



**UMCE** Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación  
Facultad de Ciencias Básicas  
Departamento de Física

Título:

Diseño de una secuencia didáctica para desarrollar la competencia de argumentación científica en estudiantes de enseñanza media, aplicada al debate sobre el acceso a la energía eléctrica de origen nuclear en Chile.

TESINA PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIATURA EN EDUCACIÓN EN FÍSICA  
Y PEDAGOGÍA EN FÍSICA

AUTORES:

NICOLÁS GONZÁLEZ SÁNCHEZ  
CATALINA PÉREZ CIFUENTES

PROFESOR GUÍA: MG. CLAUDIO PÉREZ MATZEN

SANTIAGO DE CHILE, AGOSTO, 2022





**UMCE** Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación  
Facultad de Ciencias Básicas  
Departamento de Física

Título:

Diseño de una secuencia didáctica para desarrollar la competencia de argumentación científica en estudiantes de enseñanza media, aplicada al debate sobre el acceso a la energía eléctrica de origen nuclear en Chile.

TESINA PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIATURA EN EDUCACIÓN EN FÍSICA  
Y PEDAGOGÍA EN FÍSICA

AUTORES:

NICOLÁS GONZÁLEZ SÁNCHEZ  
CATALINA PÉREZ CIFUENTES

PROFESOR GUÍA: MG. CLAUDIO PÉREZ MATZEN

SANTIAGO DE CHILE, AGOSTO, 2022

Autorizado para  
**Sibumce Digital**

## **AUTORIZACIÓN**

2022, Nicolás González y Catalina Pérez

Se autoriza la reproducción total o parcial de este material, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, siempre que se haga la referencia bibliográfica que acredite el presente trabajo y sus autores.

Dedicamos esta tesina a:  
Nuestros respectivos padres, amigos/as y cercanos, que nos apoyaron durante el  
proceso de realización de este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a nuestro profesor guía Claudio Pérez, por acompañarnos y ayudarnos durante todo el desarrollo de esta tesina. Agradecemos enormemente a nuestros padres, por su comprensión y constante apoyo durante toda nuestra etapa universitaria. De igual forma, agradecemos a nuestros amigos/as quienes nos apoyaron durante el desarrollo de este trabajo.

Nicolás Leonardo González Sánchez y Catalina Denisse Pérez Cifuentes

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>Contenido</b>	
Resumen .....	viii
Abstract.....	viii
Palabras claves.....	ix
Introducción.....	1
Capítulo 1: Planteamiento del Problema .....	4
1) Antecedentes y Formulación del problema .....	4
1.1) Principales tópicos de la posición antinuclear. ....	5
1.2) Principales tópicos de la posición pro-nuclear: .....	5
2) Enunciado del Problema.....	6
Capítulo 2: Objetivos del Trabajo .....	7
Objetivo General.....	7
Objetivos Específicos .....	7
Capítulo 3: Fundamentación del Problema .....	8
1) Fundamentos sobre la Argumentación Científica .....	8
a) Enseñanza de la Ciencia en la actualidad.....	8
b) Argumentación científica escolar. ....	10
c) Las concepciones alternativas dentro de la enseñanza de las ciencias.....	11
2) Fundamentos de los Tópicos Anti y Pro Nuclear. ....	12
a) ¿Por qué debemos preocuparnos del cambio climático? .....	12
b) Situación actual de la matriz energética chilena .....	13
c) Energía nuclear como una posible alternativa .....	15
d) Tópicos antinucleares.....	17
e) Tópicos Pro Nucleares. ....	21
Capítulo 4: Marco Teórico .....	31

a) Conceptos Pedagógicos .....	31
a.a) Concepciones Alternativas .....	31
a.b) Aprendizaje Significativo.....	32
a.c) Modelo TPACK .....	35
b) Métodos de Enseñanza y Actividades de Aprendizaje.....	39
c) Modelo argumentativo de Toulmin. ....	42
d) Conceptos Básicos de Física Nuclear.....	43
d.a) Partículas subatómicas .....	43
d.b) Características del Núcleo.....	45
d.c) Clasificación de los Núcleos .....	46
d.d) Fuerza Nuclear .....	47
d.e) Equivalencia masa-energía.....	48
d.f) Defecto de masa y Energía de enlace .....	49
d.g) Energía de enlace por nucleón .....	49
d.h) Radiactividad .....	50
d.i) Procesos de desintegración .....	50
d.j) Ley de desintegración radiactiva .....	52
d.k) Periodo de semidesintegración o vida media (del inglés half life) .....	54
d.l) Vida promedio (del inglés mean life) .....	54
d.m) Actividad.....	56
d.n) Reacciones nucleares .....	57
d.ñ) Fisión y Fusión.....	59
e) Conceptos Básicos de Termodinámica.....	61
e.a) Primera ley de la Termodinámica .....	62
e.b) Segunda ley de la termodinámica. ....	62

e.c) Máquina térmica.....	63
e.d) Máquinas de vapor .....	65
e.e) Central termoeléctrica .....	66
e.f) Central nucleoelectrica .....	68
Capítulo 5: Marco Metodológico y Planificación Pedagógica.....	71
a) Marco Metodológico .....	71
a.a) Propósitos de la secuencia didáctica. ....	71
a.b) Contenido de la secuencia didáctica. ....	71
a.c) Destinatarios y modalidad de enseñanza de la secuencia didáctica. ....	72
a.d) Tiempo de implementación sugerido para la secuencia didáctica. ....	72
a.e) Diseño Instruccional.....	73
a.f) Formulación de objetivos de la secuencia didáctica. ....	74
a.g) Aprendizajes esperados.....	75
a.h) Objetivos de aprendizaje de habilidades y de conocimiento y comprensión.....	75
a.i) Indicadores de evaluación.....	76
a.j) Selección y producción de recursos didácticos.....	77
a.k) Elaboración de instrumentos de evaluación.....	77
Capítulo 6: Recursos para la implementación de la Secuencia Didáctica.....	78
a) Resumen clase a clase.....	78
b) Instrumentos de Evaluación .....	84
Capítulo 7: Reflexiones y Proyecciones del Trabajo .....	86
Referencias .....	89
Anexo 1: Planificaciones de Clases.....	101
Anexo 2: Instrumentos y Recursos de Evaluación.....	122

## **Resumen**

En la presente tesina se abordará la problemática de cómo desarrollar y reforzar la capacidad de argumentación científica en los y las estudiantes de enseñanza media en la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía, específicamente en el módulo de Ambiente y sostenibilidad, para contribuir de esta manera a la formación de ciudadanos capaces de defender su postura frente a diferentes situaciones cotidianas.

Dicho objetivo se abordará mediante la proposición de una secuencia didáctica ocupando metodologías, actividades y recursos pedagógicos de la educación en ciencias para el análisis de la problemática actual del cambio climático. Se destaca principalmente la utilización del debate estudiantil en torno al acceso de la energía eléctrica de origen nuclear en Chile, como una dinámica para lograr de igual manera los objetivos propuestos en esta tesina.

Se valoran los aportes y proyecciones que posee este trabajo, en el cual se utilizan temas de ciencia y tecnología para promover el interés en los y las estudiantes en las problemáticas del presente siglo.

## **Abstract**

This thesis will address the problem of how to develop and strengthen the capacity for scientific argumentation in high school students in the subject of Science for Citizenship, specifically in the Environment and Sustainability module, in order to contribute to the formation of citizens capable of defending their position about topics on science, technology, society and environment in different daily situations.

This objective will be approached through the proposal of a didactic sequence using methodologies, activities and pedagogical resources of science education for the analysis of the current problem of climate change in connection with the generation of electricity. The use of a student debate on the access to nuclear power in Chile is mainly highlighted, as a convenient and suitable group dynamic to achieve the objectives proposed in this thesis.

The contributions and projections of this work are valued, leveraging the use of current science and technology issues to promote interest in the students on the societal and environmental problems of this century.

### **Palabras claves**

Argumentación científica, debate estudiantil, enseñanza de las ciencias, secuencia didáctica.

## **Introducción**

El aprendizaje significativo de las ciencias requiere del desarrollo en las y los estudiantes de un conjunto de competencias propias del pensamiento científico y del quehacer de sus cultores. Si bien son numerosas y variadas tales competencias descritas en la literatura del tema, el equipo académico de la Facultad de Ciencias Básicas que entre 2014 y 2016 trabajó en el Proyecto “Plan de Fortalecimiento para la Nivelación de Competencias Científicas aplicado a estudiantes de primer año de la Formación Inicial Docente de la Facultad de Ciencias Básicas basado en el Modelo de Indagación Científica” (UMC1302) recomendó centrarse inicialmente en 3 de ellas: razonamiento lógico, modelización y argumentación.

En particular, la competencia de argumentación es inseparable de las otras dos mencionadas, y hay varias razones por las cuales es recomendable prestar especial atención desde una enseñanza concebida para el logro del aprendizaje significativo de las ciencias naturales, idealmente desde los niveles de educación básica, pero también más tarde en la educación media y superior.

El currículum nacional, con la incorporación de la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía en Educación Media, ha abierto interesantes oportunidades para el desarrollo de este tipo de competencias en un contexto de ciencias integradas y relacionadas con problemáticas importantes para la sociedad del presente y del mañana. En ese espacio curricular, y concretamente en sus Módulos de Ambiente y Sostenibilidad y de Tecnología y Sociedad, se invita a abordar el problema del cambio climático por el calentamiento global y el aporte que para su enfrentamiento pueden realizar diferentes tecnologías, en este caso para generación de energía eléctrica y de calor industrial, en armonía con los Objetivos para el Desarrollo Sostenible.

Entre las diversas temáticas a que desde una enseñanza de ciencias con enfoque de Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) se puede recurrir para promover el aprendizaje significativo y el desarrollo de la competencia de argumentación científica, se cuenta la discusión en torno a las posibilidades y riesgos de la tecnología nuclear de potencia

para la generación de electricidad y de calor industrial, para un desarrollo sostenible y compatible con los esfuerzos para reducir el impacto del sector energético en el incremento del calentamiento global, y por ende, del cambio climático. En efecto, la generación de electricidad y calor con centrales nucleares, hasta ahora basadas en las reacciones nucleares de fisión, y con prometedores avances hacia reactores más eficientes y seguros basados en las reacciones termonucleares o de fusión, alimenta un apasionado debate de larga data entre el público en general y al interior de la comunidad científica, con el recuerdo de los bombardeos atómicos en Japón a fines de la II Guerra Mundial y de accidentes nucleares como los de Chernobyl y Fukushima. También con la preocupación por la gestión de los desechos radiactivos de los usos pacíficos y bélicos de la tecnología nuclear, ante los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes que esas sustancias emiten.

Trasladar el debate nuclear a las aulas escolares de E. Media en el contexto de la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía, con foco en la problemática del cambio climático y la búsqueda de soluciones tecnológicas compatibles con los objetivos del desarrollo sostenible, desplegando metodologías activo-participativas apropiadas y recursos didácticos pertinentes y accesibles para la ejercitación de la competencia de argumentación científica, se ha convertido en la meta del trabajo de los autores de la presente Tesina.

Con este trabajo de término de la etapa de formación inicial docente, los autores pretenden, adicionalmente, sumar otra contribución de la UMCE a la Red Latinoamericana para la Educación y la Capacitación en Tecnología Nuclear (LANENT), red de la cual la institución es miembro pleno desde fines del año 2011. LANENT es una de las redes regionales que el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), asociado a la Organización de las Naciones Unidas, ha promovido desde inicios del presente siglo a través del planeta para contribuir a la preservación y gestión del conocimiento sobre los usos pacíficos de la tecnología nuclear en Energía, Medicina, Minería, Hidrología, Alimentación, Transporte, y todo tipo de industrias, así como también para el avance de la investigación en ciencias atómicas y nucleares.

Esta tesina se suma, por tanto, a otras anteriores que han surgido del quehacer de una de las Líneas de Desarrollo del Departamento de Física de la UMCE, a saber la Línea de Educación

en Energía Nuclear, donde se insertan las contribuciones de esta unidad académica a la temática descrita precedentemente, a partir de las relaciones de trabajo colaborativo establecidas desde comienzos de la década de 1990 con la Comisión Chilena de Energía Nuclear.

## Capítulo 1: Planteamiento del Problema

### 1) Antecedentes y Formulación del problema

En la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía de tercer o cuarto año medio, en sus módulos semestrales “Ambiente y Sostenibilidad” y “Tecnología y Sociedad”, es importante desde la docencia contribuir al desarrollo de la competencia de argumentación científica de los y las estudiantes, ya que es fundamental la formación de personas que puedan adoptar posiciones y sepan tomar decisiones con respecto a temáticas científicas e incluso políticas, de tal forma que sean capaces de fundamentar y defender sus diferentes puntos de vista y no dejarse llevar apresurada e irreflexivamente por las emociones ni por opiniones ajenas. Para ello, en esta tesina se propone el contenido de la energía nuclear de potencia para el desarrollo el módulo indicado de la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía, con el propósito de que los y las estudiantes destinatarios de la secuencia didáctica a desarrollar, sean capaces de argumentar científicamente si estarían a favor o en contra de que este tipo de energía sea una posible contribución en la lucha contra el cambio climático en Chile.

Si bien existen muchas otras posibilidades de contenidos para este mismo propósito formativo en el contexto de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medioambiente, se decidió optar en este trabajo por la temática de energía nuclear de potencia, en consideración a que en los últimos años se ha constatado un renovado interés en esta fuente energética a nivel internacional, incrementándose, a la vez, el debate al respecto.

Considerando que la energía nuclear de potencia, tal y como se expresó en el párrafo anterior, constituye una excelente temática “de fondo” para discutir en torno a temas relevantes y actuales de ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente, se puede afirmar que su tratamiento a nivel de E. Media, constituye un muy buen medio para “mejorar la capacidad de síntesis, análisis y evaluación, lo cual se traduce en un incremento de la efectividad a la hora de construir argumentaciones” (Delgado, 2018, p.116-117). Sí consideramos que la argumentación, en palabras de Espinoza Freire (2020), es “una habilidad para expresar criterios de manera empírica, racional, crítica e independiente”, esta habilidad entra en una perfecta sintonía con las competencias que se pretende desarrollar y/o mejorar con técnicas de debate,

ya que este fortalece las habilidades comunicativas y, por tanto, la capacidad para “argumentar y evaluar distintos puntos de vista con apertura de mente y juicio crítico...”(Ministerio de Educación de Chile, 2019, p.26).

Es por la opción descrita precedentemente por esta perspectiva metodológica de debate escolar, que, dentro de los antecedentes y formulación de la problemática del presente trabajo, se realizó una revisión bibliográfica de los principales argumentos considerados a favor y en contra de la energía nuclear de potencia, los que se describen brevemente a continuación<sup>1</sup>.

### **1.1) Principales tópicos de la posición antinuclear.**

- Insuficiencia de medidas de prevención y control frente a accidentes de operación en centrales nucleares o en instalaciones del ciclo de combustible nuclear, como los ocurridos en Isla de Tres Millas (Estados Unidos, 1979), Chernobyl (ex-Unión Soviética, 1986) y Fukushima (Japón, 2011).
- Falta de opciones tecnológicas definitivas y generalmente aceptadas para la gestión de desechos radiactivos con garantía de condiciones de seguridad para los operadores, el público y el medio ambiente, durante períodos de tiempo de muy larga duración.
- Discutible competitividad comercial de esta opción frente a alternativas tecnológicas disponibles o en desarrollo para la generación de electricidad, por sus elevados costos de capital.
- Riesgo latente de contribución a la carrera armamentista nuclear (proliferación nuclear) desde la operación rutinaria de reactores de fisión alimentados por compuestos de uranio y/o plutonio, asociado a la ineficacia de los sistemas de salvaguardias internacionales.

### **1.2) Principales tópicos de la posición pro-nuclear:**

- Inexistencia de emisiones de gases de efecto invernadero típicas de la explotación de combustibles fósiles, a partir de las reacciones de fisión de la tecnología nuclear.

---

<sup>1</sup> Los puntos más relevantes del “debate nuclear” se abordarán en mayor detalle en la Sección 3 de este trabajo, “Fundamentación del problema”.

- Limitación de las alternativas tecnológicas disponibles para la generación de electricidad en centrales de base (hidráulicas, térmicas fósiles y nucleares de fisión), frente a problemas de dispersión, intermitencia y disponibilidad de las alternativas de fuentes renovables.
- Desarrollo acelerado de reactores nucleares de IV generación, con nuevos ciclos de combustible, mayor seguridad y eficiencia operacionales, menor producción de desechos radiactivos de alta actividad y menor riesgo de contribución a la proliferación de armamento nuclear.
- Nuevos e importantes avances en la investigación sobre fusión nuclear controlada.

## **2) Enunciado del Problema**

Considerando la importancia de la educación socio-científica, junto con los actuales programas del currículo nacional enfocados al desarrollo de diferentes habilidades y competencias, se desarrollará una secuencia didáctica con la finalidad de que los y las estudiantes de E. Media, desarrollen la habilidad y competencia de argumentación científica, en torno al debate de una posible futura implementación de la tecnología nuclear en la matriz energética chilena, sin influencias preconcebidas hacia ninguna posición, es decir, a favor o en contra de este escenario.

Cabe destacar que la importancia de fomentar el desarrollo de esta competencia radica en la necesidad de formar ciudadanos con pensamiento crítico y habilidades comunicativas, para evaluar la información proveniente no solo del mundo científico, sino que además de su entorno social y político.

En base a lo anterior surge el siguiente problema de investigación:

*¿Cómo pueden los y las docentes de Física contribuir desde la Educación en Ciencias al desarrollo y refuerzo de la capacidad argumentativa de sus estudiantes de E. Media, desde una de las temáticas del enfoque de ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente, a saber la discusión en torno a la posible inclusión de la opción nuclear en la matriz energética futura del país?*

## **Capítulo 2: Objetivos del Trabajo**

### **Objetivo General**

Contribuir desde la formación inicial docente en la especialidad de Física y temas afines al desarrollo de la habilidad de argumentación científica en los y las estudiantes de enseñanza media, de tal forma que logren emplear esta habilidad en los diferentes contextos de temas de ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente.

### **Objetivos Específicos**

- Aprovechar una oportunidad disponible en el currículum nacional de ciencias de la enseñanza media, para atender la necesidad de fomento del desarrollo de una habilidad relevante del pensamiento científico, como lo es la capacidad de argumentación en los y las estudiantes.
- Proponer una secuencia didáctica con metodologías, actividades y recursos pedagógicos de la educación en ciencias para el análisis de la problemática actual del cambio climático, desde la perspectiva de la tecnología nuclear de potencia y sus implicancias, con el fin de promover el desarrollo de la capacidad argumentativa en las y los estudiantes.

### **Capítulo 3: Fundamentación del Problema**

Considerando los diferentes objetivos a seguir durante este trabajo, se plantea a continuación la fundamentación del problema, la cual se dividirá en dos subsecciones:

- Fundamentos sobre la Argumentación Científica.
- Fundamentos de los Tópicos<sup>2</sup> Anti y Pro Nuclear.

La anterior división se realiza con la finalidad de facilitar una mayor comprensión sobre la problemática. Se desea dejar en claro que los conceptos físicos implícitos en esta sección, se desarrollan en la próxima sección de marco teórico de esta tesina.

#### **1) Fundamentos sobre la Argumentación Científica**

A continuación se presenta la argumentación científica desde la enseñanza de la ciencia en la actualidad, junto con una serie de conceptos importantes que ayudarán a comprender las características fundamentales de dicha habilidad.

##### **a) Enseñanza de la Ciencia en la actualidad**

Actualmente, la enseñanza de las ciencias es uno de los mayores retos que enfrentan los y las docentes de ciencias, ya que las personas que viven en el siglo XXI necesitan de habilidades para identificar y resolver problemas de su cotidianidad, además de adaptarse a los constantes cambios que experimenta la ciencia, la cultura y la sociedad, es decir, las personas deben aprender a enfrentar una realidad que continuamente cambia, pero siempre con valores y principios sólidos (Arteaga Váldez et al., 2016).

En este sentido, la enseñanza de las ciencias se convierte en una potente herramienta para lograr que las personas y los propios estudiantes logren desarrollar estas habilidades, debido que estos y estas “en sus procesos de aprendizaje adquieren conocimientos científicos, y desarrollan competencias y destrezas científicas” (Rabadán Vergara, 2012, p. 2). Además, tener alguna formación científica, le otorga a los y las estudiantes actitudes y aptitudes que necesitarán, independiente cual sea su proyecto de vida (Arteaga Váldez et.al, 2016).

---

<sup>2</sup> Tópicos mencionados al final de la SECCIÓN 1.

Es así como educar científicamente a la población, es un desafío que va más allá de entregar solamente conocimientos disciplinares; en esto Buitrago Martín et al. (2013) menciona que se debe *educar científicamente*:

...para contribuir con ciudadanos capaces de comprender y explicar lo que acontece a su alrededor y en su propio ser; de plantearse interrogantes, buscando explicaciones y recogiendo información pertinente; de detenerse en sus hallazgos, analizarlos, establecer relaciones, hacerse nuevas preguntas y aventurar nuevas visiones; de compartir y debatir con otros sus inquietudes, sus maneras de proceder, sus nuevas visiones del mundo; de buscar soluciones a problemas determinados y hacer uso ético de los conocimientos científicos...(p. 32)

Esta visión de la finalidad de la enseñanza de las ciencias, conlleva la *alfabetización científica*, que busca también como finalidad el proyecto didáctico de esta Tesina, ya que “es necesario que la población tenga unos niveles mínimos de conocimientos científicos para poder participar democráticamente en la sociedad, es decir, para poder ejercer una ciudadanía responsable” (Martín-Díaz, 2002, p. 58), sobre todo en los temas que se tratarán y discutirán en la construcción de esta secuencia.

De igual manera, la naturaleza de las ciencias es otro de los aspectos a considerar dentro de la enseñanza de las ciencias, que debe estar presente en esta secuencia didáctica, es decir, que se debe incluir y resaltar a los y las estudiantes, las relaciones, implicaciones y aportaciones que tiene el conocimiento científico en la tecnología, y por lo tanto, en el progreso de la sociedad (Vázquez Alonso et al., 2002).

Para conseguir este objetivo y lograr desarrollar las competencias científicas definidas bajo esta mirada y definición de la enseñanza de las ciencias, es necesario implementar una estrategia didáctica que se aleje de la visión propedéutica de la enseñanza de las ciencias, que aún se encuentra presente en los sistemas educativos (Acevedo Díaz, 2004), es decir, la enseñanza de las ciencias requiere de una renovación en los métodos de enseñanza (Arteaga Váldez et al., 2016).

## **b) Argumentación científica escolar.**

El desarrollo de habilidades y de competencias científicas en los y las estudiantes de la educación escolar, es un permanente desafío que tienen los y las profesores de ciencias del sistema educativo, para contribuir de esta manera con ciudadanos competentes en materias científicas a la sociedad en la que nos desarrollamos (Buitrago Martín et al., 2013).

En términos generales, la argumentación según Duarte, Cubillos y Zapata (2014), es concebida como una habilidad del desarrollo del pensamiento formal, con la cual los estudiantes generan la capacidad de valorar afirmaciones, y al ser considerada como tal Espinoza (2020) afirma que:

...transita por dos vertientes al poder ser considerada como una de las habilidades para el procesamiento de la información y la comunicación; ésta permite la asimilación, comprensión y construcción del conocimiento al poner en juego la observación, la descripción, la identificación, la comparación, la interpretación, la explicación, la clasificación, la generalización, la predicción, el análisis y la síntesis (p.109).

Para desarrollar y potenciar estas competencias y habilidades, Buitrago Martín et al. (2013), mencionan que “es necesario implementar estrategias didácticas que permitan el desarrollo de las acciones argumentativas en los estudiantes” (p. 32).

Para fines de esta secuencia didáctica, se decidió utilizar un tema socio-científico, ya que estos implican asuntos que son de gran interés para el público en general, además de implicar personalmente a los estudiantes en la tarea (Henao y Stipcich, 2008), debido a que toman no solo el desarrollo de conceptos científicos, sino que además involucran los aspectos afectivos y morales que posean los y las estudiantes, los cuales en conjunto son fundamentales para la formación de ciudadanos que sean capaces de tomar decisiones apoyadas en datos y evidencias (Buitrago Martín et al., 2013). Y, de igual manera, el proceso de argumentación adquiere aún más relevancia, cuando se involucran situaciones del ámbito social que implican un análisis crítico respecto a las consecuencias sociales o ambientales que pueda tener para la población en general, alguna temática que tenga de por medio un conocimiento científico. (González, Gallego y Zuñiga, 2021)

Y, tal y como se planteó en párrafos anteriores, los aspectos afectivos tienen un rol importante en la argumentación de las ciencias (Stincer Gómez y Monroy Nasr, 2012). En los principales procesos de la ciencia como la búsqueda de información y evaluación de evidencias, los sentimientos de interés, el sentimiento de conocer, la duda y la ansiedad, parecen ser necesarios para la construcción de un argumento (Stincer Gómez y Monroy Nasr, 2012). En otras palabras, el desarrollo de un tema controversial, es vital para que se generen dichos aspectos afectivos, ya que “son situaciones o problemáticas cercanas al estudiante, que tienen un impacto social y se relacionan con las ciencias” (Buitrago Martín et al., 2013, p. 34).

### **c) Las concepciones alternativas dentro de la enseñanza de las ciencias**

Las concepciones alternativas, dentro de la enseñanza de las ciencias son, sin duda, de vital importancia al momento de tratar contenidos relacionados con las ciencias, debido a que estos son capaces de revelar ocasionalmente una incomprensión que puede llegar a ser muy profunda de algún concepto clave (Carrascosa Alís, 2005), como lo puede ser la energía nuclear en este caso. Para el proceso de enseñanza-aprendizaje, son necesarias debido a que nos permite conocer qué conoce el estudiante antes de pretender enseñar algo, y, a partir de estas ideas previas de los y las estudiantes, comenzar a construir el cambio conceptual que estos y estas necesitan, considerando siempre que tomen conciencia de sus propias ideas (Ruiz Limón, 2004).

Sin embargo, existe la posibilidad que a pesar del trabajo realizado en torno a estas concepciones, aún permanezcan en el tiempo y persistan con un gran arraigo, y tanto el origen como la persistencia en el campo de las ciencias de las concepciones alternativas, poseen diversas causas (Carrascosa Alís, 2005). La causa más destacable son las influencias que ejercen los medios de comunicación social, como lo son actualmente la televisión, la prensa escrita, y la amplia gama de redes sociales a las cuales pueden acceder todas las personas (Carrascosa Alís, 2005).

Estas causas son particularmente importantes, debido a que tal y como destaca Gutiérrez et al. (2000) en su estudio, las ideas de los estudiantes de la educación secundaria argentina sobre radiactividad y energía nuclear, indican que éstos tienen conocimiento sobre aspectos sociales de dichos temas, aún sin haber recibido una formación al respecto, las cuales provendrían de un contexto extraescolar. En este caso, Gutiérrez et al. (2000) apuntan

principalmente a los medios de comunicación, como causantes de las visiones y concepciones alternativas que poseen los y las estudiantes sobre el tema del cual trata este proyecto didáctico.

El presente proyecto didáctico, además de apuntar al cambio conceptual acerca de muchos de los conceptos involucrados con la energía nuclear, con el fin de que estos sean útiles para sus demandas y necesidades (Ruiz Limón, 2004), se pretende mediante el mismo cambio conceptual, aportar al debate objetivo e informado, de cara a lo que puede ser una gran alternativa y ayuda, para combatir los estragos que actualmente genera y a futuro generará el cambio climático.

## **2) Fundamentos de los Tópicos Anti y Pro Nuclear.**

Antes de hablar con respecto a los tópicos anti y pro nuclear, es importante entender el porqué de la elección de esta temática.

