útiles para la reacción.

- El costo de mantenimiento (inversión) en una planta nuclear comparado con la relación inversión/producción de diversos tipos de plantas.
- La dificultad científica de producir y condensar la energía producida por la fusión, un problema que obstaculiza su uso debido a la alta probabilidad de un desastre nuclear.

### 3.4 Materiales

- Encuesta acerca de conocimientos sobre la fusión y la fisión nuclear. Las preguntas fueron diseñadas por mí, estructuradas de la manera más objetiva y menos tendenciosa posible, para obtener resultados verídicos, lo más fieles posibles a la realidad.

The image displays three sequential screenshots of a mobile application interface for a survey titled "Fisión y Fusión Nuclear". Each screen has a green header bar with the title and a back arrow. The status bar at the top shows 97% battery and 12:02.

**Screen 1:** The title "Fisión y Fusión Nuclear" is in a green box. Below it, the text "Opción múltiple" and "Contesta las preguntas de acuerdo a lo que sepas, o creas, de acuerdo a la fisión y fusión nuclear." are shown. The first question is: "\* 1. ¿En qué grado sabes en qué consiste la fisión nuclear?" with options: ☐ Mucho, ☐ Algo, ☐ Poco, ☐ Nada.

**Screen 2:** The second question is: "\* 2. ¿En qué grado sabes en qué consiste la fusión nuclear?" with options: ☐ Mucho, ☐ Algo, ☐ Poco, ☐ Nada. The third question is: "\* 3. ¿Cuál crees que sea más complicada de producir en un laboratorio?" with options: ☐ Fisión, ☐ Fusión. The fourth question is: "\* 4. ¿Cuál crees que produzca más energía?" with options: ☐ Fisión, ☐ Fusión. The fifth question is: "\* 5. ¿En qué grado crees que estas puedan solventar la crisis energética a largo plazo?" with options: ☐ Mucho, ☐ Algo, ☐ Poco, ☐ Nada.

**Screen 3:** The sixth question is: "\* 6. ¿Crees que la energía producida por éstas sea equiparable a otra fuente de energía? ¿Si es así, cuál?" with options: ☐ No creo que la cantidad de energía producida sea comparable, ☐ Solar, ☐ Eólica, ☐ Mareomotriz, ☐ Geotérmica, ☐ Quema de combustibles fósiles, ☐ Otro (especificar).

Each screen has a green plus button at the bottom right and a "PÁGINA 1 DE 1" indicator at the bottom left.

### 3.5 Procedimiento

1. Realizar la encuesta en los participantes mencionados.
2. Analizar los datos, que proporcionarán un sustento para saber en qué temas se debe de enfatizar.
3. Recabar información de distintos documentos sobre las 3 variables a investigar.
4. Una vez hecho esto, comparar la fisión y la fusión entre sí, y más en general con los otros tipos de energía.
5. Ponderar cuál grupo (nucleares o no nucleares) es más viable a futuro, tanto energéticamente, como ambientalmente.
6. Ya ponderados los grupos, determinar cuál es la mejor de cada grupo, y delinear y proponer posibles soluciones a la falta de energía/recursos/sustentabilidad que puedan presentar a largo plazo.

### 3.4 Hipótesis

Espero que los resultados de la encuesta arrojen datos de incertidumbre, pues es un tema relativamente nuevo del cual es muy probable que no sepan, lo que sustenta esta investigación aún mejor. La fusión nuclear no requiere de isótopos radioactivos, sino de moléculas más comunes como el helio, por ejemplo, que no produce desecho alguno, a diferencia de la fisión. La inversión necesaria es considerable al inicio, por la necesidad de un colisionador de partículas, pero los costos de material son casi nulos en la fusión. Lo que le da la ventaja de momento a

la fisión es la imposible condensación efectiva de la energía producida por la fusión, y hasta que se encuentre un método para lograrlo, así se mantendrá.

## **Bibliografía**

- - . (2018). Fisión Nuclear. CDMX: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.
- - . (2018). Fisión Nuclear. Madrid: Consejo de Seguridad Nacional.
- Gómez, E. (2016). Los efectos de la tragedia de Fukushima. Madrid: Divulgación y cultura científica iberoamericana.
- Barnaby, F. (2003). How to build a nuclear bomb. New York: Granta.
- Hahn, O., & Strassman, F. (1940). Fisión nuclear en el torio y el proactinio. Berlin: Freie Universitat Berlin.
- Liserre, M. et. al. (2010). Future Energy Systems. EEUU: Comstock.
- McClenon, L. (2012). Understanding Energy Part 1: You Are as Powerful as a Lightbulb. Pasadena: Bryn Mawr College.
- Olmo, M. (2005). Reacciones Nucleares en las Estrellas. Georgia: Hyperphysics.
- Petrescu, F. (2014). Nuclear fusion. Bucharest: Research Gate.
- Rivero, T. (2013). Fusión nuclear. CDMX: SENER.
- Wellerstein, A. (2012). NUKEMAP. diciembre 14, 2018, de NUKEMAP Sitio web: <https://nuclearsecrecy.com/nukemap/>

Sebastian Dulong Salazar 6º

14 de diciembre, 2018

Ficha de paráfrasis

En la fusión por confinamiento inercial, se comprimen esferas de combustible para generar plasma altamente denso, y, al estar tan cercanos los núcleos unos de otros, se fusionarán, como explica Rivero (2013).