### **a) ¿Por qué debemos preocuparnos del cambio climático?**

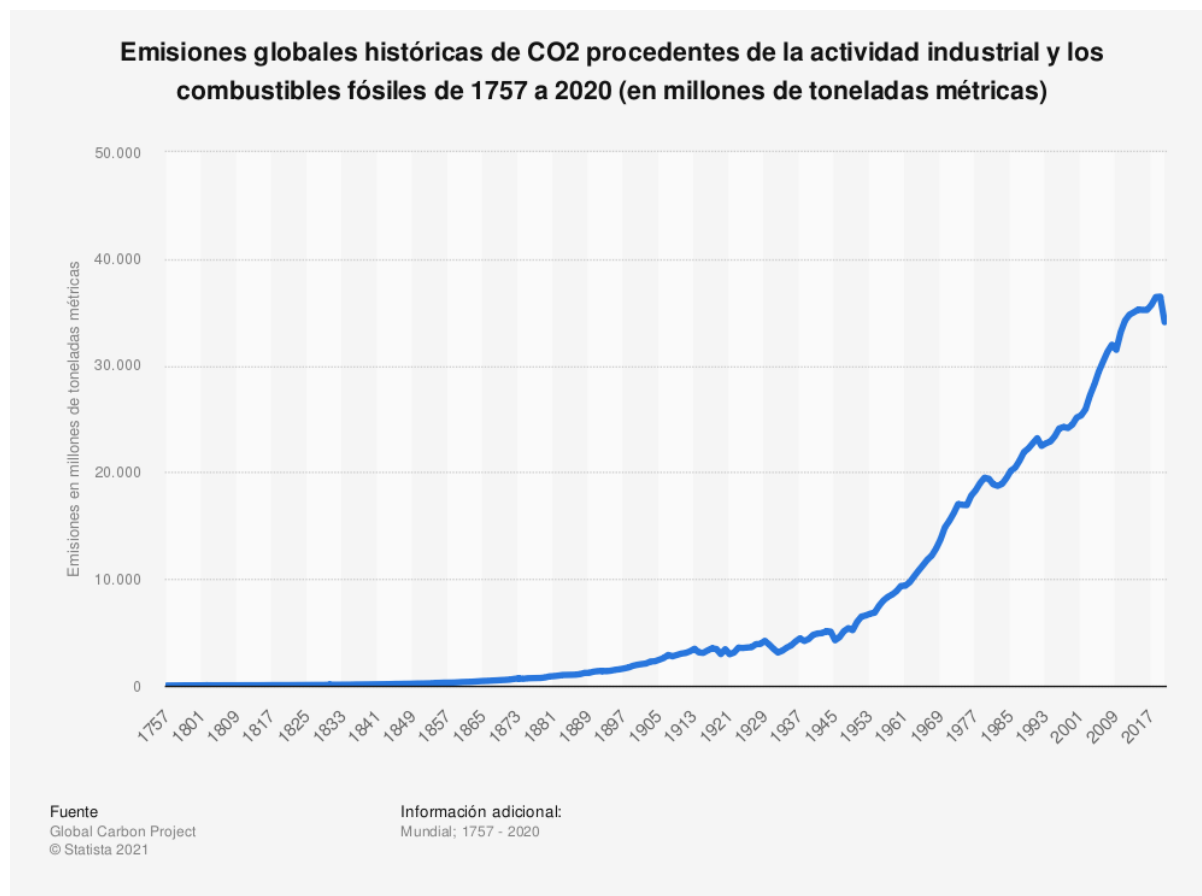
Como menciona el Ministerio del Medio Ambiente de Chile (s.f.), el cambio climático se atribuye a la actividad humana debido al aumento del uso de combustibles fósiles y otros procesos industriales a partir del siglo XIX, concentrándose así en la atmósfera gases de efecto invernadero produciendo finalmente todos los cambios climáticos a nivel mundial.

En Chile las emisiones de efecto invernadero tuvieron un “incremento de un 114,7 % desde 1990 y de un 7,1 % desde 2013, para el sector Energía (mayormente quema de combustibles fósiles)” (Vivanco, 2019)

El cambio climático debe ser una prioridad en la educación de la población chilena, debido a que los jóvenes son el futuro de la humanidad, y deberán estar lo suficientemente informados para saber qué medidas tomar para mitigar los efectos del cambio climático. Es importante darles a conocer los diferentes sistemas de generación de energía que se implementan en la actualidad, tanto a nivel mundial como nacional, que no liberan gases de efecto invernadero durante sus procesos de producción. Es fundamental que conozcan las ventajas y desventajas de cada uno de estos tipos de energía, para que así ellos y ellas puedan formar sus propias opiniones con respecto a estas, siempre utilizando argumentos científicos.

Figura 1

Emisiones globales históricas de CO<sub>2</sub> procedentes de la actividad industrial y los combustibles fósiles de 1757 a 2020.



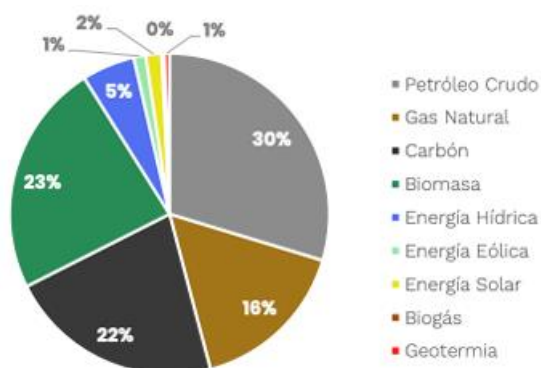
*Nota.* Tomado de *Emisiones globales históricas de CO<sub>2</sub> procedentes de la actividad industrial y los combustibles fósiles de 1757 a 2020 (en millones de toneladas métricas)*. de Global Carbon Project, 2021, Statista.

### **b) Situación actual de la matriz energética chilena**

En la matriz energética chilena, predominan los recursos fósiles, representando el 68% del total, el cual es la suma “del petróleo crudo (30%), carbón mineral (22%) y gas natural (16%). Y con menor participación destaca la energía proveniente de la biomasa (23%), seguida por aquellas de origen hídrico (5%), solar (2%) y eólico (1%)” (García, 2021).

Figura 2

Matriz energética primaria en Chile año 2019.



Nota. Tomado de *Matriz energética primaria en Chile 2019*. de Nicolás García Bernal, 2020, Energía Abierta, Ministerio de Energía de Chile.

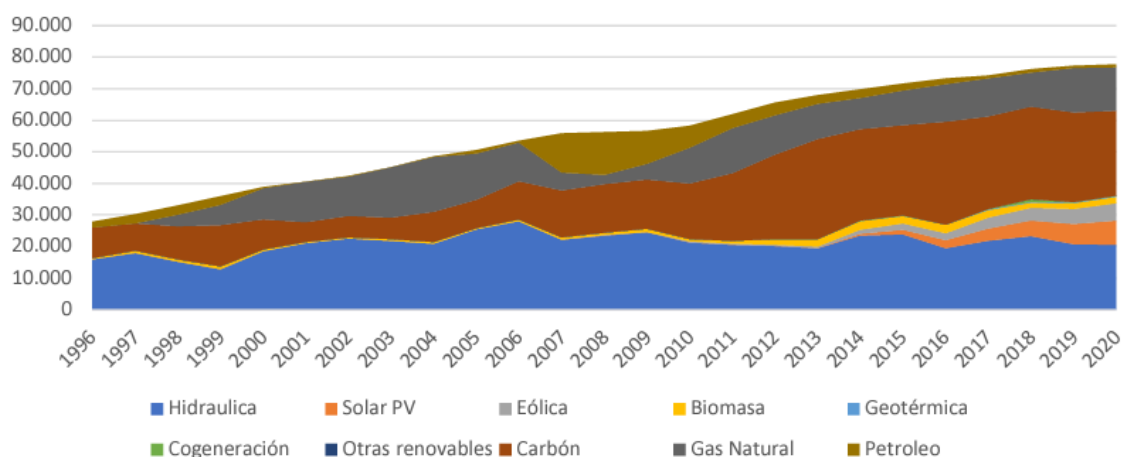
El primer porcentaje mencionado corresponde a energías no renovables, las cuales son las mayores “responsables de la contaminación atmosférica” (Vivanco, 2020), por lo que al discontinuar este tipo de energías gradualmente en el futuro, Chile bajará sus emisiones de gases de forma considerable.

Es por esto, que “el 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible” (Naciones Unidas, s.f). Donde cada objetivo tiene diferentes metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. Chile no fue una excepción, y ese mismo año se creó una Agenda 2030, que corresponde al plan de acción para cumplir todos los objetivos y metas planteados por las Naciones Unidas.

Con el fin de cumplir dichos objetivos en junio de 2019, se elaboró el plan de descarbonización el cual corresponde a un acuerdo del Ministerio de Energía junto al Ministerio del Medio Ambiente con diferentes empresas, dueñas de termoeléctricas, con la finalidad de que estas “no iniciaran nuevos desarrollos de proyectos a carbón” (Ministerio de Energía, 2019) y que en primera instancia para el año “2024 concluyan sus operaciones las ocho termoeléctricas más antiguas del país” (Gobierno de Chile, s.f.), de tal manera que Chile avance hacia un futuro más renovable.

Figura 3

Generación histórica de los sistemas.



Nota. Tomado de la *Generación histórica de los sistemas. Período 1996 – 2020, unidades en GWh (Gigavatio-hora)*. de Nicolás García Bernal, 2021, Ministerio de Energía de Chile.

### c) Energía nuclear como una posible alternativa

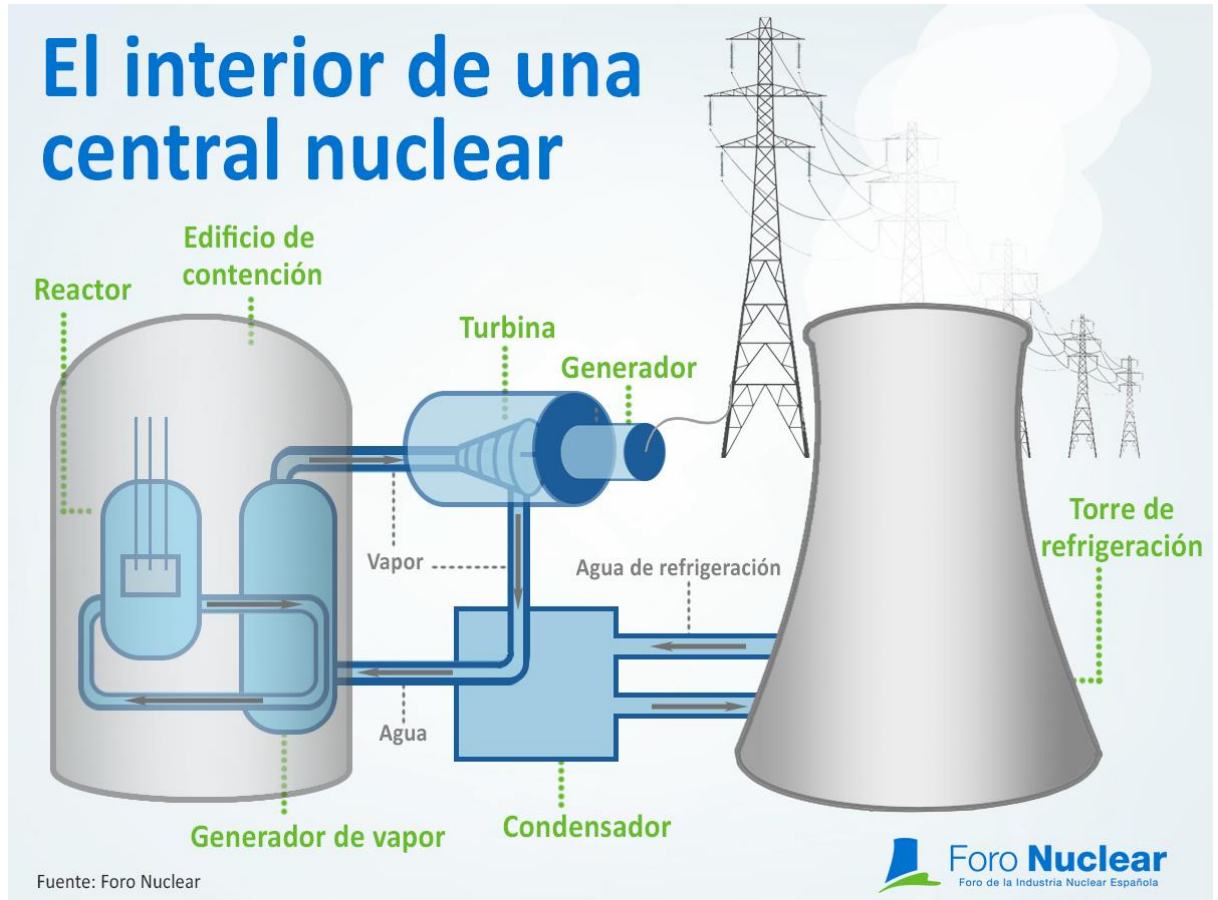
Existen dos tipos de reacciones nucleares, la fisión nuclear y la fusión nuclear. Sin embargo, actualmente solo se puede optar por una de estas dos reacciones para la generación de electricidad, siendo esta la Fisión Nuclear. Esto se debe a que es mucho más fácil producirla en comparación con la Fusión Nuclear, ya que se puede generar incluso de forma espontánea, siempre y cuando se incide un neutrón con la energía adecuada. (Consejo de Seguridad Nuclear, s.f.) En cambio, para producir la Fusión Nuclear es necesario alcanzar altas cantidades de energía, para lo cual se requieren “aceleradores de partículas o recurrir al calentamiento a temperaturas muy elevadas” (Consejo de Seguridad Nuclear, s.f.). Otra complicación que presenta este tipo de reacción es que “es necesario garantizar el confinamiento y control del combustible (mezcla D-T) en estado de plasma a altas temperaturas” (Consejo de Seguridad Nuclear, s.f.), ya que los contenedores convencionales no son capaces de resistir estas altas temperaturas.

Por lo tanto, las centrales nucleares actuales utilizan la reacción en cadena controlada de la Fisión Nuclear, para producir grandes cantidades de energía y así generar electricidad. Esto

se hace aumentando la temperatura del refrigerante del reactor, la cual en la mayoría de los casos es agua en estado líquido, para producir vapor, “que se utiliza para accionar un grupo turbina-alternador, en el que se genera la energía eléctrica.” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.)

Figura 4

Interior de una central nuclear.

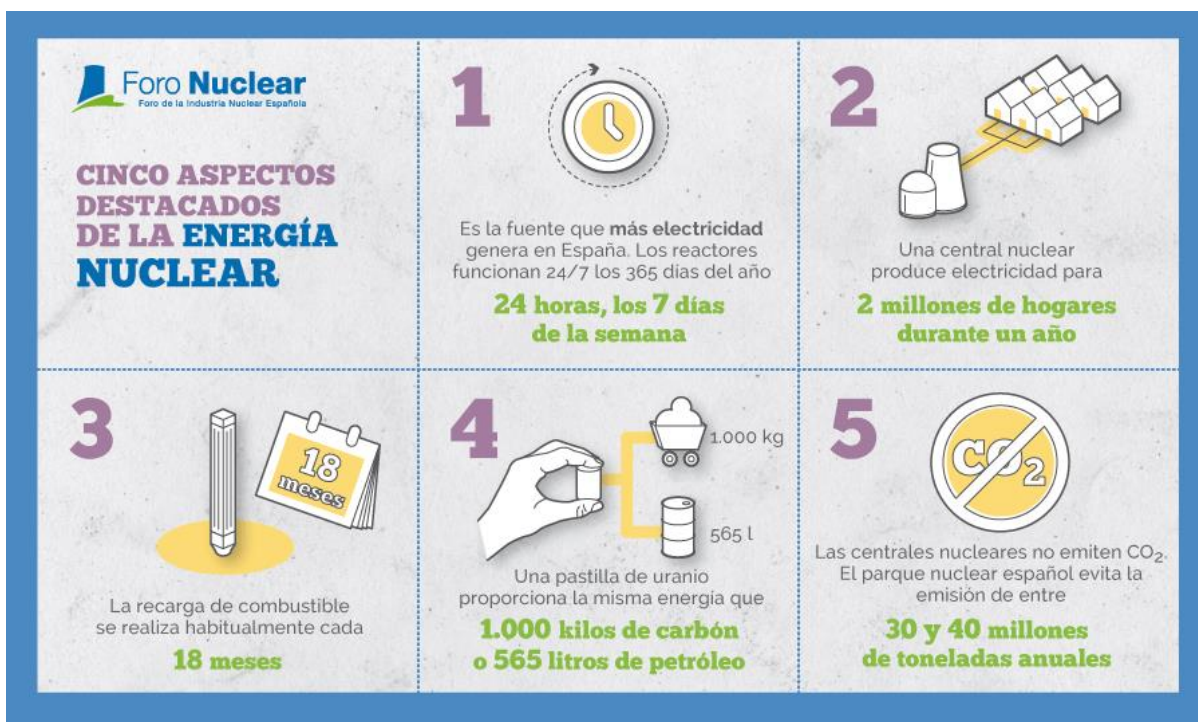


Nota. Tomado del *interior de una central nuclear*, de Foro Nuclear, Foro de la Industria Nuclear Española.

“La energía nuclear es una fuente energética que garantiza el abastecimiento eléctrico, frena las emisiones contaminantes, reduce la dependencia energética exterior y produce electricidad de forma constante” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.), por estas razones, la energía nuclear debe ser un tema de discusión y debate dentro de las aulas chilenas, siempre considerando tanto sus ventajas como desventajas.

Figura 5

Cinco aspectos destacados de la energía nuclear.



Nota. Tomado de *Cinco aspectos destacados de la energía nuclear*, de Foro Nuclear, Foro de la Industria Nuclear Española.

#### d) Tópicos antinucleares.

##### d.a) Insuficiencias en las medidas de prevención y control frente a accidentes nucleares.

En cuanto a las medidas de prevención y control frente a accidentes nucleares, es importante destacar que en el año 1957 fue creado el Organismo Internacional de Energía Atómica con la finalidad de dar “respuesta a los profundos temores y las expectativas que infundían los descubrimientos y variados usos de la tecnología nuclear” (Organismo Internacional de Energía Atómica [IAEA], s.f). A esta organización se han adherido diferentes países que pertenecen a la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y actualmente existen un total de 173 naciones comprometidas con este organismo (IAEA, 2021).

Para lograr los objetivos anteriormente mencionados, la OIEA ha diseñado una serie de estándares de seguridad, que todo país que sea parte de este organismo debe cumplir de manera estricta. Estos abarcan puntos fundamentales para garantizar la seguridad de la población y del medio ambiente, los cuales son la seguridad nuclear, la seguridad radiológica, la seguridad al transportar material radiactivo, y la seguridad del manejo de desechos (IAEA, 2006). Estos estándares se subdividen en tres grandes categorías: las normas fundamentales de seguridad, los requisitos de seguridad, y las guías de seguridad (IAEA, 2006).

Sin embargo, a pesar que estas series de medidas de seguridad puedan dar la impresión que se han cumplido estrictamente hasta la fecha, la realidad es otra. Debido a errores principalmente humanos, cómo lo son acciones indebidas de los operadores y trabajadores de las plantas de energía nuclear, han ocurrido una serie de accidentes que ya fueron nombrados anteriormente, los cuales son: las Isla de Tres Millas (Estados Unidos, 1979), Chernobyl (ex-Unión Soviética, 1986) y Fukushima (Japón, 2011). Los accidentes nucleares no pueden ser tratados como accidentes industriales “comunes”, ya que son únicos en ocasionar desplazamientos de manera casi permanente de grandes poblaciones, y de abrumar a la personas que sobrevivieron a la exposición prolongada a la radiación, con las posibles repercusiones que puede significar para su salud (Dawe et al.. 2016).

Y, de igual manera, a pesar de que estos accidentes han promovido la continua mejora de los planes de prevención y control frente a este tipo de situaciones, estos no dimensionan “totalmente los problemas políticos, económicos, sociales y técnicos que se desarrollarían en una emergencia real” (Noji, 2000, p.416). Es necesario tener en consideración que los accidentes nucleares no solamente pueden ser provocados por una mala acción humana, sino que también existen factores como los desastres naturales y las fallas mecánicas que pueden provocar o agravar un accidente nuclear (Noji, 2000).

#### **d.b) Gestión de desechos radiactivos.**

Actualmente, como cualquier otro tipo de tecnología, la energía nuclear genera en todos sus usos disponibles, residuos que de no ser manejados correctamente pueden convertirse potencialmente en desechos peligrosos para el medio ambiente y la población.

Hasta la fecha el manejo de residuos de baja y mediana actividad, es un tema que los países que utilizan este tipo de tecnología tienen bajo su control. No obstante, los inconvenientes surgen a partir de la generación de residuos que poseen una alta actividad y larga vida, que por tanto se deberán almacenar durante muchos años, incluso siglos.

La forma más aceptada actualmente de disponer de los desechos de alta actividad es el almacenamiento geológico, pero la complejidad de este método debido a su aplicación, genera problemas de seguridad para la población y medioambiente, que son necesarios de revisar y mejorar. El uso de este tipo de almacenamiento es complejo debido a dos razones que destaca Dupuis (2008): la primera de ellas está relacionada con la gran cantidad de tiempo que conlleva almacenar este tipo de residuos, y la segunda relacionada con la seguridad y certeza de que el almacenamiento será completamente seguro a lo largo de esta cantidad de tiempo, y para que sea convincente, debe basarse en un conocimiento físico y geológico muy avanzado, el cuál no todos los países poseen.

#### **d.c) Los costos reales de la energía nuclear.**

La energía nuclear, al igual que las demás alternativas de generación de energía, conlleva costos monetarios que se deben analizar y observar de manera íntegra, en donde se deben incluir los costos de la construcción, la compra del combustible que impulsa a los reactores, y lo más importante, los costos de mantenimiento de la central nuclear y de correcto manejo de desechos nucleares.

Desde el punto de vista de los usuarios que utilizan diariamente la energía eléctrica para diferentes finalidades, la energía nuclear es conveniente ya que permite reducir los costos de generación de energía y mantenerlos más estables debido a la independencia energética que se produce del reemplazo de aquellas fuentes ligadas a los combustibles fósiles, lo que se traduce finalmente en una baja del precio final de la electricidad para la ciudadanía (Ministerio de

Energía de Chile, 2010). A diferencia de los combustibles fósiles, el costo que ha tenido el combustible nuclear más utilizado en el mundo por los reactores, es decir el Uranio-235, ha disminuido su costo de producción, y a la vez ha mejorado y aumentado su rendimiento. (World Nuclear Association, 2017).

Sin embargo, las plantas de energía nuclear conllevan una serie de riesgos económicos que desde un punto de vista financiero son muy altos. A día de hoy, las plantas de energía que se construyen o planean ser construidas, están sujetas al arduo y continuo movimiento de los mercados internacionales (Bless et al., 2011); una característica principal del actual modelo económico que predomina en el mundo. Y es que a diferencia de las otras fuentes de energía de carácter convencional, como lo son las centrales energéticas que utilizan combustibles fósiles, las ganancias que se puedan obtener de este tipo de inversión, son a largo plazo y por lo tanto dependen de la vida útil de la instalación (Bless et al., 2011).

Dentro de este tipo de proyectos que implica un alto riesgo financiero, se deben considerar factores como los requerimientos ambientales del lugar en donde se implementará el proyecto, el volumen y manejo de los desechos radiactivos, protección contra la radiación, equipos de seguridad, manejo adecuado de las ropas contaminadas, entre otras (International Atomic Energy Agency, 2018). Además, y sin perjuicio de los riesgos mencionados anteriormente, se debe de igual manera considerar el riesgo social que implica instalar una planta de energía nuclear en una comunidad, sobre todo cuando existe la posibilidad de que no sea un acuerdo transversal entre el gobierno o empresa privada de turno (Bless et al., 2011).

#### **d.d) La continua carrera armamentística.**

Uno de los riesgos permanentes que provoca miedo en la población en general sobre el uso de la energía nuclear, es su potencial uso bélico (Ministerio de Energía de Chile, 2010), lo que finalmente asocia a la energía nuclear con la palabra “destrucción”. Para que estos temores se disiparan entre la población, en 1970 entró en vigor el Tratado, aún vigente, sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares (TNP), “cuyo objetivo es prevenir la propagación de las armas nucleares y la tecnología armamentística, promover la cooperación en la utilización de la

energía nuclear con fines pacíficos e impulsar el objetivo de lograr el desarme nuclear y el desarme general y completo” (Organización de las Naciones Unidas, s.f). No obstante, ha quedado en evidencia que por más esfuerzos que se realicen por apelar a la buena voluntad de los países con tecnología nuclear adheridos a este tratado, la carrera armamentística sobre todo de las potencias mundiales no ha cesado en ningún momento, por lo que la percepción que poseen un gran número de países al respecto, en especial aquellos que están en vías de desarrollo, es que el no cumplimiento del TNP ha dañado de manera paulatina y persistente la legitimidad de este (Armin Andereya, 2008).

### **e) Tópicos Pro Nucleares.**

#### **e.a) Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.**

Según la declaración de la Organización Meteorológica Mundial (2019) sobre el estado del clima mundial entre los años 2015 y 2019, se ha observado un incremento en los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), junto con otros gases de efecto invernadero en la atmósfera, los cuáles han alcanzado una tasa 20% superior a la de cinco años atrás, correspondiendo a niveles récord.

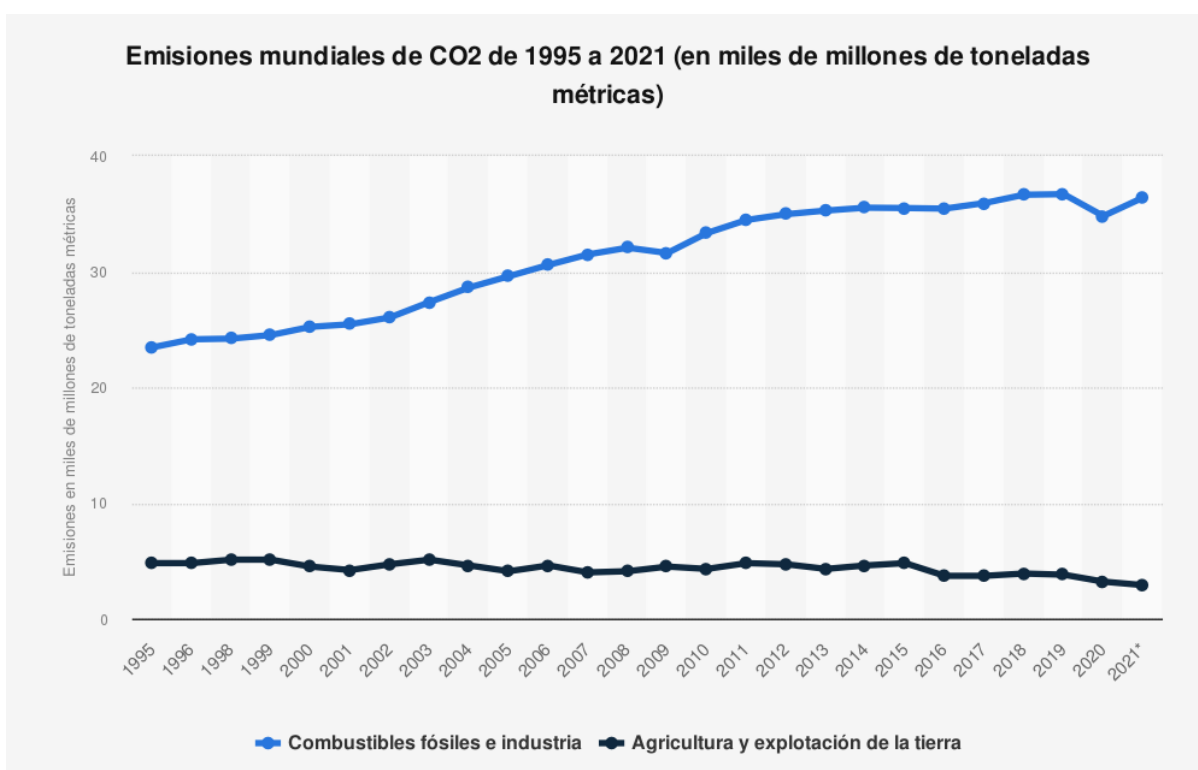
A causa de eso, con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se ha promovido e incrementado el uso de energías renovables tales como energía solar, energía eólica, energía hidráulica, entre otras. Sin embargo, las energías anteriormente mencionadas para cumplir con la demanda energética de la población (considerando que en América Latina es aproximadamente 1.343 TWh), deben ocupar una gran cantidad de terreno (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.). La ocupación de terreno para una central de energía solar fotovoltaica con una potencia de 1.000 MWe, aproximadamente, asciende a entre 20 y 50 km<sup>2</sup>; de igual forma se necesitan entre 50 y 150 km<sup>2</sup> para una central de la misma potencia, pero que genere electricidad a partir de energía eólica. Debido a esto, su invasión al medio ambiente es notoria, como lo es el caso de las granjas eólicas, donde se ha observado como las turbinas obstaculizan el espacio aéreo de diferentes especies migratorias. (Morales Rivas, 2020)

Tomando estos antecedentes en consideración, y tras las alarmantes conclusiones del informe publicado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la Comisión Económica de Naciones Unidas para Europa (UNECE) menciona que en

los últimos cincuenta años la energía nuclear ha evitado la emisión de 74 giga toneladas de dióxido de carbono, lo cual es equivalente a las emisiones globales de dos años, recomendando así que no se excluya a la tecnología nuclear de potencia de la lucha contra el cambio climático. De igual forma, es respaldada por el Foro de la Industria Nuclear Española (s.f.), ya que solo se necesita entre 1 y 4 km<sup>2</sup> para que las centrales nucleares cumplan con la demanda energética de la población, por lo que su invasión al medio ambiente es bastante menor.