- Rivero, T. (2013). Fusión nuclear. CDMX: SENER.

Sebastian Dulong Salazar 6º

14 de diciembre, 2018

Ficha de cita textual

“La fusión nuclear es el proceso por el cual 2 o más núcleos atómicos se unen, es decir, se fusionan, formando un nuevo núcleo más pesado y denso” (Petrescu, 2014).

- Petrescu, F. (2014). Nuclear fusion. Bucharest: Research Gate.

Sebastian Dulong Salazar 6º

14 de diciembre, 2018

Ficha de paráfrasis

La principal ventaja de la fisión es la relativa facilidad con la que se produce con respecto a la magnitud de la producción energética, que a su vez es la más eficiente de las energías punta en la actualidad, como dice Liserre (2007).

- Liserre, M. et. al. (2010). Future Energy Systems. EEUU: Comstock.



## Fichas de trabajo

---

### Ficha 1 - Tipos de investigación científica: finalidad

El estudio se condujo con una finalidad básica, para aportar información sobre las diferencias entre las reacciones de fusión y fisión nuclear, y si esta última es viable en la actualidad. Esto se hizo con el fin de ampliar el panorama de conocimientos de los lectores, y que puedan dar opiniones fundamentadas sobre el tema.

---

### Ficha 2 - Tipos de investigación científica: alcance

El alcance de la investigación será no solamente correlacional (puesto que vamos a vincular diferentes variables relacionadas a la producción de energía, explicadas a fondo más tarde, para averiguar si se cumple nuestra hipótesis de investigación), sino también será descriptiva, ya que detalla el proceso de generación energía a partir de las reacciones de fusión y fisión nuclear.

---

### Ficha 3 - Tipos de investigación científica: fuentes de datos y experimental/no-experimental

Es de carácter no-experimental, pues no se requieren manipular condiciones para recabar información. Esto va de la mano con el carácter documental de la investigación, puesto que las principales fuentes de obtención de datos tanto científicos como estadísticos fueron libros, páginas web, etc. Sin embargo, el diseño documental no excluye la fuerte implicación que tuvo la recolección de datos de campo para la realización de la investigación, sin la que ésta no hubiera sido

siquiera concebida. La investigación de campo se centró en determinar el conocimiento general de una población escolar sobre la fusión y la fisión nuclear, y así, cuantificar la importancia de la investigación, que en un ámbito tan crítico como la producción energética, debe de dirigir y delinear un plan de acción a largo plazo, es decir, con los futuros profesionistas.

---

#### Ficha 4 - Tipos de investigación científica: enfoque

Por último, el enfoque es mixto pues la investigación considera cantidades como la magnitud de energía, costos de producción, entre otros, como medios precisos de ordenar variables en el aspecto de costos, y al mismo tiempo toma en cuenta aspectos como la contaminación y el eventual agotamiento de materias primas para generar estos tipos de energía.

---

#### Ficha 5 - Participantes o Sujetos

La muestra se obtendrá de un grupo de aproximadamente 40 alumnos aleatorios de preparatoria del Centro Educativo Jean Piaget, cuyas edades oscilan entre los 15 y 18 años, sin proporcionarles ningún incentivo (se espera que participen sin oponer resistencia pues no hay razón alguna).

Se eligió esta muestra en específico pues se espera que en 2do semestre de preparatoria, los estudiantes cuenten con fundamentos fisicoquímicos básicos y con

un entendimiento mínimo del problema que plantea la falta de una fuente de energía a largo plazo, dado el aparentemente inevitable crecimiento poblacional desmedido.

---

## Ficha 6 - Variables

Las variables a considerar para nuestra investigación son:

- El impacto ambiental, donde se incluye la paulatina dificultad para hallar yacimientos de isótopos radioactivos útiles para la reacción.
- El costo de mantenimiento (inversión) en una planta nuclear comparado con la relación inversión/producción de diversos tipos de plantas.
- La dificultad científica de producir y condensar la energía producida por la fusión, un problema que obstaculiza su uso debido a la alta probabilidad de un desastre nuclear.

---

## Ficha 7 - Materiales

Encuesta acerca de conocimientos sobre la fusión y la fisión nuclear. Las preguntas fueron diseñadas por mí, estructuradas de la manera más objetiva y menos tendenciosa posible, para obtener resultados verídicos, lo más fieles posibles a la realidad.

---

## Ficha 8 - Procedimiento

1. Realizar la encuesta en los participantes mencionados.

2. Analizar los datos, que proporcionarán un sustento para saber en qué temas se debe de enfatizar.
3. Recabar información de distintos documentos sobre las 3 variables a investigar.
4. Una vez hecho esto, comparar la fisión y la fusión entre sí, y más en general con los otros tipos de energía.
5. Ponderar cuál grupo (nucleares o no nucleares) es más viable a futuro, tanto energéticamente, como ambientalmente.
6. Ya ponderados los grupos, determinar cuál es la mejor de cada grupo, y delinear y proponer posibles soluciones a la falta de energía/recursos/sustentabilidad que puedan presentar a largo plazo.

---

## Ficha 9 - Hipótesis

La energía hidráulica se encuentra en los últimos lugares de impacto ambiental gracias a su naturaleza pasiva y sin liberación de contaminantes, mas por las bajas ganancias que genera con respecto a las otras energías, no está en las primeras opciones de las corporaciones productoras de energía, y por lo tanto, no es tan viable.