Figura 6

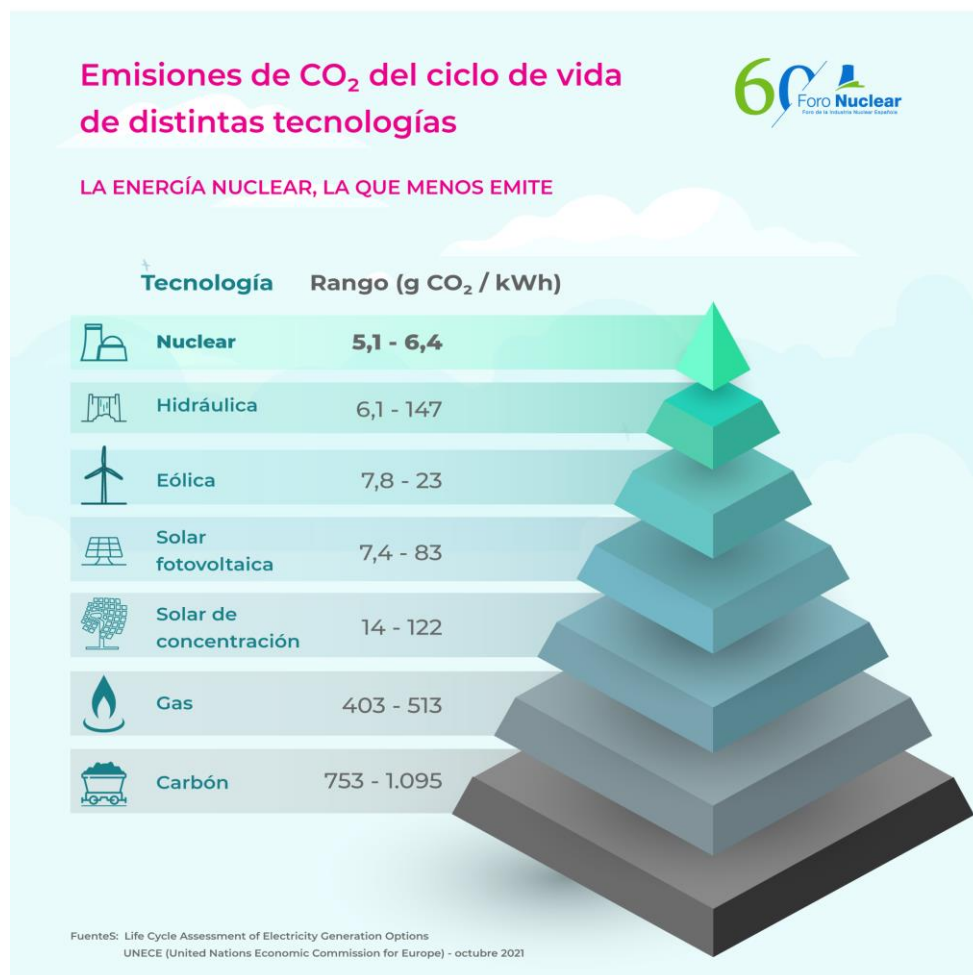
Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> de 1995 a 2021.



*Nota.* Tomado de Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> de 1995 a 2021 (en miles de millones de toneladas métricas). de Global Carbon Project, 2021, Statista.

Figura 7

Emisiones de CO<sub>2</sub> del ciclo de vida de distintas tecnologías.



Nota. Tomado de *Emisiones de CO<sub>2</sub> del ciclo de vida de distintas tecnologías*, de Foro Nuclear, 2021, Foro de la Industria Nuclear Española.

### e.b) Tecnología nuclear avanzada, nuevos reactores nucleares.

A través de los años, los avances tecnológicos han sido cada vez más grandes y también han ayudado a la innovación y al continuo desarrollo de la tecnología nuclear. Esto se puede observar en la evolución de los reactores nucleares, los cuales actualmente suman cuatro generaciones:

- Reactores de Primera Generación:
 

Creados entre los años “1950 y 1960” (Foro de la Industria Nuclear Española, 2020), estos reactores corresponden a los primeros prototipos que se desarrollaron.
  
- Reactores de Segunda Generación:
 

Creados entre los años “1970 y 1980” (Foro de la Industria Nuclear Española, 2020), fueron los primeros reactores que comenzaron a comercializar para la producción de electricidad. “Representan la mayor parte de los reactores actualmente en funcionamiento en el mundo”. (Foro de la Industria Nuclear Española, 2020).
  
- Reactores de Tercera Generación:
 

Creados entre los años “1990 hasta la actualidad” (Foro de la Industria Nuclear Española, 2020), estos son la mejora de los reactores de segunda generación, “teniendo un diseño de vida operacional de 60 años, mayores sistemas de seguridad, mayor eficiencia, menores costos de mantenimiento y construcción”, entre otros. “Actualmente se construyen reactores de tercera generación, pudiéndose subdividir en dos grupos distintos” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.).

  1. Reactores evolutivos de agua en ebullición
  2. Reactores avanzados de agua a presión

Junto a ellos se ha dado inicio a la construcción de los Reactores Modulares Pequeños, los cuales se desarrollaron “como iniciativa del Departamento de Energía del Gobierno de Estados Unidos” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.). Estos nuevos reactores se caracterizan principalmente por la facilidad de la producción de electricidad en zonas aisladas o de difícil acceso, ya que poseen una potencia eléctrica alrededor de 300 MW, siendo menor a la potencia de reactores convencionales, la cual es 745 MW aproximadamente. Algunas de sus ventajas sobre los demás reactores son:

1. Menor necesidad de capital en la inversión inicial.
2. Reducción de los costes de construcción.
3. Flexibilidad en la elección de la ubicación.
4. Aumento de eficiencia al poder acoplarse con otras fuentes de energía, tanto renovables como no renovables.

Cabe destacar que Canadá fue el “primer país en construir un Reactor Modular Pequeño” (Foro de la Industria Nuclear Española, 2021), el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Darlington.

- Reactores de Cuarta Generación:

Estos reactores son un conjunto de diseños, desarrollados por la Generation IV International Forum (GIF), para su utilización en aplicaciones comerciales con niveles de tecnología avanzados. Se espera su entrada en operación a lo largo de las décadas de 2030 y 2040” (Foro de la Industria Nuclear Española, 2020). Sin embargo, para la construcción de los diseños de este reactor, se tuvieron que cumplir los siguientes requisitos impuestos por International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO):

1. Optimizar la seguridad, aprovechando fenómenos naturales.
2. Mantener la competitividad con otras fuentes de energía.
3. Evitar la utilización bélica de materiales radiactivos mediante el desarrollo y mejora de las medidas de no proliferación existentes actualmente.
4. Simplificar las instalaciones y reducir los tiempos de construcción.
5. Desarrollar el estudio y aplicación de factores humanos.
6. Hacer innecesarios los planes de emergencia en el entorno de las centrales por eliminación de la posibilidad de emisiones.

7. Tener en cuenta, desde el comienzo del diseño, la gestión del combustible irradiado y el desmantelamiento al final de la vida útil de las instalaciones, reduciendo la producción de residuos.

En base a lo anterior, se “seleccionaron seis sistemas nucleares basados en una diversidad de diseños” (Foro de la Industria Nuclear Española, 2020), los cuales ofrecen ventajas, sobre los demás reactores, “en los campos de sostenibilidad, economía, seguridad, fiabilidad, la no proliferación y la protección física.” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f)

Figura 8

Generaciones de reactores nucleares.

## Generaciones de reactores nucleares



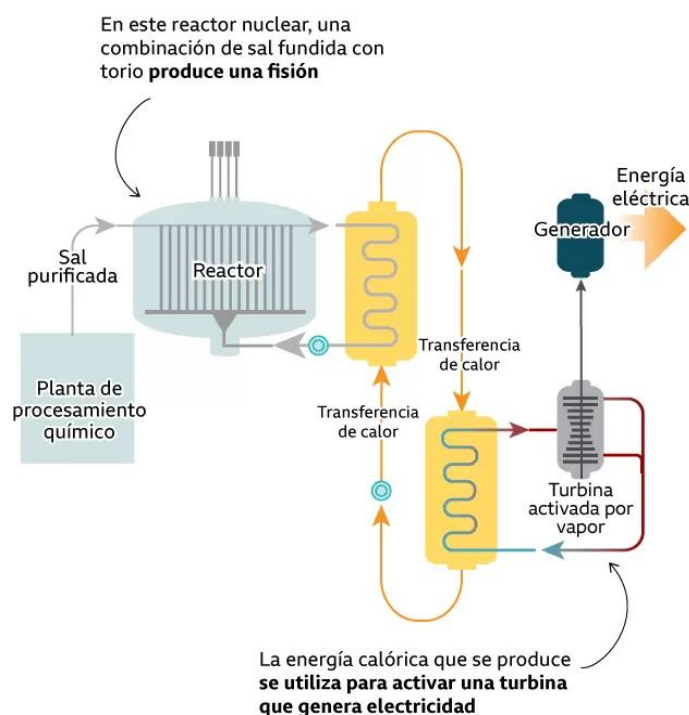
Como menciona BBC News Mundo (2021), en septiembre del año 2021, China dio inicio a los primeros ensayos a un nuevo reactor en base a Torio, al cual todos los científicos a nivel mundial están atentos a los resultados, ya que es la primera vez que se pone a prueba.

Este tipo de reactor funciona “empleando sal fundida de fluoruro en combinación con Torio, el cual es un elemento químico que se encuentra en minerales y que es "cuatro veces" más abundante en el planeta que el uranio” (C. Forsberg, entrevista BBC, 29 de septiembre de 2021). Una ventaja de este tipo de reactor es que la fisión producida genera más calor que el emitido por el método tradicional. Otro beneficio es que pueden construirse en lugares apartados, ya que no ocupa agua para el enfriamiento del núcleo, en este caso ocupan la sal para dicho fin (BBC News Mundo, 2021).

Figura 9

Cómo funciona un reactor de sal fundida

### Cómo funciona un reactor de sal fundida



Nota. Tomado de *Cómo reacciona un reactor de sal fundida*, del Departamento de Energía de EE.UU.

Actualmente, se han realizado avances con respecto a las investigaciones de fusión nuclear. Tal y como menciona BBC News Mundo (2022), los experimentos realizados en el laboratorio Joint European Torus (JET) en Reino Unido han batido su propio récord mundial de la cantidad de energía que se puede extraer, produciendo 59 Megajoules de energía durante cinco segundos (11 megavatios de potencia), siendo más del doble de lo que se logró en pruebas similares en 1997. De esta forma se reafirman las opciones de diseño que se han hecho para un reactor de fusión más grande, que se está construyendo en Francia, el Reactor Experimental Termonuclear Internacional (ITER).

Figura 10

ITER Reactor Experimental Termonuclear Internacional, la energía del futuro.

**ITER** Reactor Experimental Termonuclear Internacional **LA ENERGÍA DEL FUTURO**

**ITER** es un **reactor experimental de fusión** cuyo objetivo es determinar la viabilidad tecnológica y económica de la fusión nuclear por confinamiento magnético para la generación eléctrica.

Ubicación	Participantes
Cadarache, al sur de Francia	Unión Europea India Japón Rusia
	Estados Unidos Corea del Sur China

**Datos**

- 100.000 kilómetros** de hilos superconductores
- 150 millones de grados centígrados** de temperatura de plasma (10 veces más que la del núcleo del sol)
- 500 MW** como meta de potencia energética
- 23.000 toneladas** de peso total del reactor cuando esté finalizado
- 60 metros de altura** del edificio principal
- 42 hectáreas** de terreno
- 830 metros cúbicos** de volumen de plasma del Tokamak
- 5.000 personas** trabajando en su construcción

**Foro Nuclear**  
Foro de la Industria Nuclear Española

Fuentes: ITER y Foro Nuclear

Nota. Tomado de *ITER La energía del futuro*, de Foro Nuclear, Foro de la Industria Nuclear Española.

Las ventajas de este tipo de reactores de fusión, es que “no producirían gases de efecto invernadero y además generan cantidades muy pequeñas de desechos radiactivos de vida corta” (BBC News Mundo, 2022).

De igual manera, es importante destacar que “el litio ha sido considerado como un material fundamental para el desarrollo de futuros reactores de fusión nuclear. Estos reactores utilizarían, principalmente, deuterio y tritio como combustibles” (Lagos Miranda, 2009); éste último, que es escaso en la naturaleza (aguas subterráneas), se obtendría irradiando litio 6 con neutrones, por lo que el litio actuaría como productor de tritio. Con respecto al primero, se puede afirmar que es un isótopo más estable que el tritio, pero al igual que él, es escaso en la naturaleza, ya que solo se puede encontrar en las aguas subterráneas y precipitaciones (Jimenes-Martínez y Custodio, 2008), “tendiendo a ser algo mayor en las aguas subterráneas que en las precipitaciones, debiéndose a los diferentes orígenes de las masas nubosas a lo largo del año y a la diferente ponderación, puesto que la recarga preferente se produce en determinadas épocas del año” (Jimenes-Martinez y Custodio, 2008). Por lo que aproximadamente se encuentra entre 0.001% y 0.028% en la Tierra. (Meija et al., 2016 )

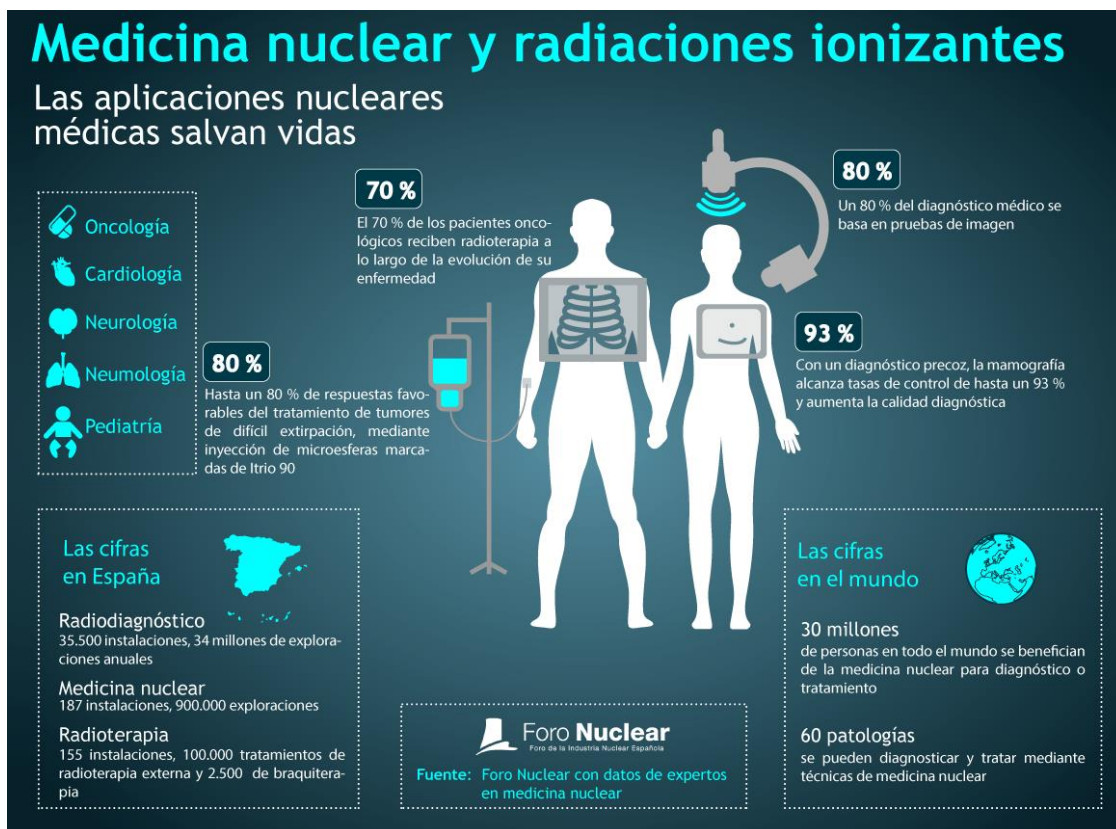
### **e.c) Aplicaciones de la tecnología nuclear.**

La tecnología nuclear, además de la producción de electricidad, tiene aplicaciones en diferentes áreas, tales como:

- Medicina: “La tecnología nuclear se aplica en ramas de la medicina como la oncología, cardiología, neurología, neumología o la pediatría” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.), donde cabe destacar las cifras presentes en la Figura 11 :

Figura 11

Medicina nuclear y radiaciones ionizantes.



Nota. Tomado de *Medicina nuclear y radiaciones ionizantes*, de Foro Nuclear, Foro de la Industria Nuclear Española.

- Medio ambiente: “Las aplicaciones de la tecnología nuclear en el medio ambiente se utilizan para la detección y el análisis de diversos contaminantes” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.), como por ejemplo la técnica de Análisis por Activación Neutrónica, que “consiste en la irradiación de una muestra de tal forma que, a posteriori, se obtienen los espectros gamma que emite” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.).
- Electricidad: “Uno de los principales usos de la tecnología nuclear está relacionado con la producción de energía eléctrica” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.), mediante las centrales nucleares. En este punto es importante

destacar, que las centrales nucleares solamente sirven para la producción de electricidad, no son para la proliferación y construcción de armamento nuclear.

- Minería: “A través de la utilización de sondas nucleares, se puede determinar la física y la química de los suelos, lo que permite conocer si un estrato reúne las condiciones favorables para albergar minerales o combustibles” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.).

#### **Capítulo 4: Marco Teórico**

Se presenta a continuación en forma sintética un conjunto de conceptos teóricos, tanto de Física Nuclear como de Educación y Pedagogía, que a juicio de los autores sustentan la posterior propuesta de la secuencia didáctica para el desarrollo de la competencia argumentativa, con el debate nuclear como contenido de fondo, en el contexto de la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía. De igual manera se presentan los métodos de enseñanza y actividades de aprendizaje que se tendrán en consideración para la realización de la secuencia didáctica.

Se advierte que la forma en que aquí se presentan los conceptos nucleares no necesariamente es la forma en que los tratará en la secuencia didáctica dirigida a las y los estudiantes destinatarios.

##### **a) Conceptos Pedagógicos**

Para los efectos de este marco teórico, los conceptos pedagógicos a utilizar en la producción de la secuencia didáctica de esta Tesina, son de igual importancia que los conceptos físicos, ya que para lograr el objetivo de desarrollo de la competencia de argumentación científica en los estudiantes es importante repasar previamente, al menos, los siguientes conceptos:

##### **a.a) Concepciones Alternativas**

“Las concepciones alternativas se refieren a las nociones que los alumnos traen consigo antes del aprendizaje formal de una determinada materia” (Oscar, s.f.), por lo que “son naturalmente intuitivas y la mayoría de las veces erróneas” (Oscar, s.f.), lo cual es fácil de

evidenciar en la sala de clases donde algún profesor o profesora recibe “respuestas curiosas que revelan ocasionalmente la profunda incomprensión de algún concepto clave” (Carrascosa, 2005).

Estos conocimientos alternativos se “caracterizan por ser construcciones personales en interacción cotidiana con el mundo” (Cuéllar, s.f.), es decir, “la influencia de las experiencias físicas cotidianas; la influencia del lenguaje de la calle, oral y escrito, tanto de las personas con que normalmente nos relacionamos como de los diferentes medios de comunicación” (Carrascosa, 2005), como lo son “la televisión y la prensa escrita a los cuales, en principio, cabe exigirles un cierto rigor, se dan con cierta frecuencia noticias que contienen claros errores conceptuales” (Carrascosa, 2005).

Sin embargo, estas concepciones son capaces de “evolucionar a medida que se construye el conocimiento” (Oscar, s.f.), mediante diferentes procesos pedagógicos de enseñanza, con el propósito de generar un aprendizaje significativo.

### **a.b) Aprendizaje Significativo**

“Durante muchos años, se consideraba que el concepto de aprendizaje era sinónimo de cambio de conducta” (Ausubel, s.f.). Sin embargo, el aprendizaje no es un simple cambio de conducta, sino que “conduce a un cambio en el significado de la experiencia” (Ausubel, s.f.), ya que esta no solo se trata del pensamiento, sino que también la afectividad tiene un papel importante, pero únicamente cuando se consideran en conjunto la persona es capaz de enriquecer el significado de su experiencia. (Ausubel, s.f.)

David Paul Ausubel, psicólogo y pedagogo estadounidense, plantea que el aprendizaje de los y las estudiantes depende de los conocimientos previos o concepciones alternativas que se relacionan con la nueva información, por lo que es de gran importancia conocer dichas concepciones, donde no solo se trata de saber la cantidad de información que posee, sino cuales son los conceptos y proposiciones que maneja así como su grado de estabilidad.

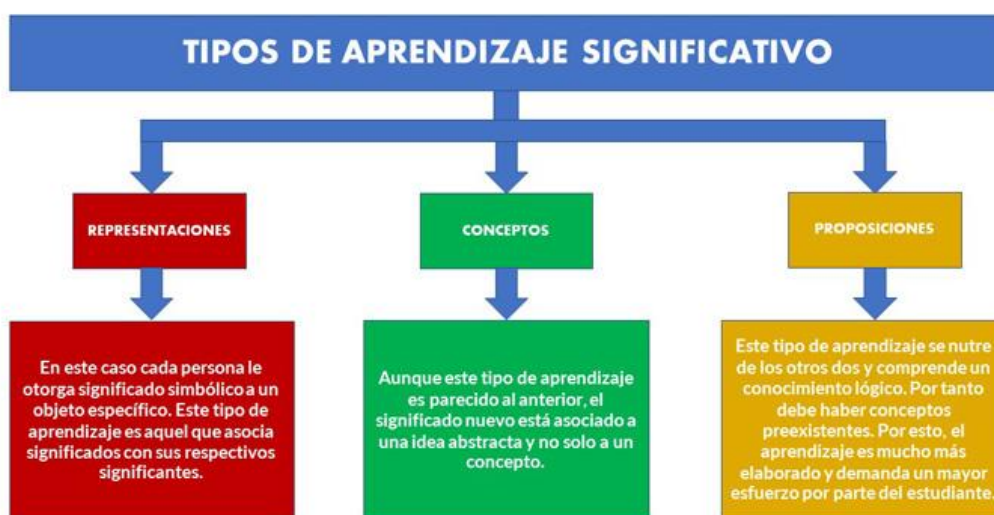
Ausubel (s.f.) resume la teoría del aprendizaje significativo con la siguiente frase “El factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averigüe esto y enseñe consecuentemente.”

Se debe tener claro que la característica más importante del aprendizaje significativo, es que se encarga de producir una interacción entre las concepciones alternativas y la nueva información, de tal forma que estas adquieren un significado y son integradas en su estructura cognitiva de manera no arbitraria y sustancial, por lo que favorece la diferenciación de estas, su evolución y estabilidad (Ausubel, s.f.). A diferencia del aprendizaje mecánico en el que la nueva información es almacenada por los y las estudiantes de forma arbitraria sin interactuar con las concepciones alternativas, como por ejemplo, la memorización de fórmulas físicas.

Por lo que para llevar a cabo el aprendizaje significativo, los y las estudiantes deben manifestar una disposición para relacionar de forma sustancial y no arbitrariamente sus concepciones alternativas con la nueva información que se les va a entregar. (Ausubel, s.f.)

Figura 12

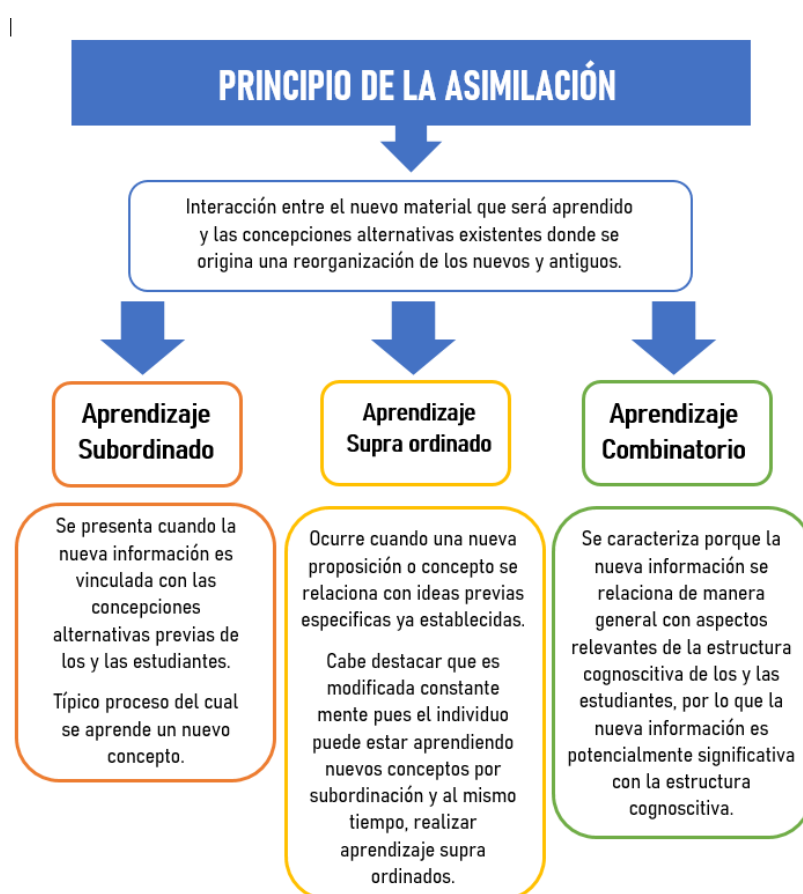
Tipos de aprendizaje significativo.



Nota. Tomado de *Tipos de aprendizaje significativo*, de Educapeques.

Figura 13

Principio de la asimilación.



*Nota.* Tomado del *Principio de la Asimilación*, de elaboración propia de los autores.

Como se ha mencionado anteriormente, durante el proceso de asimilación las concepciones alternativas en la “estructura cognitiva de los y las estudiantes se modifican adquiriendo nuevo significados” (Ausubel, s.f.). Sin embargo, la presencia sucesiva de este proceso produce una elaboración adicional jerárquica de los conceptos, produciendo así una diferenciación progresiva, donde los conceptos previos están siendo reelaborados y modificados constantemente, adquiriendo nuevos significados. Este proceso se presenta principalmente en el aprendizaje subordinado.

En cambio, si durante el proceso de asimilación “las ideas ya establecidas son reconocidas y relacionadas en el curso de un nuevo aprendizaje posibilitando una nueva

organización y la atribución de un significado nuevo” (Ausubel, s.f.) se le denomina reconciliación integradora. Este proceso se presenta durante los aprendizajes supra ordenados y combinatorios.

Cabe destacar que ambos son procesos que se encuentran estrechamente relacionados entre sí, y que ocurren a medida que el aprendizaje significativo se desarrolla (Ausubel, s.f.).

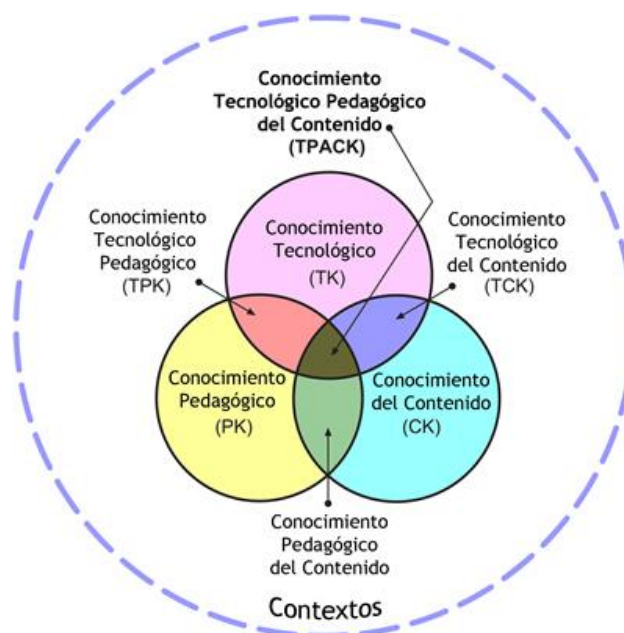
### **a.c) Modelo TPACK**

Los dos conceptos mencionados anteriormente corresponden a una parte importante de los conocimientos del ámbito pedagógico que deben tener los y las docentes para una enseñanza efectiva, aparte de los conocimientos de sus disciplinas correspondientes. Estos se complementan entre sí encargándose “del proceso de enseñanza, incluyendo las formas de representar y formular el tema, que hacen que sea comprensible para los alumnos.” (Pacheco, 2014) En términos más sencillos, los y las docentes deben saber qué enseñar y también cómo enseñarlo si se desea generar aprendizaje significativo.

Los avances tecnológicos han llegado al aula hace unos años, pero con discutibles resultados a la hora de mejorar la calidad de la enseñanza y los resultados de aprendizaje, por lo que a los y las docentes se les ha complejizado su tarea, ya que se agrega ahora otro conocimiento importante y muy necesario, el conocimiento tecnológico. Por lo que surge la siguiente pregunta: “¿cómo pueden los docentes integrar tecnología en su enseñanza?” (Matthew et al., 2015)

Figura 14

Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido (TPACK)



Nota. Tomado de *Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido (TPACK)*, de Matthew, 2015, ¿Qué son los Saberes Tecnológicos y Pedagógicos del contenido (TPACK)?

Para ello se “requiere que los educadores desarrollen nuevas maneras de entender y acomodar esta complejidad” (Matthew et al., 2015), sin embargo se requiere tiempo y dedicación para poder aprender el Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido (TPACK sus siglas en inglés).

Como se puede mostrar en Figura 14, uno de los núcleos del modelo TPACK es el conocimiento del contenido (CK) el cual corresponde a “el saber que el docente ha construido sobre la disciplina que enseña” (Matthew et al., 2015). Este conocimiento incluye conceptos, teorías, ideas, marcos organizativos, evidencia, pruebas, etc, donde los y las docentes deberán “comprender los conceptos profundos y fundamentales de la disciplina que enseñan” (Matthew et al., 2015).

Otro conocimiento importante que se puede apreciar en la Figura 14, es el conocimiento pedagógico (PK) el cual corresponde a los “conocimientos profundos que tienen los docentes sobre los procesos y prácticas o métodos de enseñanza y aprendizaje” (Matthew et al., 2015).

Por lo que es de suma importancia que los docentes sean capaces de comprender cómo aprenden sus estudiantes, cómo construyen y aprenden habilidades, buscar estrategias de manejo de clases, planificarlas adecuadamente y realizar evaluaciones correspondientes a las habilidades que desea desarrollar.

El conocimiento pedagógico del contenido (PCK) consiste en la combinación de ambos conocimientos mencionados anteriormente, es decir, saber transformar, adaptar y confeccionar los materiales necesarios para identificar las concepciones alternativas de sus estudiantes a su disciplina para su enseñanza.

Otro conocimiento que corresponde ser un núcleo fundamental para el modelo TPACK, es el conocimiento de la tecnología (TK), el cual es más complicado definirlo que los conocimientos anteriores, ya que la tecnología va evolucionando y cambiando constantemente. Sin embargo, el propósito de este conocimiento es que “las personas comprendan ampliamente la tecnología lo suficiente para aplicar productivamente” (Matthew et al., 2015).

Al juntar el conocimiento del contenido (CK) y el conocimiento de la tecnología (TK), se tiene el conocimiento sobre el contenido tecnológico (TCK) el cual tiene como propósito comprender el impacto de las tecnologías en las prácticas y el conocimiento de una disciplina dada, para desarrollar herramientas tecnológicas apropiadas para dichos propósitos educativos.

De igual forma, al relacionar el conocimiento pedagógico (PK) con el conocimiento tecnológico (TK), se obtiene el conocimiento tecnológico pedagógico (TPK) el cual es un “modo de comprender cómo la enseñanza y el aprendizaje pueden cambiar cuando tecnologías particulares están siendo usadas de manera particulares” (Matthew et al., 2015), por lo que es importante conocer las posibilidades y limitaciones pedagógicas con respecto a las herramientas tecnológicas.

Todos los conocimientos mencionados anteriormente conforman lo que se conoce como modelo TPCK (Saberes Tecnológicos y Pedagógicos del Contenido) el cual se “refiere a la comprensión que surge de la interacción entre los saberes de contenido, pedagogía y tecnología” (Matthew et al., 2015). Sin embargo, se requiere una comprensión de la representación de

conceptos usando habilidades tecnológicas y pedagógicas que usan las tecnologías de manera constructiva para enseñar contenidos.

Tabla 1

Enfoques para desarrollar TPACK.

Enfoques para desarrollar TPACK	Descripción
Desde el PCK al TPACK	Los docentes se basan en sus saberes pedagógicos y disciplinares previos (PCK) para formular argumentos sobre qué tipo de tecnologías podría resultar mejores para metas de aprendizajes específicas (ver Harris y Hofer, 2009; Doering, Scharber, Miller y Veletsianos, 2009).
Desde el TPK to TPACK	Los docentes construyen desde sus saberes de tecnología en general el desarrollo expertos en el uso de tecnología en contextos de aprendizaje: luego usan esos saberes para identificar y desarrollar contenido específico que se benefician como resultado de la enseñanza con la estrategias que incluyen el uso de tecnología (ver Angeli y Valanides, 2009)
Desarrollo simultáneo de PCK y TPACK	Los docentes desarrollan experiencias y saberes a través de proyectos que requiere que ellos definan, diseñen y perfeccionen soluciones a problemas y escenarios de aprendizaje. El proceso de diseño hace las veces de un disparador para las actividades que permiten pensamiento profundo en las maneras en que la tecnología, pedagogía y disciplina interactúan para crear formas especializadas de saberes (ver Mishra y Koehler, 2006; Brush y Saye, 2009).

*Nota.* Tomado de *Conocimiento Tecnológico Pedagógico del Contenido (TPACK)*, de Matthew, 2015, ¿Qué son los Saberes Tecnológicos y Pedagógicos del contenido (TPACK)?

Diversos autores como Koh y Chai (2016) y Salas-Rueda (2018) han ocupado este marco de referencia en diferentes centros educativos. Los primeros implementaron el modelo TPACK para temas sociales, por medio de la aplicación de Google Doc (PK) y el aprendizaje basado en la investigación (CK). Mientras que el segundo autor, enfocó el modelo para “facilitar la incorporación del software Raptor (TIC usada para la creación de mapas conceptuales o esquemas), videos de la plataforma YouTube y la red social Facebook en el uso educativo sobre las matemáticas”. (Salas-Rueda, 2019)

## **b) Métodos de Enseñanza y Actividades de Aprendizaje**

Para los fines que persigue el presente trabajo, el método de enseñanza y de trabajo a utilizar será el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). Este se caracteriza por ser un modelo de aprendizaje, en el cual “los estudiantes planean, implementan y evalúan proyectos que tienen aplicación en el mundo real más allá del aula de clase” (Galeana, s.f., p.1).

Considerando los desafíos actuales que enfrenta la educación escolar, es imprescindible “poner énfasis en el desarrollo de habilidades y dejar de lado la enseñanza basada en la repetición de contenidos, ya que integrar nueva información tiene sentido para el/la estudiante cuando se pone en práctica con un propósito relevante para su vida” (Sotomayor, Vaccaro y Téllez, 2021, p.1). Los y las estudiantes adquieren un papel más relevante en su proceso de aprendizaje, y se espera que desarrollen procesos cognitivos de rango superior como “reconocimiento de problemas, priorización, recogida de información, comprensión e interpretación de datos, establecimiento de relaciones lógicas, planteamiento de conclusiones o revisión crítica de preconceitos y creencias” (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España, 2015, p.2)

En este sentido, el ABP nos permitirá promover en los y las estudiantes, un trabajo colaborativo en torno a una pregunta compleja. que puede ser abordada no sólo desde una perspectiva disciplinar como lo es en este caso la física, sino también desde diferentes perspectivas y áreas del conocimiento (Unidad de Currículum y Evaluación, 2019).

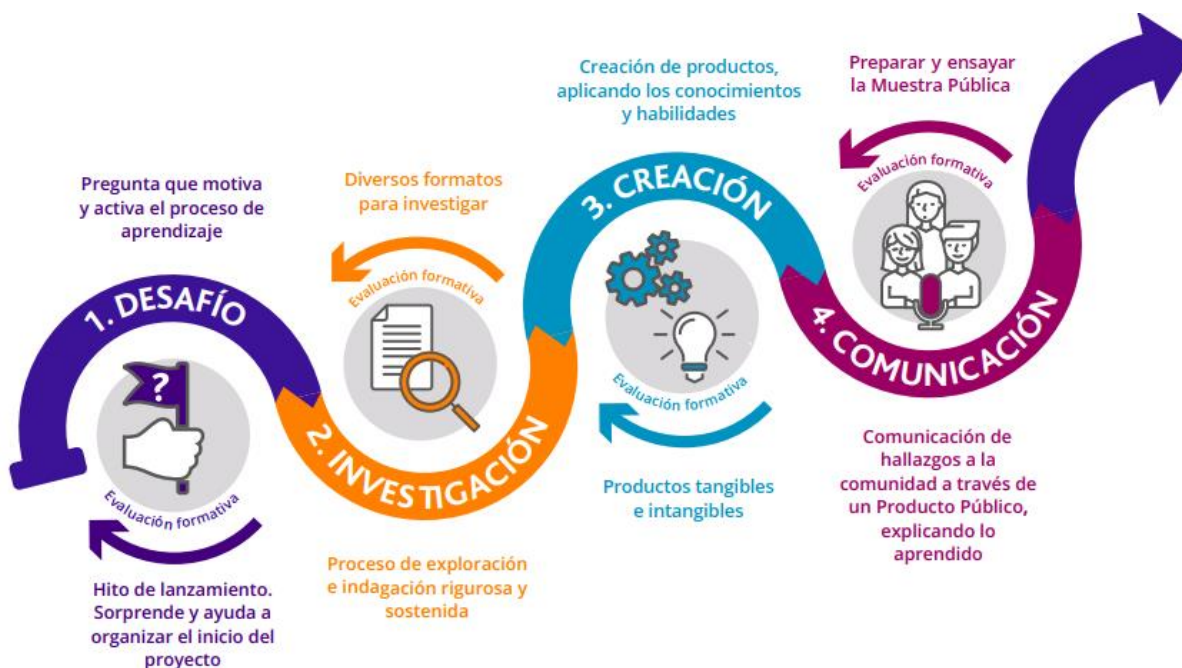
Para conseguir los objetivos que plantea esa metodología de enseñanza, los y las estudiantes según Sotomayor et al. (2021) recorrerán cuatro etapas o fases, que no necesariamente tienen que ser lineales, las cuales se describen a continuación:

- **Desafío:** En esta etapa los y las estudiantes se involucran con la problemática expresada a través de una pregunta desafiante, que se caracteriza por ser auténtica, significativa y motivadora.
- **Investigación:** Los y las estudiantes deben dar una respuesta al desafío implantado desde la búsqueda de información de múltiples fuentes.

- Creación: Luego de llevar a cabo una investigación, se espera que los y las estudiantes construyan un producto que sea tangible o intangible, en el que expongan los resultados de su trabajo de indagación.
- Comunicación: Finalmente, los y las estudiantes dan cuenta de manera pública, los aprendizajes desarrollados durante toda la etapa del proyecto.

Lo anterior se puede resumir en la siguiente infografía:

Figura 15  
Aprendizaje Basado en Proyectos



*Nota.* Tomado de *Aprendizaje Basado en Proyectos*, Un enfoque pedagógico para potenciar los procesos de aprendizaje de hoy (p.4), por Sotomayor et al.,2021.

En cuanto a las actividades de aprendizaje a utilizar durante este trabajo, se destacará principalmente al debate estudiantil, el cual se puede definir como “una estrategia de enseñanza-aprendizaje que consiste en la confrontación de distintos puntos de vista con la finalidad de llegar a un juicio sólidamente sustentado” (Cobo, Valdivia y Peralta, 2017, p.5).

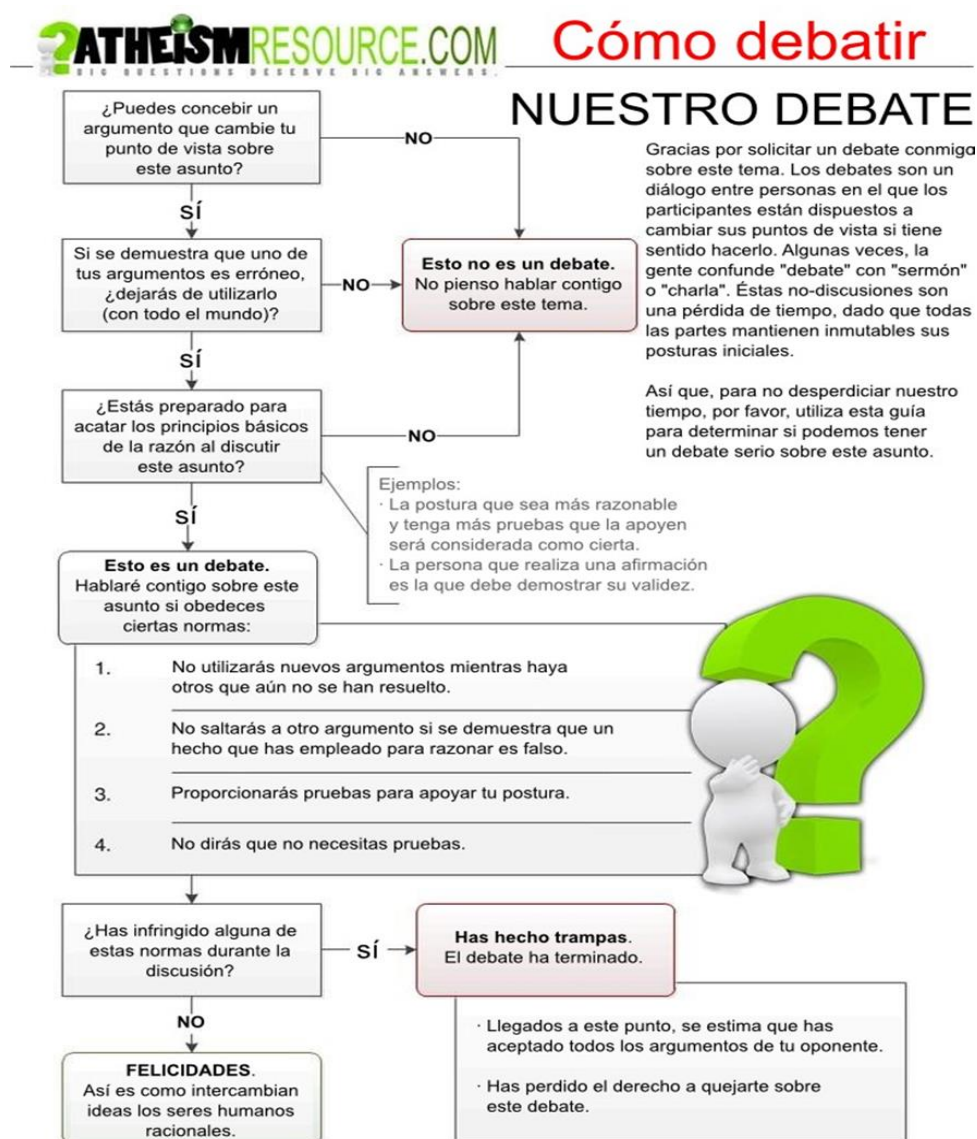
Considerando los principales objetivos y características que posee este trabajo, el uso del debate como una estrategia de enseñanza, cobra especial relevancia “pues debatir supone

adquirir... nuevas destrezas y conocimientos, al tiempo que se estimula la reflexión crítica sobre los mismos” (García y Ortega, 2017, p.51). En especial, las nuevas destrezas que adquieren los y las estudiantes al utilizar este tipo de enseñanza - aprendizaje, está ligada con sus capacidades investigación y argumentación, pues necesitan ideas sustentadas en información verídica para apoyar sus puntos de vista. (García y Ortega, 2017).

A continuación, se describen las reglas básicas de un debate en la Figura 16.

Figura 16

Reglas básicas de un debate.



Nota. Tomado de Diagrama para debatir cualquier tema con alguien, por Sebastián Parra, 2012, Xatakaciencia, <https://www.xatakaciencia.com/otros/diagrama-para-debatir-cualquier-tema-con-alguien>

No obstante, será trabajo y preocupación del docente que el trabajo a desarrollar durante toda esta secuencia didáctica, fomente la colaboración y el trabajo en equipo, y no sólo la competencia entre equipos con visiones distintas.

### **c) Modelo argumentativo de Toulmin.**

En este modelo se destaca postulado por Stephen Toulmin en su trabajo *The Uses of Argument* (1958), se establece “un modelo de argumentación que consta de seis partes a través de las cuales pueden ser analizados los argumentos retóricos” (Rodríguez Bello, 2004, p.4). Este modelo ampliamente utilizado en diferentes campos, para fines de este trabajo será utilizado como una dinámica de diálogo entre los estudiantes los cuales para sostener un punto de vista, deberán exponer razones, recibir y enfrentar objeciones, y, quizás, modificar sus puntos de vista (Henaó y Stipcich, 2008). Considerando los aspectos más importantes del modelo de Toulmin, es que distingue un tipo de argumento llamado “argumentos sustantivos” en donde se evalúan a partir de los contenidos de este, y de sus relevancias y fortalezas (Pinochet, 2015).

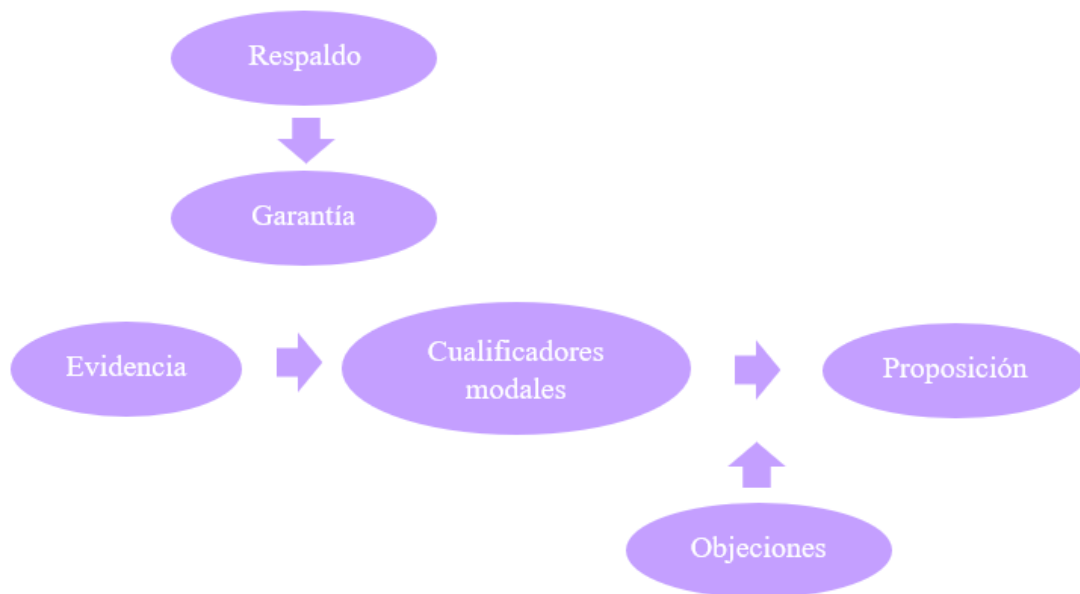
A partir de lo analizado por Rodríguez Bello (2004) se puede establecer la estructura de un argumento en donde a partir de una evidencia (datos), se establece una aserción o proposición. Una garantía permite justificar y conectar la evidencia con la proposición, apoyada de un sustento teórico, práctico o experimental llamado respaldo. Para interpretar la proposición como verdadera, contingente o probable, se utilizan los cualificadores modales. Por último, para toda proposición, se deben considerar sus objeciones o reservas. A continuación se detallan cada uno de estas partes (González, 2019):

- Aserción o proposición: Corresponde al asunto a debatir, demostrar o defender, la cual el argumentador quiere que sea aceptada.
- Evidencia o datos: Quien argumenta debe dar una serie de razones o hechos que defiendan su aserción o proposición. Lo anterior está contenido en la evidencia, y estas deben ser suficientes y relevantes.
- Garantía: Consiste en una justificación que permite unir a los elementos anteriores.

- Respaldo: Su función es demostrar que la garantía es válida y relevante. Pueden ser datos estadísticos, estudios científicos, testimonios orales, etc.
- Cualificador modal: Corresponde al grado de probabilidad o grado de certeza de la proposición o aserción, indicado por el argumentador.
- Reservas u objeciones: Es la excepción de la aserción presentada, es decir, son las posibles objeciones que puede tener lo presentado en un comienzo.

Figura 17

Esquema Modelo argumentativo de Toulmin.



*Nota.* En esta imagen se muestra un esquema tipo resumen del Modelo argumentativo de Toulmin.

## d) Conceptos Básicos de Física Nuclear

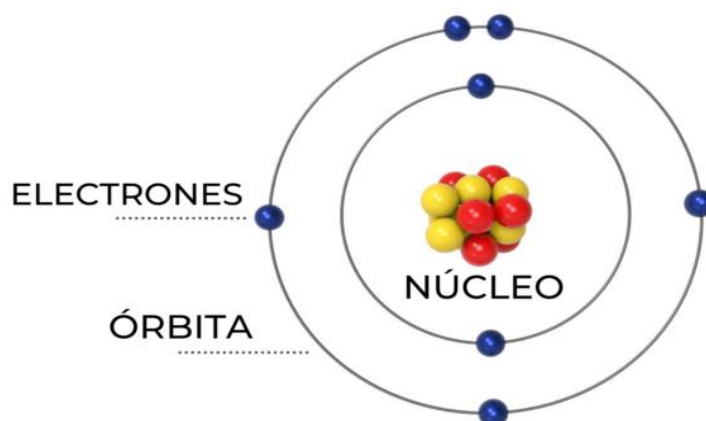
### d.a) Partículas subatómicas

Sin duda, una de las ideas fundamentales para comprender la tecnología nuclear, es el hecho de que se asume que toda la materia está compuesta por estructuras muy pequeñas llamadas átomos. Estos a su vez están conformados por otras estructuras aún más pequeñas llamadas partículas subatómicas. El modelo más simple de un átomo (Figura 18) en una primera

aproximación consiste en núcleo denso, compuesto de dos partículas subatómicas llamadas protones y neutrones, y alrededor de este núcleo se encuentra una nube cargada negativamente, compuesta por una tercera partícula subatómica llamada electrón (Kenneth Shultis, 2002). A continuación, se presenta la Tabla 2, en la cual se mencionan las masas y cargas eléctricas de cada una de las partículas mencionadas anteriormente.

Figura 18

Modelo atómico de Bohr



*Nota.* Tomado de Modelo atómico de Bohr, por Julia Máxima Uriarte, 2021, Características.co (<https://www.caracteristicas.co/modelo-atomico-de-bohr/>)

Tabla 2

Partículas subatómicas y sus características.

Partícula Subatómica/ Características	Masa (kg)	Carga Eléctrica (C)
Protón	$1,6725 \times 10^{-27}$	$+1,602 \times 10^{-19}$
Neutrón	$1,6748 \times 10^{-27}$	0
Electrón	$9 \times 10^{-31}$	$-1,602 \times 10^{-19}$

*Nota.* Elaboración propia de los autores.

#### **d.b) Características del Núcleo**

Tal y cómo se especificó en los párrafos anteriores, el átomo es una estructura muy pequeña en la cual su núcleo posee un radio de tan solo 1/100000 veces el tamaño del átomo, y una densidad de  $1,5 \cdot 10^{18} \text{ Kg/m}^3$  (González Medina, s.f.).

Es posible identificar un átomo gracias al número de neutrones y protones presentes en su núcleo. El Número atómico (Z), nos proporciona información acerca de la cantidad de protones presentes en el núcleo, en tanto el Número másico (A), nos proporciona información acerca de la cantidad de nucleones presentes en el núcleo, es decir la cantidad de protones y neutrones, y, además, nos permite conocer la cantidad de masa aproximada presente en el núcleo (en uma).

Debido a que el gramo no es la unidad de medida más adecuada para expresar la masa de un núcleo, se utiliza comúnmente otra llamada unidad de masa atómica (uma o u), definida a partir de la doceava parte de la masa de un átomo de carbono 12. En términos prácticos se puede establecer lo siguiente:


$$1 \text{ uma} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$$

En el sistema periódico de los elementos químicos, es posible encontrar un apartado llamado peso atómico que puede ser definido “como el promedio de la masa atómica de todos los isótopos de un elemento” (Significados, s.f.). A continuación se adjunta la Figura 19, la cual corresponde a una tabla periódica de los elementos:

Figura 19

Tabla periódica de los elementos

## Tabla Periódica de los Elementos



**1** 1.008  
**H** hidrógeno

**2** 4.004  
**He** helio

**3** 6.94  
**Li** litio

**4** 9.0122  
**Be** berilio

**5** 12.011  
**B** boro

**6** 12.011  
**C** carbono

**7** 14.007  
**N** nitrógeno

**8** 15.999  
**O** oxígeno

**9** 18.998  
**F** flúor

**10** 20.180  
**Ne** neón

**11** 22.990  
**Na** sodio

**12** 24.305  
**Mg** magnesio

**13** 26.982  
**Al** aluminio

**14** 28.086  
**Si** silicio

**15** 30.974  
**P** fósforo

**16** 32.06  
**S** azufre

**17** 35.45  
**Cl** cloro

**18** 39.948  
**Ar** argón

**19** 39.098  
**K** potasio

**20** 40.078  
**Ca** calcio

**21** 44.956  
**Sc** escandio

**22** 47.88  
**Ti** titanio

**23** 50.942  
**V** vanadio

**24** 51.996  
**Cr** cromo

**25** 54.938  
**Mn** manganeso

**26** 55.845  
**Fe** hierro

**27** 58.933  
**Co** cobalto

**28** 58.933  
**Ni** níquel

**29** 63.546  
**Cu** cobre

**30** 65.38  
**Zn** zinc

**31** 69.723  
**Ga** galio

**32** 72.63  
**Ge** germanio

**33** 74.922  
**As** arsénico

**34** 78.971  
**Se** selenio

**35** 79.904  
**Br** bromo

**36** 83.796  
**Kr** kriptón

**37** 85.468  
**Rb** rubidio

**38** 87.62  
**Sr** estroncio

**39** 88.906  
**Y** itrio

**40** 91.224  
**Zr** circonio

**41** 92.906  
**Nb** niobio

**42** 95.96  
**Mo** molibdeno

**43** 98.906  
**Tc** tecnecio

**44** 101.07  
**Ru** rutenio

**45** 102.91  
**Rh** rodio

**46** 106.42  
**Pd** paladio

**47** 107.87  
**Ag** plata

**48** 112.41  
**Cd** cadmio

**49** 114.82  
**In** indio

**50** 118.71  
**Sn** estaño

**51** 121.76  
**Sb** antimonio

**52** 127.46  
**Te** telurio

**53** 126.91  
**I** yodo

**54** 131.29  
**Xe** xenón

**55** 132.91  
**Cs** cesio

**56** 137.33  
**Ba** bario

**57** 138.91  
**La** lantano

**58** 140.12  
**Ce** cerio

**59** 140.91  
**Pr** praseodimio

**60** 144.24  
**Nd** neodimio

**61** 144.91  
**Pm** promecio

**62** 150.36  
**Sm** samario

**63** 151.96  
**Eu** europio

**64** 157.25  
**Gd** gadolinio

**65** 158.93  
**Tb** terbio

**66** 162.50  
**Dy** disprosio

**67** 164.93  
**Ho** holmio

**68** 167.26  
**Er** erbio

**69** 168.93  
**Tm** tulio

**70** 173.05  
**Yb** iterbio

**71** 174.97  
**Lu** lutecio

**72** 175.04  
**Hf** hafnio

**73** 178.49  
**Ta** tántalo

**74** 180.95  
**W** wolframio

**75** 183.84  
**Re** renio

**76** 186.21  
**Os** osmio

**77** 192.22  
**Ir** iridio

**78** 195.08  
**Pt** platino

**79** 196.97  
**Au** oro

**80** 200.59  
**Hg** mercurio

**81** 204.38  
**Tl** talio

**82** 208.2  
**Pb** plomo

**83** 208.98  
**Bi** bismuto

**84** 209  
**Po** polonio

**85** 210  
**At** astato

**86** 222  
**Rn** radón

**87** 223  
**Fr** francio

**88** 226  
**Ra** radio

**89** 227  
**Ac** actinio

**90** 232.04  
**Th** torio

**91** 232.04  
**Pa** protactinio

**92** 238.03  
**U** uranio

**93** 237  
**Np** neptunio

**94** 244  
**Pu** plutonio

**95** 244  
**Am** americio

**96** 247  
**Cm** curio

**97** 247  
**Bk** berkelio

**98** 251  
**Cf** californio

**99** 252  
**Es** einstenio

**100** 257  
**Fm** fermio

**101** 257  
**Md** mendelevio

**102** 259  
**No** nobelio

**103** 261  
**Lr** lawrencio

**104** 261  
**Rf** rutherfordio

**105** 262  
**Db** dubnio

**106** 263  
**Sg** seaborgio

**107** 263  
**Bh** bohrio

**108** 265  
**Hs** hasio

**109** 265  
**Mt** meitnerio

**110** 266  
**Ds** darmstadtio

**111** 267  
**Rg** roentgenio

**112** 267  
**Cn** copernicium

**113** 268  
**Nh** nihonio

**114** 269  
**Fl** flerovio

**115** 269  
**Mc** moscovio

**116** 269  
**Lv** livermorio

**117** 269  
**Ts** teneso

**118** 269  
**Og** oganesson

**119** 269  
**Uue** ununennium

**120** 269  
**Ubn** unbinilium

**121** 269  
**Ubu** untrium

**122** 269  
**Ubl** unquadrum

**123** 269  
**Ubl** unquadrum

**124** 269  
**Ubl** unquadrum

**125** 269  
**Ubl** unquadrum

**126** 269  
**Ubl** unquadrum

**127** 269  
**Ubl** unquadrum

**128** 269  
**Ubl** unquadrum

**129** 269  
**Ubl** unquadrum

**130** 269  
**Ubl** unquadrum

**131** 269  
**Ubl** unquadrum

**132** 269  
**Ubl** unquadrum

**133** 269  
**Ubl** unquadrum

**134** 269  
**Ubl** unquadrum

**135** 269  
**Ubl** unquadrum

**136** 269  
**Ubl** unquadrum

**137** 269  
**Ubl** unquadrum

**138** 269  
**Ubl** unquadrum

**139** 269  
**Ubl** unquadrum

**140** 269  
**Ubl** unquadrum

**141** 269  
**Ubl** unquadrum

**142** 269  
**Ubl** unquadrum

**143** 269  
**Ubl** unquadrum

**144** 269  
**Ubl** unquadrum

**145** 269  
**Ubl** unquadrum

**146** 269  
**Ubl** unquadrum

**147** 269  
**Ubl** unquadrum

**148** 269  
**Ubl** unquadrum

**149** 269  
**Ubl** unquadrum

**150** 269  
**Ubl** unquadrum

**151** 269  
**Ubl** unquadrum

**152** 269  
**Ubl** unquadrum

**153** 269  
**Ubl** unquadrum

**154** 269  
**Ubl** unquadrum

**155** 269  
**Ubl** unquadrum

**156** 269  
**Ubl** unquadrum

**157** 269  
**Ubl** unquadrum

**158** 269  
**Ubl** unquadrum

**159** 269  
**Ubl** unquadrum

**160** 269  
**Ubl** unquadrum

**161** 269  
**Ubl** unquadrum

**162** 269  
**Ubl** unquadrum

**163** 269  
**Ubl** unquadrum

**164** 269  
**Ubl** unquadrum

**165** 269  
**Ubl** unquadrum

**166** 269  
**Ubl** unquadrum

**167** 269  
**Ubl** unquadrum

**168** 269  
**Ubl** unquadrum

**169** 269  
**Ubl** unquadrum

**170** 269  
**Ubl** unquadrum

**171** 269  
**Ubl** unquadrum

**172** 269  
**Ubl** unquadrum

**173** 269  
**Ubl** unquadrum

**174** 269  
**Ubl** unquadrum

**175** 269  
**Ubl** unquadrum

**176** 269  
**Ubl** unquadrum

**177** 269  
**Ubl** unquadrum

**178** 269  
**Ubl** unquadrum

**179** 269  
**Ubl** unquadrum

**180** 269  
**Ubl** unquadrum

**181** 269  
**Ubl** unquadrum

**182** 269  
**Ubl** unquadrum

**183** 269  
**Ubl** unquadrum

**184** 269  
**Ubl** unquadrum

**185** 269  
**Ubl** unquadrum

**186** 269  
**Ubl** unquadrum

**187** 269  
**Ubl** unquadrum

**188** 269  
**Ubl** unquadrum

**189** 269  
**Ubl** unquadrum

**190** 269  
**Ubl** unquadrum

**191** 269  
**Ubl** unquadrum

**192** 269  
**Ubl** unquadrum

**193** 269  
**Ubl** unquadrum

**194** 269  
**Ubl** unquadrum

**195** 269  
**Ubl** unquadrum

**196** 269  
**Ubl** unquadrum

**197** 269  
**Ubl** unquadrum

**198** 269  
**Ubl** unquadrum

**199** 269  
**Ubl** unquadrum

**200** 269  
**Ubl** unquadrum

**201** 269  
**Ubl** unquadrum

**202** 269  
**Ubl** unquadrum

**203** 269  
**Ubl** unquadrum

**204** 269  
**Ubl** unquadrum

**205** 269  
**Ubl** unquadrum

**206** 269  
**Ubl** unquadrum

**207** 269  
**Ubl** unquadrum

**208** 269  
**Ubl** unquadrum

**209** 269  
**Ubl** unquadrum

**210** 269  
**Ubl** unquadrum

**211** 269  
**Ubl** unquadrum

**212** 269  
**Ubl** unquadrum

**213** 269  
**Ubl** unquadrum

**214** 269  
**Ubl** unquadrum

**215** 269  
**Ubl** unquadrum

**216** 269  
**Ubl** unquadrum

**217** 269  
**Ubl** unquadrum

**218** 269  
**Ubl** unquadrum

**219** 269  
**Ubl** unquadrum

**220** 269  
**Ubl** unquadrum

**221** 269  
**Ubl** unquadrum

**222** 269  
**Ubl** unquadrum

**223** 269  
**Ubl** unquadrum

**224** 269  
**Ubl** unquadrum

**225** 269  
**Ubl** unquadrum

**226** 269  
**Ubl** unquadrum

**227** 269  
**Ubl** unquadrum

**228** 269  
**Ubl** unquadrum

**229** 269  
**Ubl** unquadrum

**230** 269  
**Ubl** unquadrum

**231** 269  
**Ubl** unquadrum

**232** 269  
**Ubl** unquadrum

**233** 269  
**Ubl** unquadrum

**234** 269  
**Ubl** unquadrum

**235** 269  
**Ubl** unquadrum

**236** 269  
**Ubl** unquadrum

**237** 269  
**Ubl** unquadrum

**238** 269  
**Ubl** unquadrum

**239** 269  
**Ubl** unquadrum

**240** 269  
**Ubl** unquadrum

**241** 269  
**Ubl** unquadrum

**242** 269  
**Ubl** unquadrum

**243** 269  
**Ubl** unquadrum

**244** 269  
**Ubl** unquadrum

**245** 269  
**Ubl** unquadrum

**246** 269  
**Ubl** unquadrum

**247** 269  
**Ubl** unquadrum

**248** 269  
**Ubl** unquadrum

**249** 269  
**Ubl** unquadrum

**250** 269  
**Ubl** unquadrum

**251** 269  
**Ubl** unquadrum

**252** 269  
**Ubl** unquadrum

**253** 269  
**Ubl** unquadrum

**254** 269  
**Ubl** unquadrum

**255** 269  
**Ubl** unquadrum

**256** 269  
**Ubl** unquadrum

**257** 269  
**Ubl** unquadrum

**258** 269  
**Ubl** unquadrum

**259** 269  
**Ubl** unquadrum

**260** 269  
**Ubl** unquadrum

**261** 269  
**Ubl** unquadrum

**262** 269  
**Ubl** unquadrum

**263** 269  
**Ubl** unquadrum

**264** 269  
**Ubl** unquadrum

**265** 269  
**Ubl** unquadrum

**266** 269  
**Ubl** unquadrum

**267** 269  
**Ubl** unquadrum

**268** 269  
**Ubl** unquadrum

**269** 269  
**Ubl** unquadrum

**270** 269  
**Ubl** unquadrum

**271** 269  
**Ubl** unquadrum

**272** 269  
**Ubl** unquadrum

**273** 269  
**Ubl** unquadrum

**274** 269  
**Ubl** unquadrum

**275** 269  
**Ubl** unquadrum

**276** 269  
**Ubl** unquadrum

**277** 269  
**Ubl** unquadrum

**278** 269  
**Ubl** unquadrum

**279** 269  
**Ubl** unquadrum

**280** 269  
**Ubl** unquadrum

**281** 269  
**Ubl** unquadrum

**282** 269  
**Ubl** unquadrum

**283** 269  
**Ubl** unquadrum

**284** 269  
**Ubl** unquadrum

**285** 269  
**Ubl** unquadrum

**286** 269  
**Ubl** unquadrum

**287** 269  
**Ubl** unquadrum

**288** 269  
**Ubl** unquadrum

**289** 269  
**Ubl** unquadrum

**290** 269  
**Ubl** unquadrum

**291** 269  
**Ubl** unquadrum

**292** 269  
**Ubl** unquadrum

**293** 269  
**Ubl** unquadrum

**294** 269  
**Ubl** unquadrum

**295** 269  
**Ubl** unquadrum

**296** 269  
**Ubl** unquadrum

**297** 269  
**Ubl** unquadrum

**298** 269  
**Ubl** unquadrum

**299** 269  
**Ubl** unquadrum

**300** 269  
**Ubl** unquadrum

**301** 269  
**Ubl** unquadrum

**302** 269  
**Ubl** unquadrum

**303** 269  
**Ubl** unquadrum

**304** 269  
**Ubl** unquadrum

**305** 269  
**Ubl** unquadrum

**306** 269  
**Ubl** unquadrum

**307** 269  
**Ubl** unquadrum

**308** 269  
**Ubl** unquadrum

**309** 269  
**Ubl** unquadrum

**310** 269  
**Ubl** unquadrum

**311** 269  
**Ubl** unquadrum

**312** 269  
**Ubl** unquadrum

**313** 269  
**Ubl** unquadrum

**314** 269  
**Ubl** unquadrum

**315** 269  
**Ubl** unquadrum

**316** 269  
**Ubl** unquadrum

**317** 269  
**Ubl** unquadrum

**318** 269  
**Ubl** unquadrum

**319** 269  
**Ubl** unquadrum

**320** 269  
**Ubl** unquadrum

**321** 269  
**Ubl** unquadrum

**322** 269  
**Ubl** unquadrum

**323** 269  
**Ubl** unquadrum

**324** 269  
**Ubl** unquadrum

**325** 269  
**Ubl** unquadrum

**326** 269  
**Ubl** unquadrum

**327** 269  
**Ubl** unquadrum

**328** 269  
**Ubl** unquadrum

**329** 269  
**Ubl** unquadrum

**330** 269  
**Ubl** unquadrum

**331** 269  
**Ubl** unquadrum

**332** 269  
**Ubl** unquadrum

**333** 269  
**Ubl** unquadrum

**334** 269  
**Ubl** unquadrum

**335** 269  
**Ubl** unquadrum

**336** 269  
**Ubl** unquadrum

**337** 269  
**Ubl** unquadrum

**338** 269  
**Ubl** unquadrum

**339** 269  
**Ubl** unquadrum

**340** 269  
**Ubl** unquadrum

**341** 269  
**Ubl** unquadrum

**342** 269  
**Ubl** unquadrum

**343** 269  
**Ubl** unquadrum

**344** 269  
**Ubl** unquadrum

**345** 269  
**Ubl** unquadrum

**346** 269  
**Ubl** unquadrum

**347** 269  
**Ubl** unquadrum

**348** 269  
**Ubl** unquadrum

**349** 269  
**Ubl** unquadrum

**350** 269  
**Ubl** unquadrum

**351** 269  
**Ubl** unquadrum

**352** 269  
**Ubl** unquadrum

**353** 269  
**Ubl** unquadrum

**354** 269  
**Ubl** unquadrum

**355** 269  
**Ubl** unquadrum

**356** 269  
**Ubl** unquadrum

**357** 269  
**Ubl** unquadrum

**358** 269  
**Ubl** unquadrum

**359** 269  
**Ubl** unquadrum

**360** 269  
**Ubl** unquadrum

**361** 269  
**Ubl** unquadrum

**362** 269  
**Ubl** unquadrum

**363** 269  
**Ubl** unquadrum

**364** 269  
**Ubl** unquadrum

**365** 269  
**Ubl** unquadrum

**366** 269  
**Ubl** unquadrum

**367** 269  
**Ubl** unquadrum

**368** 269  
**Ubl** unquadrum

**369** 269  
**Ubl** unquadrum

**370** 269  
**Ubl** unquadrum

**371** 269  
**Ubl** unquadrum

**372** 269  
**Ubl** unquadrum

**373** 269  
**Ubl** unquadrum

**374** 269  
**Ubl** unquadrum

**375** 269  
**Ubl** unquadrum

**376** 269  
**Ubl** unquadrum

**377** 269  
**Ubl** unquadrum

**378** 269  
**Ubl** unquadrum

**379** 269  
**Ubl** unquadrum

**380** 269  
**Ubl** unquadrum

**381** 269  
**Ubl** unquadrum

**382** 269  
**Ubl** unquadrum

**383** 269  
**Ubl** unquadrum

**384** 269  
**Ubl** unquadrum

**385** 269  
**Ubl** unquadrum

**386** 269  
**Ubl** unquadrum

**387** 269  
**Ubl** unquadrum

**388** 269  
**Ubl** unquadrum

**389** 269  
**Ubl** unquadrum

**390** 269  
**Ubl** unquadrum

**391** 269  
**Ubl** unquadrum

**392** 269  
**Ubl** unquadrum

**393** 269  
**Ubl** unquadrum

**394** 269  
**Ubl** unquadrum

**395** 269  
**Ubl** unquadrum

**396** 269  
**Ubl** unquadrum

**397** 269  
**Ubl** unquadrum

**398** 269  
**Ubl** unquadrum

**399** 269  
**Ubl** unquadrum

**400** 269  
**Ubl** unquadrum

**401** 269  
**Ubl** unquadrum

**402** 269  
**Ubl** unquadrum

**403** 269  
**Ubl** unquadrum

**404** 269  
**Ubl** unquadrum

**405** 269  
**Ubl** unquadrum

**406** 269  
**Ubl** unquadrum

**407** 269  
**Ubl** unquadrum

**408** 269  
**Ubl** unquadrum

**409** 269  
**Ubl** unquadrum

**41**

- Isómeros: Son aquellos átomos que poseen el mismo número másico y atómico, pero poseen una distribución o estructura distinta, lo cual provoca que tenga diferente energía. ( $Z, A, N$ )

#### **d.d) Fuerza Nuclear**

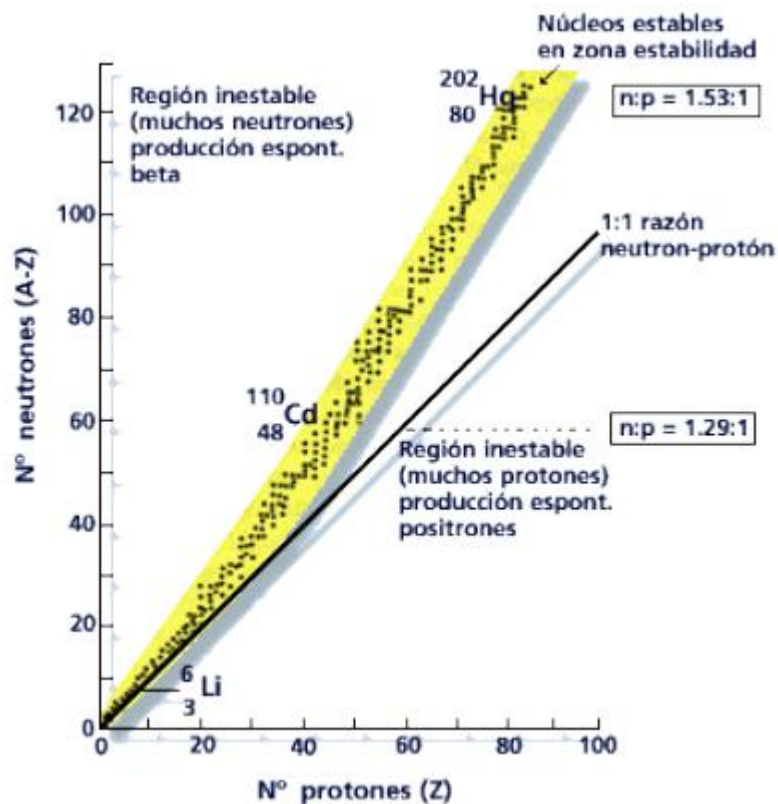
Cómo se ha mencionado en los párrafos anteriores, el núcleo está formado por protones con carga eléctrica positiva, y neutrones los cuáles no poseen carga. Debido a la fuerza eléctrica repulsiva entre los protones, es posible pensar que el núcleo atómico es inestable; sin embargo, esto no sucede debido a la existencia de una fuerza atractiva llamada fuerza nuclear (Kenneth Shultis, 2002), la cual posee las siguientes características:

- Es de un alcance muy corto, de aproximadamente unos  $10^{-15}\text{m}$ .
- Es atractiva y tiene la particularidad de no depender de la carga, y por lo tanto, se ejerce entre los protones, neutrones y entre protones y neutrones.
- Su intensidad es mucho mayor que la fuerza eléctrica, aproximadamente unas 100 veces mayor.

Por lo general, el número de neutrones es igual o mayor que el número de protones en los nucleidos estables naturales. Al graficar la relación entre el número de neutrones y protones, podemos obtener la siguiente curva en la Figura 20:

Figura 20

Núcleos estables y radiactivos: Relación N-Z.



*Nota.* El gráfico representa la relación entre los neutrones y los protones de cada átomo, en donde lo resaltado en amarillo corresponde a la zona de estabilidad. Tomado de *Tema 9: Física Nuclear* (p.4), por Raúl González Medina.

De la Figura 20 se puede observar lo siguiente:

- Los núcleos livianos son aquellos que se sitúan cerca de la bisectriz del cuadrante, porque poseen el mismo número de protones que de neutrones.
- A partir de  $Z > 20$ , la curva se aleja de la bisectriz, ya que los núcleos pesados poseen un mayor número de neutrones que de protones, lo cual finalmente aumenta la estabilidad del núcleo debido a que disminuye la repulsión eléctrica entre los protones.

#### d.e) Equivalencia masa-energía

En 1905 Albert Einstein, como una de las consecuencias de su Teoría de la Relatividad Especial, propuso que la masa de un cuerpo tiene una equivalencia en energía, y viceversa. Esto

viene dado por la ecuación  $E=mc^2$ , donde  $m$  es la masa del cuerpo y  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío ( $c = 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ ). Es importante destacar que gracias a este principio, en una reacción (principalmente en las reacciones nucleares), la masa no se conserva, pero sí se conserva la energía total (González Medina, s.f.).

#### **d.f) Defecto de masa y Energía de enlace**

Al momento de formar un núcleo mediante la unión de protones y neutrones, se puede observar que la masa de cualquier núcleo es inferior a la suma de las masas de las partículas componentes por separado (González Medina, s.f.). A esta diferencia se le llama defecto de masa o defecto másico, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Delta m = \sum m_{\text{partículas}} - m_{\text{núcleo}}$$

Esta diferencia de masa equivale a la energía desprendida en la formación del núcleo, en reacciones de fusión, la cual se denomina energía de enlace ( $E_e$ ). De igual forma, esta puede entenderse como la energía que es necesario administrar al núcleo para descomponerlo en sus partículas, mediante reacciones de fisión (Física Nuclear 12, s.f.). Es posible calcularla mediante la siguiente expresión:

$$E_e = |\Delta m \cdot c^2|$$

#### **d.g) Energía de enlace por nucleón**

La estabilidad de un núcleo atómico depende de una magnitud llamada energía de enlace por nucleón, la cual se define como la energía promedio desprendida o liberada por cada una de las partículas que componen el núcleo (González Medina, s.f.). Se expresa de la siguiente manera:

$$E_n = \frac{E_e}{A}$$

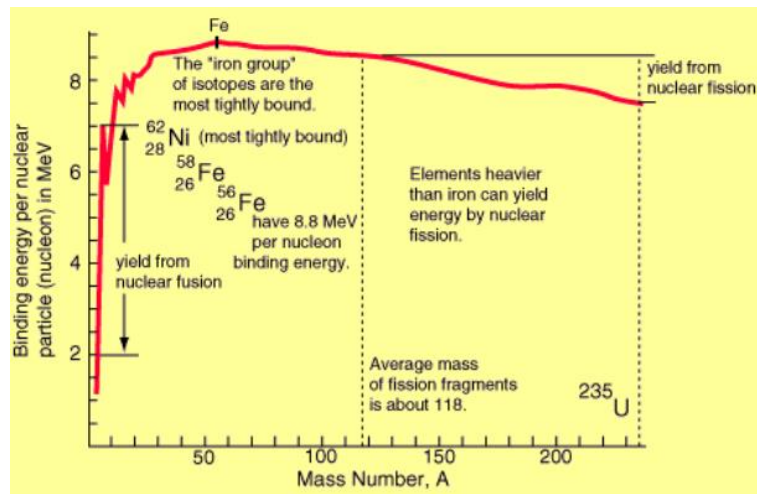
Se establece finalmente que, a mayor energía por nucleón, mayor será la estabilidad del núcleo.

En la Figura 21, se puede observar la representación de la energía de enlace por nucleón para los distintos nucleidos, en función del número de partículas ( $A$ , n° másicos). Se puede

observar que aumenta de manera proporcional con la masa atómica en los núcleos ligeros, hasta llegar al Hierro, en donde a partir de este comienza a decrecer a medida que aumenta la masa nuclear. En términos prácticos esto significa que si unimos dos núcleos ligeros para formar uno más pesado (fusión nuclear), del proceso se desprende energía. Y si un núcleo pesado se divide (fisión nuclear), también se desprende energía (González Medina, s.f.).

Figura 21

Energía de enlace por nucleón



Nota. Tomado de Tema 9: Física Nuclear (p.4), por Raúl González Medina.

### d.h) Radiactividad

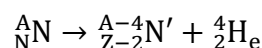
La radiactividad es entendida como la emisión de radiación por parte de aquellos núcleos pesados inestables o de aquellas sustancias que se denominan radiactivas (González Medina, s.f.). Es un fenómeno que se produce a nivel de núcleo atómico, tanto de manera natural como artificial, y una de sus principales consecuencias es el cambio en la cantidad de partículas en el núcleo, lo cual provoca finalmente una transformación de la sustancia en otra completamente diferente.

### d.i) Procesos de desintegración

Se conocen principalmente 3 procesos de desintegración, los cuáles son emisión de partículas alfa ( $\alpha$ ), emisión de partículas beta ( $\beta$ ) y emisión de rayos (o radiación) gamma ( $\gamma$ ). Estos se caracterizan principalmente por la capacidad de las partículas o rayos de penetración en la materia, y por su masa y carga eléctrica. A continuación, se detalla cada uno de estos:

- Emisión de partículas alfas ( $\alpha$ ):

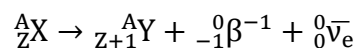
Las partículas que son emitidas, corresponden a núcleos de Helio, formados por dos protones y dos neutrones ( ${}^4_2\text{He}$ ), con una carga eléctrica de  $Q = +2e = +3,2 \times 10^{-19}\text{C}$  y una masa  $m = 6,7 \times 10^{-27}\text{kg} = 4,0026033 \text{ uma}$ . En el momento que una partícula alfa abandona el núcleo N, el número másico de este disminuye en 2 unidades y su número atómico en dos (Kenneth Shultis, 2002). Lo anterior se conoce como Ley de Soddy, y se puede expresar de la siguiente manera:



El proceso de emisión de partículas alfas, va acompañado de una gran emisión de energía proveniente del defecto de masa del cual se habló anteriormente.

- Emisión de partículas beta ( $\beta$ ):

Desarrollada en los núcleos inestables que poseen demasiados neutrones, este tipo de emisión se da en el momento en que un neutrón se transforma en un electrón (partícula  $\beta$ ), un protón y un antineutrino (González Medina, s.f.). Lo anterior se conoce como Ley de Fajans, y se puede expresar de la siguiente manera:

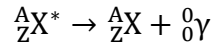


Las partículas  $\beta$  poseen una carga eléctrica  $Q = -e = 1,6 \times 10^{-19}\text{C}$  y una masa de  $m = 9,1 \times 10^{-31}\text{kg} = 0,000549 \text{ uma}$ .

- Emisión de rayos gamma ( $\gamma$ ):

A diferencia de los otros procesos de desintegración, cuando un núcleo emite radiación gamma, pasa de un estado excitado a uno fundamental, con liberación de energía durante el proceso, y por lo tanto, el número atómico y másico del átomo no se ve alterado (Física Nuclear 12 s.f.). Los rayos gamma se emiten mediante fotones, cuya

energía está asociada a la expresión  $E = h \cdot \nu$ , donde  $h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$  (Constante de Planck). La desintegración se puede expresar de la siguiente manera:



#### **d.j) Ley de desintegración radiactiva**

Sí un núcleo emite radiación en cualquiera de las formas vistas anteriormente, se dice que ha sufrido una desintegración. Este proceso, que ocurre de forma espontánea y aleatoria, es gobernado por la Estadística; sin embargo, es posible observar cómo el número de átomos de una sustancia radiactiva disminuye, en función de la naturaleza de la sustancia (caracterizada por su constante de desintegración radiactiva  $\lambda$ , con un valor propio de cada isótopo radiactivo que corresponde a su probabilidad de desintegración) y al número de átomos presentes. Sí una muestra pura está formada por  $N$  núcleos sin desintegrar en un tiempo  $t$ , el número de emisiones por unidad de tiempo es proporcional al número de núcleos existentes, y, por lo tanto, se cumple lo siguiente (Kenneth Shultis, 2002):

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Al reordenar la expresión anterior, se obtiene:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

Al resolver esta ecuación diferencial integrando en ambas partes, y estableciendo los límites de integración correspondientes a cada caso:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$$

Si aplicamos propiedades de los logaritmos en la última expresión obtenida, finalmente nos queda:

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

Expresión que se conoce como la Ley de Elster y Geitel.

A continuación, en la Tabla 3, se adjunta las constantes de decaimiento radiactivo para varios de los núcleos más conocidos:

Tabla 3

Isótopos y sus constantes de decaimiento.

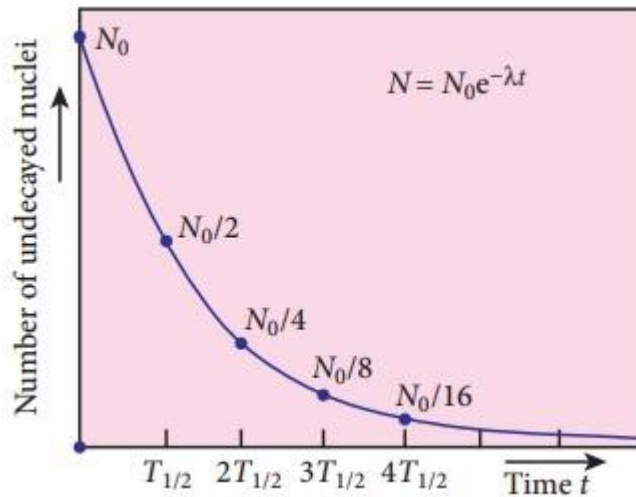
Isótopo	Constante de decaimiento ( $s^{-1}$ )
Uranio 238	$5,0 \cdot 10^{-18}$
Plutonio 239	$9,2 \cdot 10^{-13}$
Carbono 14	$3,9 \cdot 10^{-12}$
Radio 226	$1,35 \cdot 10^{-11}$
Radón 220	$1,33 \cdot 10^{-12}$

*Nota.* Adaptada de Decay Constant, Nuclear power, (<https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/radioactive-decay/radioactive-decay-law/decay-constant/>)

De igual manera se adjunta un gráfico (Figura 22) representativo de la Ley de Elster y Geitel para ilustrar la naturaleza exponencial decreciente de la desintegración radiactiva:

Figura 22

Representación gráfica de la Ley de desintegración radiactiva.



*Nota.* Tomado de Law of radioactive decay, por BrainKart. ([https://www.brainkart.com/article/Law-of-radioactive-decay\\_41526/](https://www.brainkart.com/article/Law-of-radioactive-decay_41526/))

### **d.k) Periodo de semidesintegración o vida media (del inglés half life)**

Este periodo corresponde al tiempo que demora desintegrarse la mitad del número inicial de núcleos presentes (Física Nuclear 12, s.f.). Se puede deducir a partir de la Ley de Elster y Geitel:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda t}$$

Aplicando propiedades de los logaritmos finalmente se obtiene:

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

### **d.l) Vida promedio (del inglés mean life)**

Se puede definir como el tiempo medio que tarda en desintegrarse un núcleo cualquiera de una muestra pura, elegido al azar. Considerando que la vida promedio de un núcleo puede obtenerse a partir del Teorema del Valor Medio del Cálculo Integral. Primero se tiene:

$$\tau = \frac{\int_{N_0}^0 t dN}{\int_{N_0}^0 dN}$$

Si se establece el número de emisiones de una sustancia por unidad de tiempo como:

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \Rightarrow dN = -\lambda N dt$$

Y considerando que a partir de una cantidad inicial de núcleos igual a  $N_0$  se desintegran por completo transcurrido un tiempo infinito, y resolviendo la integral inferior, la primera expresión se puede escribir como:

$$\tau = \frac{-\int_0^{\infty} t \lambda N dt}{-N_0}$$

Si  $N = N_0 e^{-\lambda t}$  finalmente se obtiene:

$$\tau = \frac{-\int_0^{\infty} t \lambda N_0 e^{-\lambda t} dt}{-N_0}$$

$$\tau = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt$$

Resolviendo esta integral por partes se reduce a:

$$\tau = \lambda \cdot \frac{1}{\lambda^2}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Si reemplazamos en la expresión obtenida en el periodo de semidesintegración, obtenemos:

$$T_{\frac{1}{2}} = \tau \ln(2)$$

A continuación, en la Tabla 4, se adjunta la vida media para elementos de uso frecuente en aplicaciones nucleares:

Tabla 4

Isótopos radiactivos y su vida media.

Isótopo radiactivo	Vida media (años)	Vida promedio (años)
Torio-232	$1,4 \cdot 10^{10}$	$2,02 \cdot 10^{10}$
Uranio-235	$7,1 \cdot 10^8$	$1,02 \cdot 10^9$
Uranio-238	$4,5 \cdot 10^9$	$6,49 \cdot 10^9$
Plutonio-239	24000	34600

Nota. Adaptada de Decay Constant, Nuclear power, (<https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/radioactive-decay/radioactive-decay-law/decay-constant/>)

### **d.m) Actividad**

La actividad puede definirse como la velocidad de desintegración de una sustancia radiactiva (González Medina, s.f.). Es una de las magnitudes medibles gracias a diferentes instrumentos, y entre estos podemos destacar por ejemplo al Contador Geiger (Figura 23), el cual es uno de los principales instrumentos para realizar esta labor.

Figura 23

Contador Geiger moderno



Nota. Tomado de Contador Geiger, por Wikipedia. ([https://es.wikipedia.org/wiki/Contador\\_Geiger](https://es.wikipedia.org/wiki/Contador_Geiger))

La deducción matemática de la actividad se puede obtener a partir de la siguiente definición:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N$$

Si consideramos que la actividad está en función del tiempo, lo anterior podemos expresarlo de la siguiente manera:

$$A(t) = \lambda N(t)$$

Y, utilizando la expresión anteriormente calculada  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ , se obtiene:

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

Reemplazando y considerando en la ecuación anterior la actividad inicial como  $A_0 = \lambda N_0$ , finalmente tenemos:

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

En el Sistema Internacional la unidad medida de la actividad es el Becquerel (Bq), lo cual equivale a 1 desintegración por segundo. De igual manera, se utiliza comúnmente otra unidad de medida para la actividad, la cual corresponde al Curie (Ci) en honor a Marie Curie, y corresponde a  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq.

#### **d.n) Reacciones nucleares**

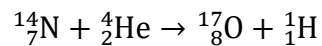
En este tipo de reacciones intervienen los núcleos atómicos, transformándose en otros distintos, y en ellas siempre se cumplen los siguientes principios de conservación (Física Nuclear 12, s.f.):

- La suma de números másicos de los reactivos es igual a la suma de los números másicos de los productos.
- La suma de los números atómicos de los reactivos coincide con la suma de los números atómicos de los productos.
- La diferencia entre la masa de los reactivos y la de los productos, tiene un valor equivalente en energía, según el principio de equivalencia masa-energía visto anteriormente ( $E=mc^2$ ).

Es importante destacar que sí la diferencia entre la masa antes y después de la reacción es positiva, la reacción libera energía, y por lo tanto se trata de un proceso exotérmico. En cambio, sí la diferencia entre las masas es negativa, es necesario otorgarle energía a la reacción para que se genere, y por lo tanto se trata de un proceso endotérmico. Lo anterior se puede expresar de la siguiente manera:

$$\Delta m = \sum m_{\text{reactivos}} - \sum m_{\text{productos}} \Rightarrow \frac{\Delta m > 0 \Rightarrow E > 0 \rightarrow \text{Proceso exotérmico}}{\Delta m < 0 \Rightarrow E < 0 \rightarrow \text{Proceso endotérmico}}$$

El primer ejemplo que se presenta, corresponde a una reacción exotérmica:



Al calcular las masas de tantos de reactivos como de productos, se obtiene:

$$\sum m_{\text{reactivos}} = 14,0067 \text{ u} + 4,0026 \text{ u} = 18,0093 \text{ u}$$

$$\sum m_{\text{productos}} = 15,9994 \text{ u} + 1,00795 \text{ u} = 17,00735 \text{ u}$$

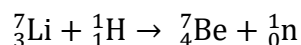
$$\Delta m = 18,0093 \text{ u} - 17,00735 \text{ u} = 1,00195 \text{ u}$$

Y, si considerando que  $1 \text{ u} = 931 \text{ MeV}$ , finalmente se obtiene la energía de reacción:

$$E = 1,00195 \text{ u} \cdot 931 \text{ MeV/u} = 932,81545 \text{ MeV}$$

Por lo tanto, la reacción libera energía.

El segundo ejemplo que se presenta, corresponde a una reacción endotérmica:



Al calcular las masas de tantos de reactivos como de productos, se obtiene:

$$\sum m_{\text{reactivos}} = 6,941 \text{ u} + 1,00795 \text{ u} = 7,94895 \text{ u}$$

$$\sum m_{\text{productos}} = 9,0122 \text{ u} + 1,00864 \text{ u} = 10,02084 \text{ u}$$

$$\Delta m = 7,94895 \text{ u} - 10,02084 \text{ u} = -2,07189 \text{ u}$$

Y, si considerando que  $1 \text{ u} = 931 \text{ MeV}$ , finalmente se obtiene la energía de reacción:

$$E = -2,07189 \text{ u} \cdot 931 \text{ MeV/u} = -1928,929 \text{ MeV}$$

Por lo tanto, la reacción necesita energía para que ocurra.

### **d.ñ) Fisión y Fusión**

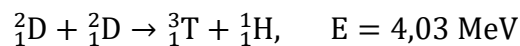
Para la tecnología nuclear son importantes dos tipos de reacciones nucleares, y estas son:

- **Fusión Nuclear:**

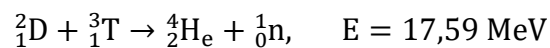
“Es una reacción nuclear en la que dos núcleos de átomos ligeros, se unen para formar otro núcleo más pesado, generalmente liberando partículas en el proceso.” (Consejo de Seguridad Nuclear, s.f.) Un ejemplo de este tipo de reacción se presenta en el sol, y las estrellas, ya que la energía que estos cuerpos emiten tiene su origen en este tipo de reacciones (termonucleares).

A continuación se presentan algunos ejemplos más importantes de estas, y sus respectivos valores de energía de reacción son (Kenneth, 2002):

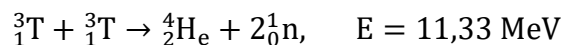
1) Fusión de dos átomos de Deuterio, es decir, uno de los isótopos del Hidrógeno:



2) Fusión de un átomo de Deuterio, y uno de Tritio (otro isótopo del Hidrógeno):



3) Fusión de dos átomos de Tritio:



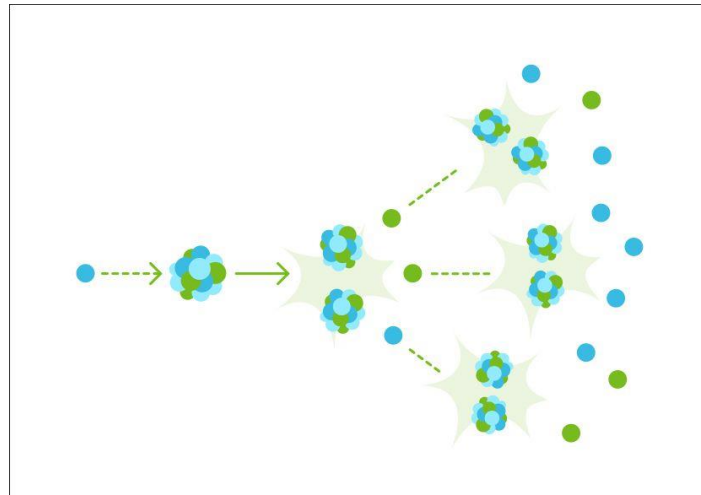
- **Fisión Nuclear:**

Es una reacción nuclear en la que los núcleos de “átomos pesados, sobre los que se hacen incidir neutrones, se descomponen en núcleos más pequeños y ligeros, liberando la energía”. (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f.) Dichos átomos pesados suelen ser de uranio 235 o de plutonio 239, ya que estos tienen una mayor capacidad de realizar reacciones en cadena rápidas. “Cada vez que se produce esta reacción se libera energía en forma de calor y radiación” (Galindo, 2021), por lo tanto, pueden “producir más fisiones al interactuar con nuevos núcleos pesados” (Foro de la Industria Nuclear Española, s.f), teniendo una reacción en cadena en una fracción de segundo, es decir, los neutrones liberados en una primera fisión producen al menos una más. Estas reacciones en cadena pueden ser controladas o no (Planas, 2021):

- Las reacciones controladas son aquellas que se producen en un reactor nuclear, ya sea de investigación o para generar energía eléctrica, y son controladas utilizando elementos de absorción de neutrones como por ejemplo las barras de control construidas principalmente con Boro y Cadmio, presentes en los reactores nucleares de potencia y de investigación.
- Las reacciones no controladas producen finalmente la detonación de una bomba atómica, la cual variará su potencia en función del tipo de bomba y del diseño que tenga.

Figura 24

Reacción en cadena



*Nota.* En la imagen se muestra un esquema representativo de una fisión nuclear en cadena. Tomado de ¿Cómo se realiza una reacción nuclear? por Foro Nuclear, (<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear/como-se-realiza-una-reaccion-nuclear/>)

Algunos ejemplos de procesos de fisión utilizados para diferentes fines, en especial aquellos que se relacionan con su en reactores nucleares, son (Kenneth, 2002):

- 1) La fisión del U-235, utilizado como uno de los principales combustibles para las plantas de energía nuclear, cuya energía promedio de reacción liberada durante el proceso, es de 207 MeV.
- 2) La fisión del P-239, utilizado de igual manera como combustible en las plantas de energía nuclear, cuya energía promedio de reacción es de 198,5 MeV (Instituto nacional de investigaciones nucleares, 2013).

### e) Conceptos Básicos de Termodinámica

Considerando que la secuencia didáctica a producir en este trabajo se desarrollará en torno a una de las variadas aplicaciones que posee la tecnología nuclear, en este caso la generación de potencia mediante reactores térmicos (que operan con ciclos de vapor), es importante describir aquellos conceptos termodinámicos más básicos por los cuales se rige este tipo de aplicación. Estos conceptos son los siguientes:

### **e.a) Primera ley de la Termodinámica**

Sin duda, unas de las ideas fundamentales necesarias para comprender muchos de los procesos que ocurren en el entorno, se refiere a las formas en las que los sistemas transfieren energía, en especial aquellas formas como el calor ( $Q$ ) y el trabajo ( $W$ ).

La energía total de un sistema puede ser afectada por cualquier transferencia de energía por medio de calor o de trabajo que ocurra hacia el sistema o desde el sistema hacia el entorno.

La primera ley de la Termodinámica expresa la conservación de la energía, y se traduce en el balance cuantitativo de las transferencias de energía por medio de calor y de trabajo entre el sistema y el medio exterior (ambiente).

### **e.b) Segunda ley de la termodinámica.**

Para lo que interesa en el contexto de la tecnología nuclear que aquí se discute, interesa la forma macroscópica no estadística de la segunda ley de la Termodinámica, que se refiere a la medida en que la energía que interviene en procesos cíclicos puede transferirse por medio de trabajo utilizable cuando están también implicadas transferencias de energía por medio de calor absorbido y cedido desde y hacia fuentes a distintas temperaturas. Operacionalmente se traduce en el valor de la magnitud definida como rendimiento del proceso, que evalúa la fracción de la energía total suministrada (absorbida) que se puede transferir por medio de trabajo, una vez descontada la energía transferida por medio de calor residual hacia la fuente de baja temperatura. En esta perspectiva, la segunda ley admite varias representaciones, que pueden resumirse en la imposibilidad de transferir por medio de trabajo toda la energía transferida por medio de calor absorbido desde una fuente a alta temperatura, sin tener que transferir parte de dicha energía por medio de calor residual hacia otra fuente a temperatura inferior.

La intervención en la tecnología nuclear de potencia de las dos leyes de la Termodinámica descritas queda claramente de manifiesto cuando se recurre al modelo de la “máquina térmica” para explicar la explotación de ciclos de vapor para fines de generación de electricidad (centrales nucleoelectricas) o de potencia motriz (propulsión de navíos).

### e.c) Máquina térmica

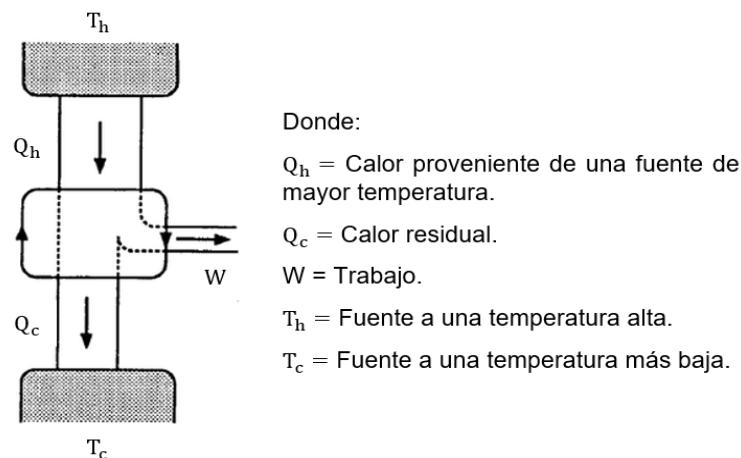
El desarrollo tecnológico de la sociedad se basa, desde la Revolución Industrial, en la capacidad de utilizar diferentes fuentes de energía para realizar distintos tipos de procesos, como por ejemplo, la movilización en automóviles o la utilización de electrodomésticos. Para describir el tipo de tareas en que intervienen transferencias de energía por medio de calor y de trabajo, se recurre al modelo de la Máquina Térmica, consistente en un sistema en que ocurren procesos cíclicos sobre una sustancia de trabajo, en que “se transforma calor parcialmente en trabajo o energía mecánica” (Young y Freedman, 2009, p.675). Existen diferentes tipos de máquinas térmicas que operan de forma cíclica, pero en general poseen las siguientes características (Cengel y Boles, 2012):

- 1.- Recibe (absorbe) calor desde una fuente a temperatura elevada.
- 2.- Convierte (cede) parte de este calor en trabajo.
- 3.- Desecha (descarga, cede) la otra parte del calor recibido, como calor residual hacia una fuente con una temperatura más baja (por lo general, parte del medio ambiente).

Lo anteriormente descrito se puede representar en el siguiente esquema:

Figura 25

Esquema de Máquina térmica



Nota. Elaboración propia.

Las máquinas térmicas requieren de un fluido o sustancia para funcionar cíclicamente, la cual experimenta diferentes procesos físicos, que van desde su expansión hasta su compresión, incluyendo también cambios de fase (Young y Freedman, 2009). A este fluido se le llama sustancia de trabajo.

El modelo de máquina térmica permite comprender, al menos en una primera aproximación, el funcionamiento de locomotoras y barcos a vapor, motores de combustión interna, y el de centrales termoeléctricas de combustibles fósiles o nucleares (y de cualquier tecnología de explotación de ciclos de vapor).

Los dispositivos diseñados para funcionar de forma cíclica a través de procesos de transferencias de energía por medio de calor y de trabajo, están relacionados - como ya se ha señalado - con la segunda ley de la Termodinámica. Esta tiene relación con la pérdida de disponibilidad de la energía para convertirse en trabajo, debido a un límite impuesto por la naturaleza a todo proceso real (Pérez, s.f.).

El principio de conservación de la energía o primera ley de la Termodinámica se puede expresar de la siguiente manera para una máquina térmica:

$$Q_H = W + Q_c$$

Por lo tanto, el trabajo neto efectuado por la sustancia de trabajo será el siguiente:

$$W = Q_H - Q_c$$

De forma ideal, se desearía que todo el calor  $Q_H$  proveniente de la fuente caliente se pudiera aprovechar como trabajo  $W$ . Este proceso es completamente imposible en la realidad, ya que el calor residual  $Q_c$  a descargar hacia la fuente a menor temperatura nunca será 0. Para medir la fracción de calor  $Q_H$  que se manifiesta como trabajo  $W$ , se utiliza el término de rendimiento o eficiencia térmica, definido como:

$$\eta = \frac{W}{Q_H}$$

Considerando la ecuación de la primera ley para dispositivos cíclicos, se puede reescribir lo anterior de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_c}{Q_H}$$

La eficiencia térmica de una máquina permite conocer qué tan práctica es esta para convertir calor en trabajo, y, por lo general, la practicidad de las máquinas térmicas que realizan esta transformación es bastante baja (Pérez, s.f.).

Esto concuerda con uno de los postulados propuestos por los científicos Lord Kelvin (1824-1907) y Max Planck (1858-1947) relacionado con la segunda ley de termodinámica, en donde se menciona que es imposible construir un motor el cual mientras opera de forma cíclica no produzca otro efecto que el de extraer calor desde una sola fuente y transforme todo este calor en trabajo (Rajput, 2007). En otras palabras, toda máquina térmica requiere de dos fuentes de calor a distintas temperaturas para funcionar, y por lo tanto siempre existirá un calor residual descargado hacia la fuente más fría.

Cabe destacar que al trabajarse con un gas perfecto o ideal, el modelo de la máquina térmica aquí descrito, realizando los procesos de transferencia de energía según el llamado Ciclo de Carnot, representa - en lo que al rendimiento o eficiencia térmica se refiere - un límite superior inalcanzable en la práctica. En ese caso, la eficiencia o rendimiento de la máquina térmica es como máximo teórico el valor dado por la expresión

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{T_c}{T_H} \text{ (temperaturas en K)}$$

#### **e.d) Máquinas de vapor**

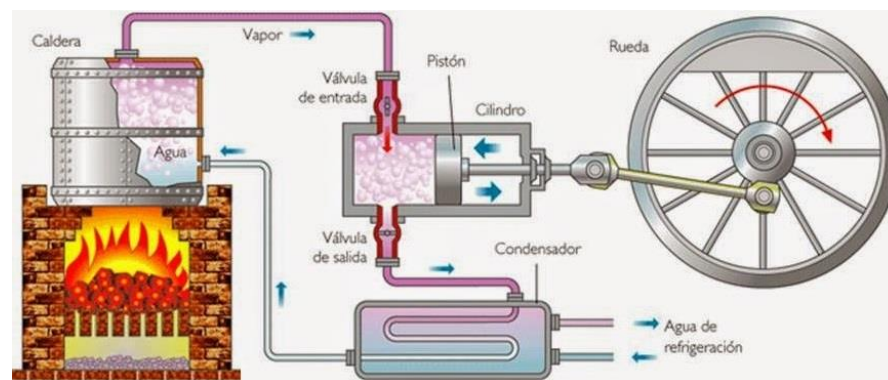
La máquina de vapor es una máquina térmica en la que la sustancia de trabajo corresponde a vapor de agua a presión. En este caso, el vapor de agua se genera a partir de la entrega de calor de una fuente al agua de una caldera, el cual se genera a partir de la combustión de algún tipo de combustible (carbón, petróleo, gas natural, biomasa). El vapor de agua a presión transfiere por medio de trabajo a un pistón con su émbolo parte de la energía recibida, provocando su movimiento, traducido en fuerza motriz (Pérez, 2010).

En cuanto al calor residual, es decir, el calor no aprovechable como trabajo durante el proceso anterior, es transferido a la fuente de calor a temperatura inferior (medio ambiente), mediante un condensador, en donde el vapor residual se convierte nuevamente en agua para ser bombeada a la caldera utilizada durante el proceso detallado al principio, con el fin de repetir el ciclo de la máquina.

A continuación se presenta el esquema clásico de una máquina de vapor:

Figura 26

Esquema de máquina de vapor.



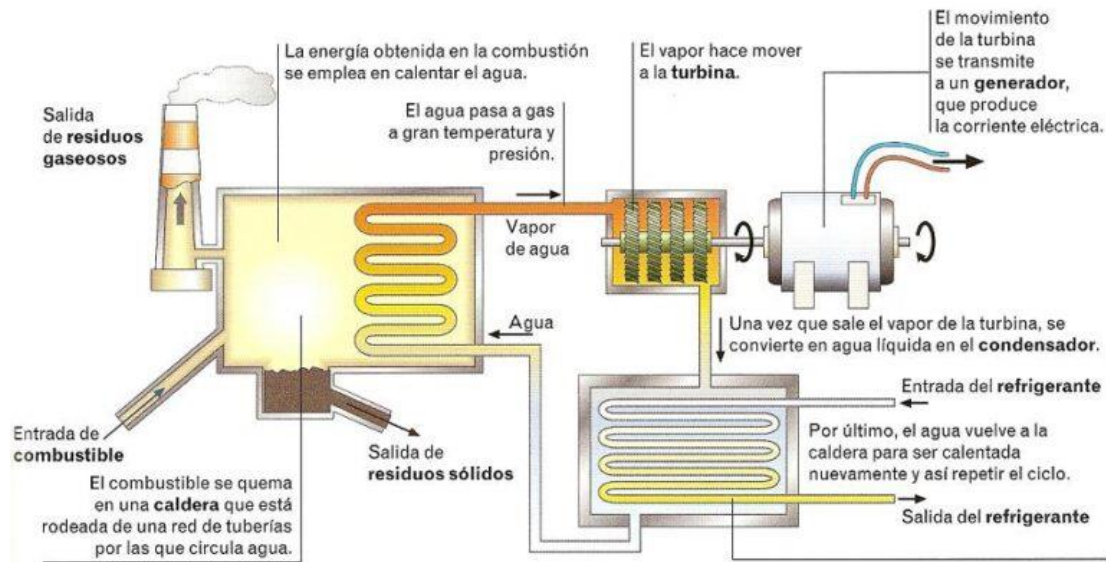
*Nota.* Tomado de *Cómo funciona una máquina de vapor*, ComoFunciona. (<https://como-funciona.co/una-maquina-de-vapor/>)

### **e.e) Central termoeléctrica**

Una central termoeléctrica es un tipo de instalación industrial en la que se produce electricidad a partir de un ciclo de vapor (Pérez, 2010). Durante el proceso, el vapor se utiliza para mantener en funcionamiento una turbina, la cual hace girar el rotor de un generador eléctrico.

Figura 27

### Central termoeléctrica



*Nota.* En la imagen se adjunta un esquema elemental del funcionamiento de una central termoeléctrica. Tomado de Central Termoeléctrica (Esquemas) por José Arancibia Gil, Blog de Tecnología (<https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/fsancac/2014/11/03/central-termoelectrica-esquemas/>)

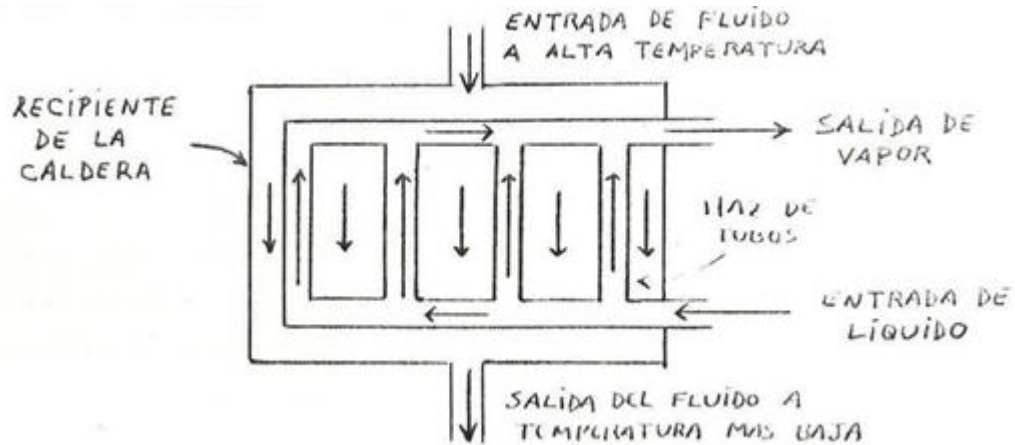
Las centrales termoeléctricas se pueden clasificar en dos tipos, convencionales o no convencionales (Pérez, 2010):

- Centrales térmicas convencionales: En este tipo de centrales el vapor de agua proviene de una caldera situada por sobre la fuente de calor, en la cual se desarrolla la combustión de un combustible fósil.

Entre los fluidos que circulan en diferentes sentidos en el recipiente de la caldera y en los tubos, existe una diferencia de temperatura que permite una transferencia de energía por calor, desde el fluido del recipiente hacia los del tubo.

Figura 28

Transferencia de energía en el interior de una central térmica.



*Nota.* Tomado de Máquina de vapor y centrales termoeléctricas, estudio introductorio de aplicación práctica del concepto de energía (p.4) por Claudio Pérez, 2010.

- Centrales térmicas no convencionales: En este tipo de centrales, la procedencia del vapor puede ser de diferentes fuentes como, por ejemplo, los manantiales geo presurizados del interior de la Tierra, la combustión de desechos orgánicos, y el calentamiento de una caldera de agua mediante la radiación solar reflejada y concentrada por espejos captadores.

#### **e.f) Central nucleoelectrica**

Corresponden también a centrales termoeléctricas, pero con la diferencia de que el calor para las calderas se genera en reacciones de fisión nuclear. Los componentes principales de una central nucleoelectrica son (Rajput, 2007):

- 1.- Reactor nuclear
- 2.- Generador de vapor
- 3.- Turbina
- 4.- Condensador

## 5.- Generador eléctrico

En una planta de estas características, es el reactor el encargado de producir calor gracias al resultado de una fisión nuclear. Este calor generado es trasladado por un fluido a alta temperatura hasta el generador de vapor, en donde éste calienta el agua. El vapor generado en el proceso anterior es conducido hasta una turbina de vapor, en la cual al girar transfiere la energía entregada por calor en forma de trabajo hacia el generador eléctrico. Finalmente, el vapor se convierte nuevamente en agua gracias a la acción de un condensador.

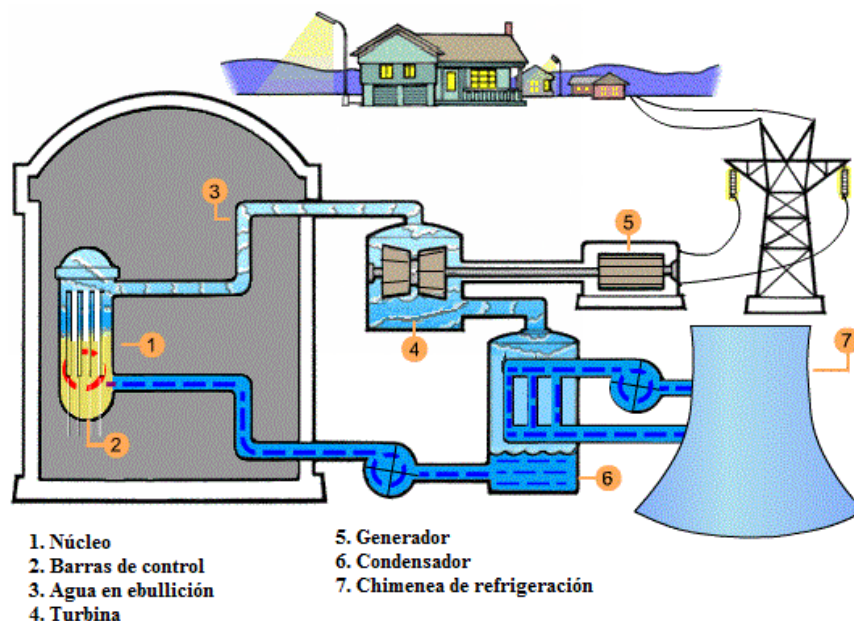
Existen al menos 2 tipos principales de reactores más utilizados:

### 1) Reactores de agua en ebullición (BWR).

Tal y como se muestra en la Figura 29, en este diseño de centrales, es el mismo fluido refrigerante que circula por núcleo del reactor, el cual se evapora a su paso por éste, y se dirige finalmente a la turbina. Su funcionamiento es similar a una central de reactores de agua presurizada, sin embargo, el vapor condensado en este caso es impulsado directamente hacia el reactor (Consejo de seguridad nuclear, s.f.).

Figura 29

Reactores de agua en ebullición



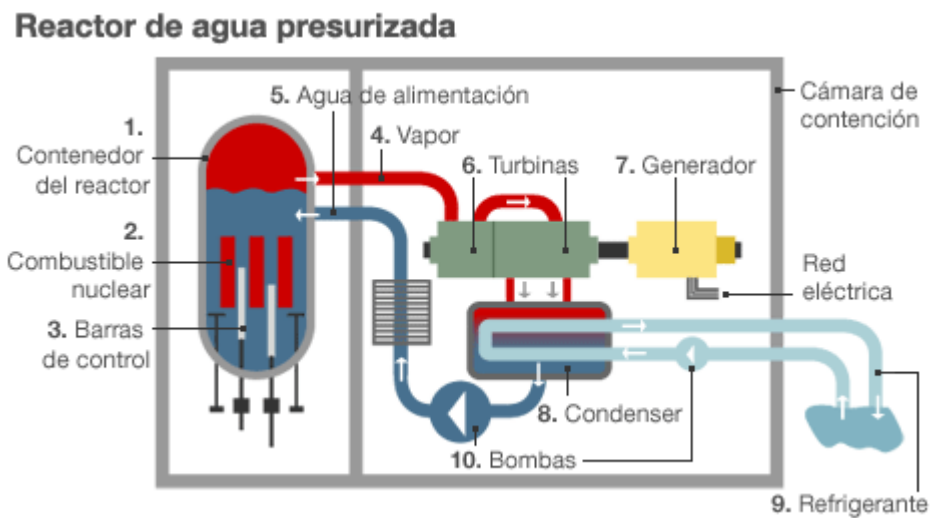
Nota. Tomada de *La energía nuclear. Centrales.* por la Universidad Nacional de Educación a Distancia, 2016, Fukushima accidente nuclear (<https://fukushima-1188.appspot.com/1/4>).

## 2) Reactores de agua presurizada (PWR) (Figura 30).

Nuevamente, tal y como se puede observar en la Figura 30, “en este tipo de centrales nucleares, el agua circula en estado líquido y a una muy alta presión” (Consejo de seguridad nuclear, s.f.) impulsado por medio de unas bombas a través del núcleo del reactor, donde se calienta antes de dirigirse a los generadores de vapor. El agua mantiene su estado líquido gracias a un “presionador”, hasta que deja el circuito del reactor, y atraviesa los generadores de vapor.

Figura 30

Reactor de agua presurizada



Nota. Tomado de *Japón: tras dos explosiones, preocupa otro reactor nuclear* por BBC Mundo, 2014, BBC Mundo ([https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/03/110313\\_japon\\_segunda\\_explosion\\_fukushima\\_nuclear\\_fp](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/03/110313_japon_segunda_explosion_fukushima_nuclear_fp))

## **Capítulo 5: Marco Metodológico y Planificación Pedagógica**

Una vez planteados los conceptos nucleares, termodinámicos y pedagógicos básicos para sustentar la planificación de la secuencia didáctica con la que se pretende contribuir a la solución del problema de esta Tesina, se abre paso al marco metodológico y diseño instruccional correspondiente.

### **a) Marco Metodológico**

El marco metodológico abordará en primer lugar la descripción de los propósitos, contenidos y destinatarios a los que va dirigido la secuencia didáctica a producir. Además se debe considerar la modalidad de la enseñanza que se propone y el tiempo de duración de la implementación de dicha secuencia en aulas de E. Media. Después, y en directa relación con lo descrito, se abordará el proceso de diseño instruccional correspondiente.

#### **a.a) Propósitos de la secuencia didáctica.**

Desarrollar y/o potenciar la habilidad de argumentación científica en los y las estudiantes, por medio del debate de un tema socio científico contemporáneo, como lo es la eventual incorporación de la energía nuclear a la matriz energética de nuestro país para la generación de electricidad en centrales de base.

#### **a.b) Contenido de la secuencia didáctica.**

Los contenidos a considerar para el diseño y planificación de la secuencia didáctica se han detallado en apartados anteriores, y entre ellos se destacan conceptos básicos de Física y Tecnología Nuclear, junto con contenidos básicos de Termodinámica necesarios para la comprensión del funcionamiento de centrales eléctricas, en especial, aquellas que funcionan en base a combustibles fósiles y a procesos nucleares, principalmente aprovechando ciclos de vapor de agua. Se incluyen los temas más frecuentemente encontrados en el debate público sobre la opción nuclear como tecnología energética “verde”, en la perspectiva de la mitigación del cambio climático debido al calentamiento global, con origen en la emisión de gases de invernadero por la quema en gran escala de combustibles fósiles.

### a.c) Destinatarios y modalidad de enseñanza de la secuencia didáctica.

Los/as destinatarios/as de la presente secuencia didáctica serán los y las estudiantes de III y/o IV año de enseñanza media, particularmente los que estén cursando la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía del Plan de Formación General, y en especial el Módulo de Ambiente y sostenibilidad.

Es importante destacar que la modalidad de enseñanza de la secuencia didáctica es presencial, con uso de metodologías activo-participativas de enseñanza, ya que se desea propiciar el desarrollo de la competencia de argumentación científica en contextos de debate, mediante la interacción cara a cara entre las y los integrantes del grupo-curso y el/la docente a cargo.

### a.d) Tiempo de implementación sugerido para la secuencia didáctica.

Para determinar el tiempo de duración de la secuencia didáctica, se realizó una carta Gantt utilizando el programa de Excel, la cual se puede apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4

Cronograma de actividades.

ACTIVIDAD	N° DE CLASES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Presentación de la Unidad</i> - Planteamiento de los Objetivos. - Evaluación Diagnóstica de Preconcepciones.	x									
<i>Introducción a la Argumentación Científica.</i> - ¿Qué es la Argumentación Científica? ¿Cuál es su importancia? - Introducción al debate: ¿Qué es un Debate? Reglas básicas y Organización.		x								
<b>Evaluación Formativa: Mini Debate</b>			x							
<i>Introducción a los Conceptos Fundamentales de Física Nuclear.</i> - Partículas Subatómicas, Características y Clasificación de Núcleos.				x						
- Radioactividad, Tipos de desintegración.					x					
- Ley de Desintegración Radiactiva, Periodo de Semidesintegración, Actividad.						x				

ACTIVIDAD	N° DE CLASES									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
- Reacciones Nucleares: Fisión y Fusión Nuclear.							x			
<b>1era Evaluación Sumativa: Mini Debate</b>								x		
<i>Centrales Termoeléctricas fósiles y nucleoeeléctricas.</i> - Conceptos Termodinámica: Conservación y Degradación de Energía / Máquina Térmica y Rendimiento Termodinámico. - Generación de electricidad con centrales nucleares / Seguridad y Gestión de Desechos Radiactivos.									x	
<b>2da Evaluación Sumativa: Debate Final</b>										x

*Nota.* Elaboración Propia.

Con respecto a ella, concluimos que la secuencia didáctica tendrá una duración de 10 clases en total, donde cada clase será de 90 minutos, ya que es el tiempo disponible para la realización de clases.

Cabe destacar que dichas clases se realizan dentro de la primera unidad del Módulo de Ambiente y Sostenibilidad el cual posee como nombre, “Cambio climático como desafío urgente”.

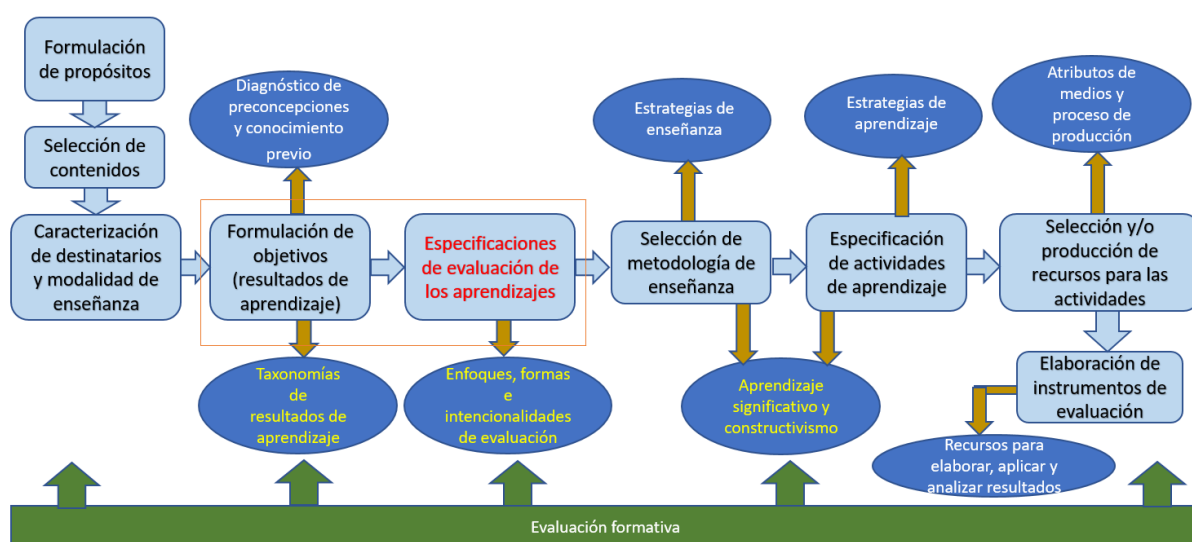
#### **a.e) Diseño Instruccional**

El diseño instruccional es un proceso sistemático de planificación pedagógica que permite guiar el desarrollo de una secuencia o unidad didáctica con el fin de diseñar, desarrollar y evaluar acciones formativas de calidad. En la literatura pueden encontrarse diferentes definiciones del proceso, que se operacionalizan en diferentes modelos, según el punto de vista de los autores. Por ejemplo, para Bruner (Bruner, 1969, como se cita en Belloch, s.f.) “el diseño instruccional se ocupa de la planeación, la preparación y el diseño de los recursos y ambientes necesarios para que se lleve a cabo el aprendizaje” (p.2). En cambio para Berger y Kam (Berger y Kam, 1996, como se cita en Belloch, s.f.) “el diseño instruccional es la ciencia de creación de especificaciones detalladas para el desarrollo, implementación, evaluación, y mantenimiento de

situaciones que facilitan el aprendizaje de pequeñas y grandes unidades de contenidos, en diferentes niveles de complejidad” (p.2).

No obstante la variedad de definiciones y modelos del proceso de diseño instruccional, es posible resumir sus componentes en los subprocesos que se incluyen en el siguiente diagrama (Figura 31):

Figura 31  
Proceso general de diseño instruccional.



Nota. Tomado de Consideraciones de diseño instruccional para planificación y desarrollo de cursos y lecciones, por Claudio Pérez Matzen.

#### a.f) Formulación de objetivos de la secuencia didáctica.

La secuencia didáctica debe poseer sus propios objetivos para así poder identificar las habilidades que se quieren desarrollar. Los objetivos de la secuencia didáctica son:

- Comprender y analizar la habilidad de argumentación científica, reconociendo la importancia de esta en la vida cotidiana, mediante el uso de diversos ejemplos.
- Desarrollar y potenciar la habilidad de argumentación científica, mediante la ejecución de diferentes debates durante la secuencia didáctica.

- Construir y comunicar argumentos científicos en base a las implicaciones sociales, éticas y ambientales de problemas relacionados con controversias públicas que involucran el uso de energía nuclear para la generación de energía eléctrica.

#### **a.g) Aprendizajes esperados.**

Es importante mencionar los aprendizajes y conocimientos, que se espera que los y las estudiantes logren durante la secuencia didáctica. Estos son:

- Analizar y comprender los conceptos básicos de física nuclear y termodinámica.
- Aplicar los conceptos básicos de física nuclear y termodinámica para la comprensión del funcionamiento de una central nuclear de potencia.
- Desarrollar y potenciar la habilidad de argumentación, mediante la ejecución de un debate científico estudiantil.
- Comprender las reglas básicas de un debate estructurado.
- Conducir una investigación documental y/o bibliográfica, discriminando fuentes confiables de información.
- Procesar evidencias y/o información encontrada de diferentes fuentes confiables, con respecto a los pros y contras de las centrales nucleares de potencia.

#### **a.h) Objetivos de aprendizaje de habilidades y de conocimiento y comprensión.**

Para la secuencia didáctica objeto de esta Tesina, se adoptarán los objetivos de aprendizaje que el programa de Ciencias para la Ciudadanía declaró para sus Módulos de Ambiente y Sostenibilidad y de Tecnología y Sociedad (semestrales, para III o IV año de E. Media):

- OAH-b:  
Formular preguntas y/o problemas, a partir de conocimiento científico, que puedan ser resueltos mediante una investigación científica
- OAH-e:  
Planificar una investigación no experimental y/o documental que considere

diversas fuentes de información para responder a preguntas científicas o para constituir el marco teórico de la investigación experimental.

- OAH-f:  
Conducir rigurosamente investigaciones científicas para obtener evidencias precisas y confiables con el apoyo de las TIC.
- OAH-g:  
Organizar el trabajo colaborativo, asignando responsabilidades, comunicándose en forma efectiva y siguiendo normas de seguridad.
- OAH-l:  
Explicar y argumentar con evidencias provenientes de investigaciones científicas, en forma oral y escrita, incluyendo tablas, gráficos, modelos y TIC.

#### **a.i) Indicadores de evaluación.**

Al igual que cualquier otro curso que posee una serie de objetivos predeterminados, es importante realizar evaluaciones y señalar los indicadores que acompañan a dichas evaluaciones. Evaluar durante un proceso de aprendizaje, nos permite “determinar en qué medida se han logrado las intenciones educativas” (Dominighini y Cataldi, 2016, p.60), y para ello se emplean los indicadores de evaluación, los cuales se refieren a desempeños que pueden ser medible u observables que finalmente dan cuenta del cumplimiento de un objetivo o atributo. (Centro de Medición MIDE UC, 2020) De esta manera, el estudiante podrá corregir sus errores, y seguir las estrategias más adecuadas para dicho fin (Dominighini y Cataldi, 2016).

Para alcanzar lo anteriormente propuesto, se ha desarrollado y sintetizado una serie indicadores de evaluación para efectos de este trabajo, los cuales permitirán medir y observar los objetivos que propone la secuencia didáctica de la tesina. Estos son:

- Comprenden la importancia del uso de la habilidad de argumentación en ciencias.
- Construyen argumentos claramente organizados de manera lógica con la idea principal y siendo respaldados en base a diferentes fuentes de información confiables, dando los créditos correspondientes.

- Seleccionan diferentes fuentes de información para la formulación de sus argumentos.
- Analizan críticamente la opción nucleoelectrica como una solución de mitigación frente al cambio climático.

#### **a.j) Selección y producción de recursos didácticos.**

En cuanto a los recursos didácticos a utilizar en ésta secuencia didáctica, se priorizará la selección y producción de aquellos que estén estrechamente relacionados con las TIC 's, principalmente debido a que la “utilización de contenidos digitales de buena calidad enriquece el aprendizaje y puede, a través de simulaciones y animaciones, ilustrar conceptos y principios que de otro modo serían muy difíciles de comprender para los estudiantes” (Morrisey, 2010, p.83), como lo pueden ser en este caso, los temas a tratar de física nuclear y termodinámica.

Es necesario tener en consideración que para incorporar el uso de TIC 's en el aula, es necesario que los docentes se encuentren capacitados y familiarizados con las nuevas tecnologías, al igual que los y las estudiantes, ya que su efectividad está relacionado directamente “con la manera en que estudiantes y docentes hacen uso de ellos” (Lanuza et al., 2018, p.17). Siempre se debe recordar que este tipo de herramientas nos permiten de muy buena manera, tanto a estudiantes como a docentes, desarrollar las capacidades creativas y analíticas del individuo. (Lanuza et al., 2018)

#### **a.k) Elaboración de instrumentos de evaluación.**

Antes de realizar la elaboración de los instrumentos de evaluación que se ocuparan en la secuencia didáctica, se acordaron el tipo de evaluaciones<sup>3</sup> sumativas y formativas que se iban a utilizar en el transcurso de esta, para así poder elaborar los instrumentos de evaluación afines. Teniendo eso en consideración, se elabora una rúbrica adaptada para la evaluación<sup>4</sup> principal,

---

<sup>3</sup> El tipo de evaluaciones, y en el momento que se van a realizar se pueden observar en la Carta Gantt mostrada anteriormente.

<sup>4</sup> Las rúbricas se mostrarán en la próxima sección.

es decir, una rúbrica para el debate estudiantil. Para la elaboración de esta, se tomaron en consideración diferentes aspectos propios de esta evaluación.

De igual manera, como evaluación principalmente formativa, se utiliza el ticket de salida al término de cada clase, para seguir continuamente el aprendizaje de los y las estudiantes.

En el caso de la evaluación diagnóstica formativa, que se realizará en la primera clase, se realizará una prueba escrita, la cual permitirá la correcta evaluación de los conocimientos previos de los y las estudiantes con respecto a los temas de argumentación científica y energía nuclear.

## Capítulo 6: Recursos para la implementación de la Secuencia Didáctica

Tomando en consideración el marco teórico, metodológico y el diseño instruccional presentados anteriormente, se mostrarán los recursos para la implementación de la secuencia didáctica, los cuales corresponde a las planificaciones específicas de cada una de clases que se realizarán durante el transcurso de esta, junto con sus respectivos instrumentos de evaluación.

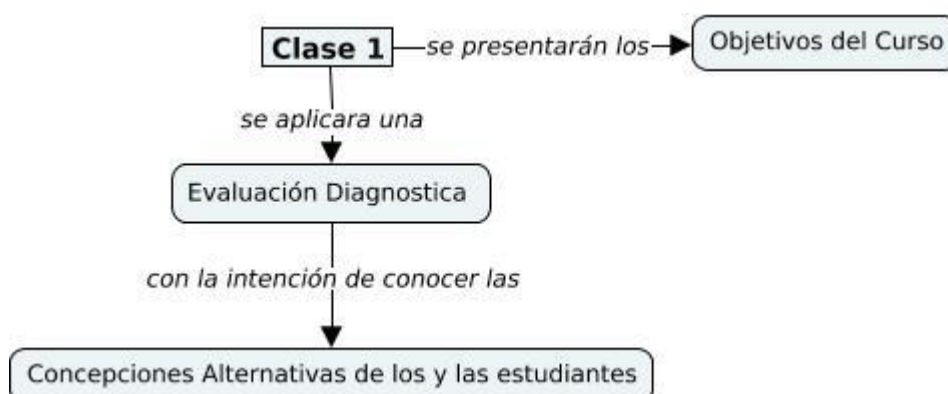
### Planificaciones de las Clases de la Secuencia Didáctica

A continuación, se presenta un breve resumen de cada una de las planificaciones, ya que el detalle de estas se podrá encontrar en el Anexo 1 de esta Tesina.

#### a) Resumen clase a clase

Figura 32

Resumen clase 1



Nota. Elaboración propia.

El propósito de esta clase, es presentar el curso de tal forma de mostrar sus diferentes objetivos e implementar una evaluación diagnóstica a los y las estudiantes, con la finalidad de conocer sus concepciones alternativas con respecto a la argumentación científica y la energía nuclear. De igual forma, en esta clase se organizan los y las estudiantes en grupos para realizar los futuros debates a lo largo del curso.

Figura 33

Resumen clase 2

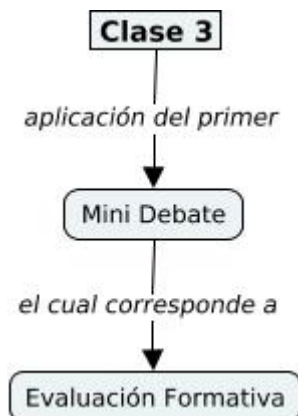


Nota. Elaboración propia.

Tras la primera clase introductoria, comienzan las clases de contenido, siendo la primera de ellas sobre la argumentación científica y el debate.

Figura 34

Resumen clase 3

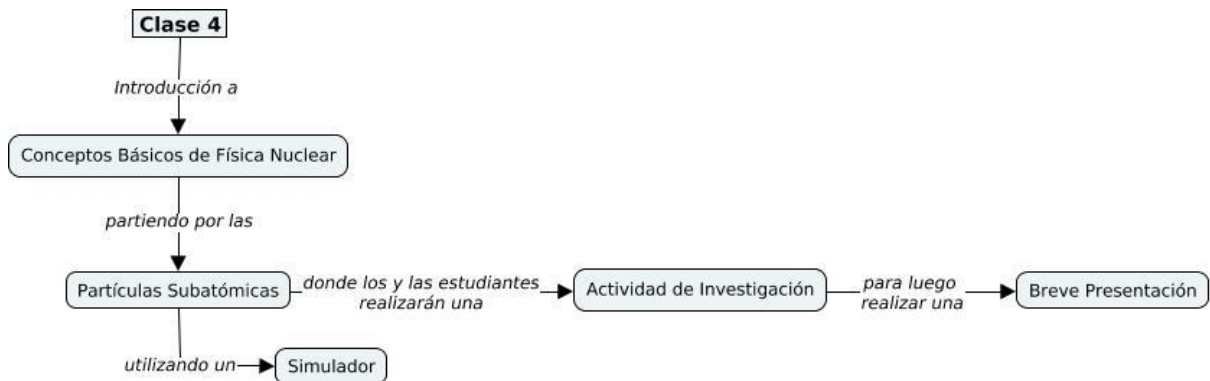


Nota. Elaboración propia.

En esta clase se realiza el primer mini debate del curso, el cual cubre las temáticas de: “Energía Nuclear, ¿una solución al cambio climático o un peligro latente?” y “Costo de la energía nuclear vs costo de las energías renovables”. Cabe destacar que este mini debate consiste en una evaluación formativa, donde los y las estudiantes debatirán solo con sus conocimientos previos con respecto a dichas temáticas.

Figura 35

Resumen clase 4



Nota. Elaboración propia.

La presente clase consiste en el inicio de los contenidos físicos nucleares, donde lo primero que verán los y las estudiantes serán las partículas subatómicas.

Figura 36

Resumen clase 5

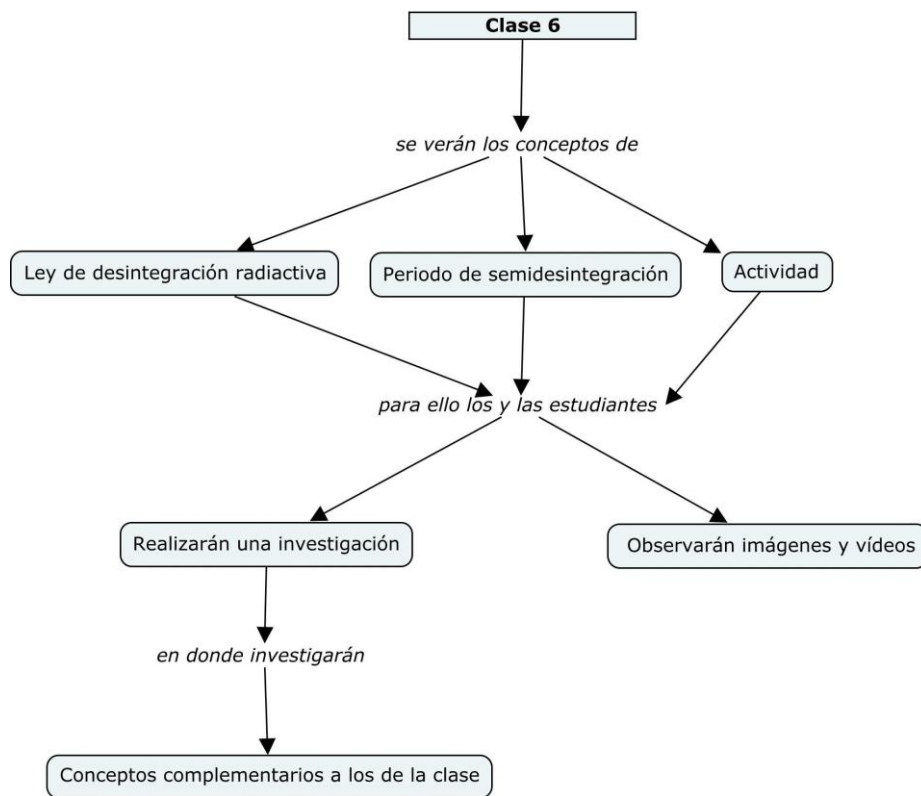


Nota. Elaboración propia.

En la clase cinco se verá otro concepto de física nuclear, el cual corresponde a la radiactividad y sus tipos de desintegración.

Figura 37

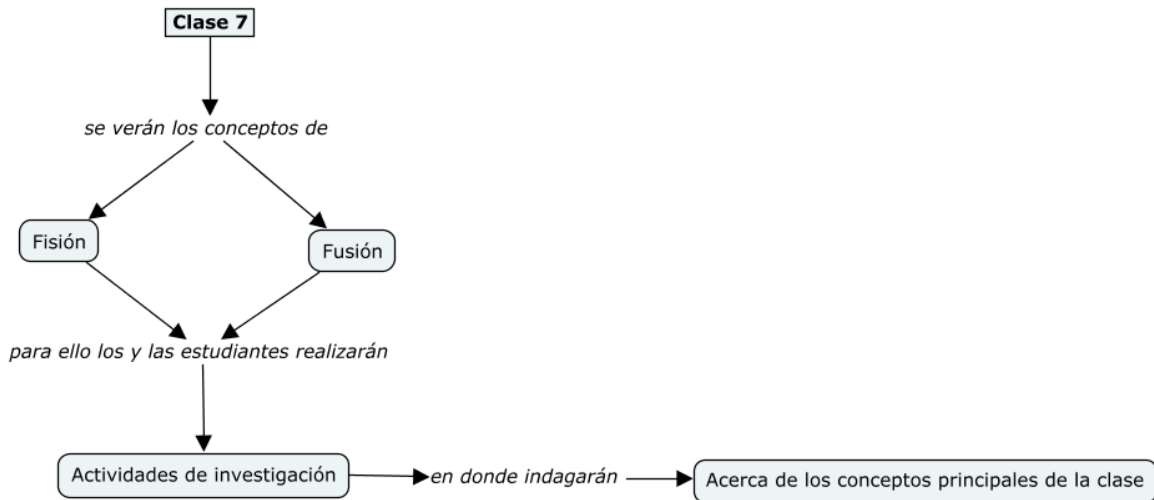
Resumen clase 6



Nota. Elaboración propia

En esta clase se continuará con los conceptos físicos nucleares básicos, con la finalidad de continuar preparando a los y las estudiantes para la próxima evaluación.

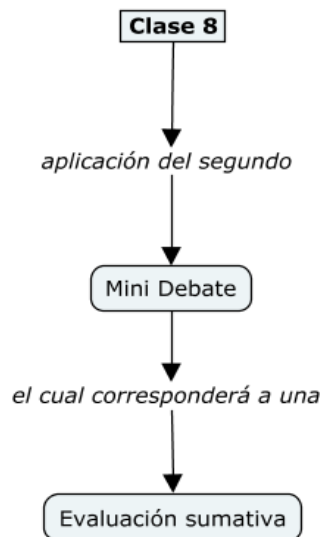
Figura 38  
Resumen Clase 7



Nota. Elaboración propia.

A partir de una clase completamente enfocada en la indagación de los y las estudiantes, se pretenderá ver dos de las reacciones fundamentales para el entendimiento de la física nuclear, es decir, la fisión y la fusión.

Figura 39  
Resumen clase 8

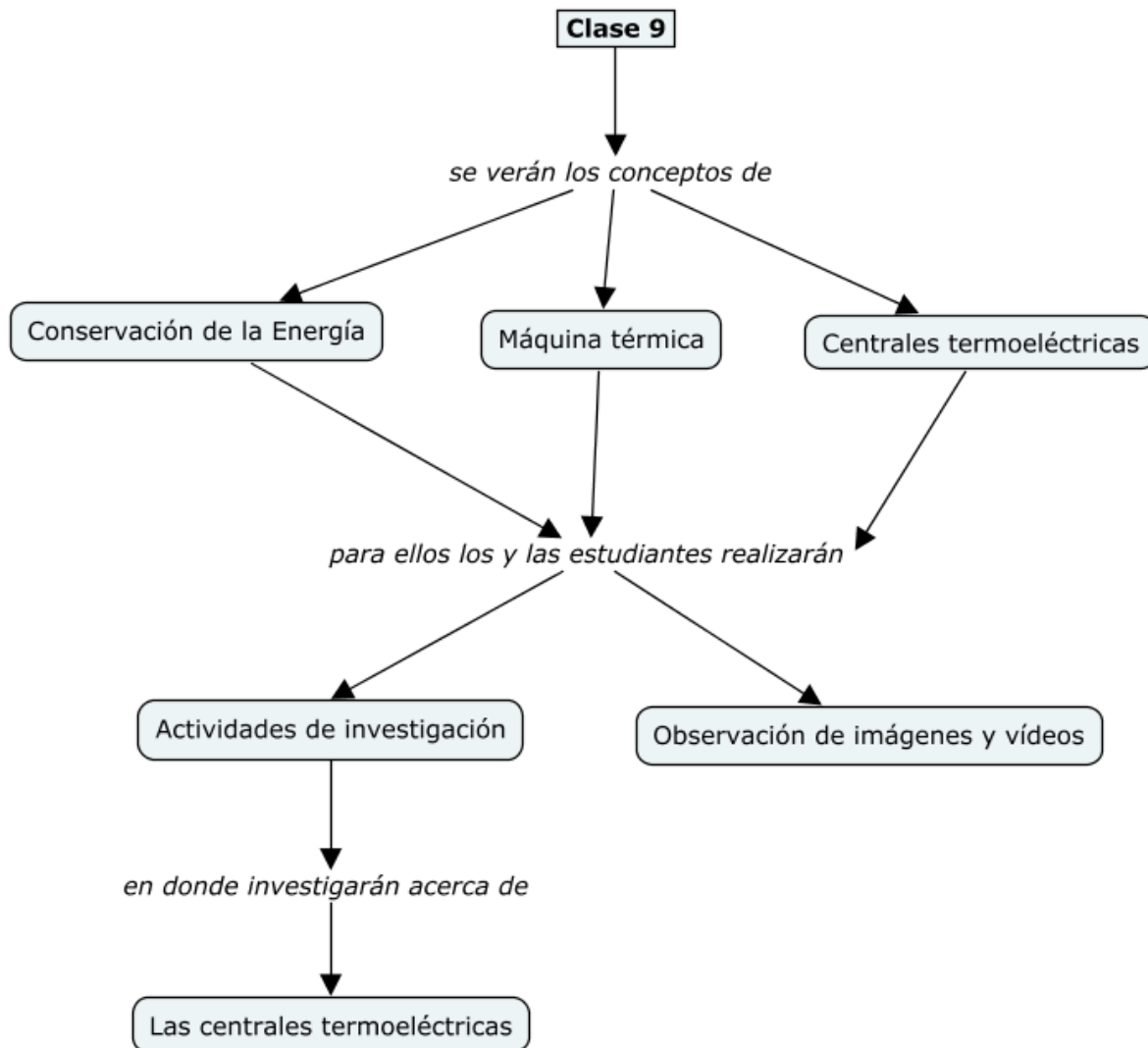


Nota. Elaboración propia.

En esta clase se realiza el segundo mini debate del curso, el cual cubre las temáticas de: “¿Es segura la energía nuclear?” y “El peligro de la carrera armamentista nuclear.”. Cabe destacar que este mini debate consiste en una evaluación sumativa, donde los y las estudiantes deberán debatir a partir de los conocimientos adquiridos durante las clases anteriores.

Figura 40

Resumen clase 9



Nota. Elaboración propia.

Durante esta clase, serán vistos los conceptos termodinámicos fundamentales para comprender principalmente, el funcionamiento de las centrales termoeléctricas tanto de combustibles fósiles como de combustibles nucleares.

Figura 41

Resumen clase 10



*Nota.* Elaboración propia.

En esta clase se realiza el debate final del curso, el cual cubre las temáticas de: “¿Debería Chile recurrir a la energía nuclear para resolver nuestros problemas de energía?” y “¿Debería Chile recurrir a la energía nuclear para resolver nuestros problemas de cambio climático?”. Cabe destacar que este debate consiste en una evaluación sumativa, donde los y las estudiantes deberán debatir a partir de los conocimientos adquiridos durante todo el curso.

## **b) Instrumentos de Evaluación**

Junto con el resumen de las planificaciones presentadas anteriormente, se encuentran sus respectivos instrumentos de evaluación, tanto para evaluaciones formativas como sumativas en

el Anexo 2. Por lo que a continuación se presenta una breve tabla, la cual resume cada una de los instrumentos de evaluación ocupados durante esta secuencia didáctica.

Tabla 5

Resumen instrumentos de evaluación

Tipo de instrumento	Descripción	Clase en la que se implementa	Carácter de la evaluación
Evaluación Diagnóstica	Consiste en una evaluación escrita, la cual tiene como finalidad conocer las concepciones alternativas de los y las estudiantes en torno a los conceptos de argumentación científica y energía nuclear.	Clase 1	Formativa
Mini Debate	Este instrumento tiene como finalidad, aproximarse de manera paulatina a la práctica del gran debate que se desarrollará al final del curso. De igual manera y con el mismo grado de importancia, se observará la formulación, el desarrollo y la comunicación de argumentos por parte de los estudiantes, en torno a las preguntas planteadas desde el comienzo del curso.	Clase 3 y Clase 8	Formativa y Sumativa, respectivamente
Ticket de Salida	Dicho instrumento está formado por una serie de preguntas relacionadas con los aprendizajes obtenidos por parte de los y las estudiantes durante el transcurso de la clase realizada.  Este instrumento ayuda a los docentes a poder identificar si los y las estudiantes realmente están aprendiendo los conceptos enseñados.	Clase 2, Clase 3, Clase 5, Clase 6, Clase 7, Clase 8, Clase 9 y Clase 10	Formativa
Gran Debate	Considerando la evaluación “Mini Debate”, el último instrumento que se presenta a continuación consiste en un debate con una mayor duración, en el cual se evaluará principalmente la formulación, el desarrollo y la comunicación de argumentos por parte de los estudiantes, elaborados a partir de los conocimientos adquiridos durante todo el curso. Se discutirán de igual manera dos preguntas, las cuales fueron informadas al inicio del curso.	Clase 10	Sumativa

Nota. Elaboración propia.

## Capítulo 7: Reflexiones y Proyecciones del Trabajo

Para el desarrollo de este trabajo se consideraron diferentes aristas involucradas en la educación en ciencias, tales como el fomento y desarrollo de habilidades científicas, y la discusión en torno a un tema socio científico de carácter polémico a nivel global, incluidos en la fundamentación del problema al comienzo de este trabajo.

Gracias al desarrollo e implementación de la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía, se permite la incorporación de temas que en algunas ocasiones, desde los cursos específicos disciplinares, no se logran abarcar de manera completa debido al avance curricular y al escaso tiempo disponible por parte de los y las profesores/as. Por lo cual, implementar la temática del desarrollo y fomento de la habilidad de argumentación científica en base a la implementación de un debate en torno a la utilización de la energía nuclear en Chile para contrarrestar el cambio climático y solucionar los problemas de energía del país, dentro de la asignatura de Ciencias para la Ciudadanía, específicamente en el módulo de Medio Ambiente y Sostenibilidad, es una gran oportunidad para los y las estudiantes puedan aprender más sobre la habilidad argumentativa. Por esa razón se presentó durante el marco teórico de la presente tesina, el uso de conceptos afines para que los y las docentes puedan aprovechar esa oportunidad. Algunos de dichos conceptos corresponden a: Las concepciones alternativas de los y las estudiantes, la cual corresponde a los conocimientos previos que poseen sobre ciertos temas o conceptos en específico; la aplicación del aprendizaje significativo para modificar dichas concepciones, ya que sin estos conocimientos previos no es posible realizar un aprendizaje significativo en ellos/as.

Es indudable que se requieren dispositivos y aparatos tecnológicos (principalmente TIC') para desarrollar gran parte de las actividades propuestas en esta secuencia didáctica. Sin embargo, es complejo realizar una propuesta que pueda ser realizada en todos los establecimientos educacionales del país, ya que las realidades de cada uno son amplias y variadas. Y, es por esto, que para implementar este trabajo se deben considerar algunos requerimientos mínimos con el fin de lograr un mayor éxito en los aprendizajes esperados para los estudiantes.

Dichos requerimientos mínimos consisten en que los y las estudiantes poseen fuentes de información disponibles para su búsqueda, esto puede ser desde sus celulares personales, tablets, libros, revistas científicas, o computadores, los cuales estos últimos pueden ser personales o del establecimiento educacional.

Además, se sugiere que el o la profesor/a, tenga acceso a un proyector, un computador y a internet, para de esa forma poder mostrar a los y las estudiantes diferentes videos y/o simuladores a lo largo de la secuencia didáctica.

Considerando el escenario actual del avance del cambio climático, es importante formar ciudadanos informados, y que sean capaces de tomar decisiones al respecto, para mitigar y detener, hasta cierto punto, los graves efectos que posee este fenómeno. De igual manera, se espera que mediante la dinámica planteadas en este trabajo, a partir del uso y desarrollo de la capacidad de argumentación científica por parte de los y las estudiantes, se potencie el interés en debatir temáticas sociocientíficas que implican consecuencias sociales, ambientales, y económicas en nuestro país y también a nivel global, para de esta forma seguir contribuyendo a partir de la educación en ciencias, con ciudadanos capaces de informarse y de discutir aquellos aspectos más importantes que impactan en su diario vivir.

Además, pueden considerarse diferentes temáticas aún más polémicas para ser discutidas mediante un debate, implicadas aspectos políticos y sociales de interés público, que de igual forma pueden seguir potenciando y desarrollando, principalmente, la habilidad de argumentación científica de los y las estudiantes.

Con respecto a la temática de fondo ocupada para desarrollar los diversos debates durante la secuencia didáctica, se puede observar que la tecnología nuclear ha avanzado a grandes pasos los últimos años, donde las centrales son cada vez más seguras, se han realizado mayores estudios con respecto a la fusión nuclear y nuevos combustibles para esta, entre otras. Por lo que es importante que los y las ciudadanos estén informados constantemente, ya que cada vez hay nuevos avances o descubrimientos.

A pesar de que este trabajo no pudo ser aplicado debido a contratiempos que afectaron a los autores, se decidió continuar con la finalidad de contribuir a una asignatura emergente como lo es Ciencias para la ciudadanía, y en futuro, como profesores ya egresados de la Universidad, implementar nuestro proyecto y de esta manera obtener resultados más detallados acerca de los aprendizajes obtenidos por parte de los y las estudiantes al aplicar este tipo de secuencias, siempre enfocado en mejorar nuestro desempeño y nuestro quehacer docente.

Como educadores, durante el desarrollo de este trabajo, tal y como se nos ha enseñado durante nuestro periodo de estudiantes, al momento de construir cada planificación de clase se procuró dar siempre protagonismo al estudiante, y de igual manera al desarrollo de sus habilidades.

Con respecto a los aprendizajes obtenidos por parte de los autores durante el desarrollo de esta tesina, se destaca la importancia de los aprendizajes significativos en la ejecución de nuestras clases, junto con los variados usos que pueden tener herramientas didácticas de enseñanza y de aprendizaje, como lo es en este caso los mapas conceptuales; a pesar de que fueron utilizados en esta tesina para resumir los contenidos vistos clase a clase, se logró investigar que tienen un potencial uso y utilidad para fortalecer y recopilar los aspectos más relevantes de cada sesión.

Debido al valor que significa el uso de este tipo de recursos, como el mencionado anteriormente, se espera en un futuro cada vez más cerca, aprendamos y consideremos en futuras planificaciones e implementación, todos aquellos recursos de enseñanza y aprendizaje que signifiquen una innovación dentro del aula de clase, como ha sido la tendencia en estos últimos años. Nuestro objetivo siempre será, como profesores, abandonar la forma de enseñanza más tradicional y expositiva, dando paso a una enseñanza más didáctica, donde los y las estudiantes sean los protagonistas de su aprendizaje.

## Referencias

- Acevedo Díaz, J.C. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: Educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 3-15.  
[https://www.researchgate.net/publication/28093012\\_Reflexiones\\_sobre\\_las\\_finalidades\\_de\\_la\\_enseñanza\\_de\\_las\\_ciencias\\_educacion\\_cientifica\\_para\\_la\\_ciudadania](https://www.researchgate.net/publication/28093012_Reflexiones_sobre_las_finalidades_de_la_enseñanza_de_las_ciencias_educacion_cientifica_para_la_ciudadania)
- Arancibia Gil, J. (s.f.). Central Termoeléctrica [Imagen]. *Blog de Tecnología*.  
<https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/fsancac/2014/11/03/central-termoelectrica-esquemas/>
- Armin Andereya, L. (2008). La crisis de credibilidad del tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares. *Diplomacia* 117, 77-91.  
<https://biblioteca.corteidh.or.cr/tablas/r22604.pdf>
- Arteaga Valdés, E., Armada Arteaga, L. y Del Sol Martínez, J. L. (2016). La enseñanza de las ciencias en el nuevo milenio. Retos y sugerencias. *Revista Universidad y Sociedad*, 8(1), 169-176.  
[https://www.researchgate.net/publication/317515351\\_La\\_enseñanza\\_de\\_las\\_ciencias\\_en\\_el\\_nuevo\\_milenio\\_Retos\\_y\\_sugerencias](https://www.researchgate.net/publication/317515351_La_enseñanza_de_las_ciencias_en_el_nuevo_milenio_Retos_y_sugerencias)
- Ausubel D. (s.f). *Teoría del Aprendizaje Significativo*. [Archivo pdf,].
- BBC Mundo. (2014). Japón: tras dos explosiones, preocupa otro reactor nuclear [Imagen].  
[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/03/110313\\_japon\\_segunda\\_explosion\\_fukushima\\_nuclear\\_fp](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/03/110313_japon_segunda_explosion_fukushima_nuclear_fp)
- Belloch, C. (s.f). *Diseño Instruccional*. Unidad de Tecnología Educativa (UTE). Universidad de Valencia.
- Bles, M., Afman, M., Benner, J., Blom, M., Croezen, H., Rooijers, F., y Schepers, B. (2011). *Nuclear energy: The difference between costs and prices*. CE Delft
- BrainKart. (s.f.). Law of radioactive decay.  
[https://www.brainkart.com/article/Law-of-radioactive-decay\\_41526/](https://www.brainkart.com/article/Law-of-radioactive-decay_41526/)

- Buitrago Martín, Á.R., Mejía Cuenca, N. M. y Hernández Barbosa, R. (2013). La argumentación: de la retórica a la enseñanza de las ciencias. *Innovación Educativa*, 13(63), 17-40. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179429575003>
- Carrascosa Alís, J. (2005). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (Parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2(2), 183-208. [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2005.v2.i3.07](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2005.v2.i3.07)
- Cengel, Y.A. y Boles, M.A. (2012). *Termodinámica*. Séptima Edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores.
- Centro de Medición MIDE UC. (2020). *Aportes para la evaluación. Objetivos e indicadores de evaluación. Trazando la ruta para diseñar buenas evaluaciones* [Archivo PDF]. <https://www.mideuc.cl/wp-content/uploads/2020/08/3-Objetivos-e-indicadores.pdf>
- Cobo Gonzales, G., Valdivia Cañotte, S. M. y Peralta Ruiz, Y. R. (2017). *Debate*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ComoFunciona. (s.f.). Cómo funciona una máquina de vapor [Imagen]. <https://como-funciona.co/una-maquina-de-vapor/>
- Comisión Chilena de Energía Nuclear. (11 de diciembre de 2018). *Seguridad en la gestión de desechos radiactivos en Chile*. Ministerio de Energía. <https://www.cchen.cl/?p=2438>
- Consejo de Seguridad Nuclear. (s.f.). *La Energía Nuclear*. <https://www.csn.es/documents/10182/927506/La+energ%C3%ADa+nuclear+%28Monograf%C3%ADa%29>
- Consejo de seguridad nuclear. (s.f.). Reactores de agua en ebullición (BWR). <https://www.csn.es/reactores-de-agua-en-ebullicion-bwr->
- Consejo de seguridad nuclear. (s.f.). Reactores de agua a presión (PWR). <https://www.csn.es/reactores-de-agua-a-presion-pwr->
- Cuti. (04 de Marzo de 2010). *Class Debate: Is Nuclear Energy Safe?*. Rubistar
- Dawe, A., McKeating, J., Labunska, I., Schulz, N., Stensil, S.-P., Ulrich, K. (2016). *Heridas nucleares: El legado eterno de Chernóbil y Fukushima*. Greenpeace International.

Delgado, L. (2018). El debate académico como instrumento educativo en la enseñanza secundaria. *Publicaciones*, 48(2), 113–125. doi:10.30827/publicaciones.v48i2.8336

Deloitte. (2016). Sector energía I: Marco regulatorio y matriz energética. Chile. [Archivo pdf.]

Dominighini, C. y Cataldi, Z. (2016). Fundamentos teóricos para la formación de criterios de evaluación. *Revista de Información Educativa y Medios Audiovisuales*. 13(21), 60-72.

Dupuis, M.C. (2008). El reto de la gestión de residuos radiactivos: proteger al hombre y su entorno. *Economía industrial*, 369. 55-63.

Espinoza Freire, E. E. (2020). La argumentación científica una herramienta didáctica.

*Uniandes Episteme*, 8(1),106-121.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8298135>

Física Nuclear 12. (s.f.)

Foro de la Industria Nuclear Española. (s.f). *¿Cuáles son los nuevos reactores del futuro?*

<https://www.foronuclear.org/actualidad/a-fondo/cuales-son-los-nuevos-reactores-del-futuro/>

Foro de la Industria Nuclear Española. (s.f). *¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la*

*fisión y fusión nuclear?* <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-fusion-nuclear/cuales-son-las-ventajas-y-desventajas-de-la-fision-y-fusion-nuclear/>

Foro de la Industria Nuclear Española. (s.f). *¿Cómo influye la energía nuclear en el medio*

*ambiente?* <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear-y-medio-ambiente/como-influye-la-energia-nuclear-en-el-medio-ambiente/>

Foro de la Industria de Nuclear Española. (s.f.). ¿Cómo se realiza una reacción nuclear?  
[Imagen].<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear/como-se-realiza-una-reaccion-nuclear/>

Foro de Industria Nuclear Española. (14 de diciembre de 2021). *Emplazamiento y tecnología seleccionados para la construcción del primer reactor modular pequeño en Canadá.*  
<https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/emplazamiento-y-tecnologia-seleccionados-para-la-construccion-del-primer-reactor-modular-pequeno-en-canada/>

Foro de la Industria Nuclear Española. (s.f). *Energía nuclear en el mundo.*  
<https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/energia-nuclear-en-el-mundo/>

Foro de la Industria Nuclear Española. (24 de Agosto de 2021). *La ONU pide no excluir a la energía nuclear de la lucha contra el cambio climático.*  
<https://www.foronuclear.org/actualidad/noticias/la-onu-pide-no-excluir-a-la-energia-nuclear-de-la-lucha-contr-el-cambio-climatico/>

Foro Nuclear. (2019). Tabla Periódica de los elementos [Imagen], [Archivo pdf]  
<https://www.foronuclear.org/wp-content/uploads/2020/05/tabla-periodica-2020-foro-nuclear.pdf>

Galeana, L. (s.f.). Aprendizaje basado en proyectos. Universidad de Colima.  
<https://repositorio.uesiglo21.edu.ar/handle/ues21/12835>

Galindo, Andrea. (03 de noviembre del 2021). *¿Qué es la energía nuclear? La ciencia de la energía nucleoelectrica.* Oficina de Información al Público y Comunicación del OIEA.<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-energia-nuclear-la-ciencia-de-la-energia-nucleoelectrica>

García-Carmona, A. y Criado, A.M. (2010). La competencia social y ciudadana desde la educación científica: una experiencia en torno a la energía nuclear. *Investigación en la escuela*, (71), 25-38.  
<https://www.researchgate.net/publication/235954029> La competencia social y ciudadana desde la educación científica una experiencia en torno a la energía nuclear

García, L. E. y Ortega Gutierrez, J. (2017). *El debate como herramienta de aprendizaje*. Jornadas de Innovación e Investigación Docente. 48-56.

García N. (2021). *Matriz energética y eléctrica en Chile*. Asesoría Técnica Parlamentaria. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.  
[https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN\\_Matriz\\_energetica\\_electrica\\_en\\_Chile.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf)

Giancoli, D. C. (2008). *Física para ciencias e ingeniería*. Cuarta Edición. Pearson Educación.

Gobierno de Chile. (sf.). *Gobierno y Generadoras Anuncian Fin de Nuevos Desarrollos de Plantas a Carbón*.  
[https://energia.gob.cl/sites/default/files/180129\\_comunicado\\_no\\_mas\\_nuevas\\_plantas\\_a\\_carbon\\_con\\_logos.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/180129_comunicado_no_mas_nuevas_plantas_a_carbon_con_logos.pdf)

González, G. (16 de diciembre de 2019). Modelo de Toulmin: elementos y ejemplos. Lifeder.  
<https://www.lifeder.com/modelo-de-toulmin/>

González Medina, R. (s.f). *Tema 9: Física Nuclear*.

Gutiérrez, E.E., Capuano, V.C., Perrotta, M.T., De La Fuente, A.M. y Follari, B.R. (2000). ¿Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear? *Enseñanza de las Ciencias*, 18(2). 247-254. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4043>

Henao, B. L. y Stipcich, M. S. (2008). Educación en ciencias y argumentación: la perspectiva de Toulmin como posible respuesta a las demandas y desafíos contemporáneos para la enseñanza de las Ciencias Experimentales. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 7(1), 47-62. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2581245>

International Atomic Energy Agency. (2006). *Fundamental Safety Principles* [Principios fundamentales de seguridad]. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1273\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1273_web.pdf)

International Atomic Energy Agency. (2018). *Economic Assessment of The Long Term Operation of Nuclear Power Plants: Approaches and Experience*.

International Atomic Energy Agency. (2021). *Long Term Structure of The IAEA Safety Standards and Current Status* [Estructura a largo plazo de los estándares de seguridad de la OIEA y su actual estado]. <https://www-ns.iaea.org/committees/files/CSS/205/status.pdf>

Instituto nacional de investigaciones nucleares. (2013). Fisión Nuclear. *Secretaría de energía*. México. <http://www.inin.gob.mx/temasdeinteres/fisionnuclear.cfm>

Jiménez-Martínez, J. y Custodio, E. (2008). El exceso de deuterio en la lluvia y en la recarga a los acuíferos en el área circum-mediterránea y en la costa mediterránea española. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (1): 21-32 ISSN: 0366-0176.

Kenneth Shultis, J. (2002). *Fundamentals of Nuclear. Science and Engineering*. Kansas State University.

Koh, J. H., y Chai, C. S. (2016). *Seven design frames that teachers use when considering technological pedagogical content knowledge (TPACK)*. *Computers & Education*, 102, 244-257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.09.003>

Lagos Mirando, C. (2009). *Antecedentes para una Política Pública en Minerales Estratégicas: Litio*. Dirección de Estudios y Políticas Públicas de COCHILCO.

Lanuzá Gámez, F. L., Rizo Rodríguez, M. y Saavedra Torres, L. E. (2018). Uso y aplicación de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 7(25), 16-30. <http://dx.doi.org/10.5377/farem.v0i25.5667>

Larraín S., A. (2009). El rol de la argumentación en la alfabetización científica. *Estudios Públicos*,(116), 167-194. Martín-Díaz, M. J. (2002). Enseñanza de ciencias ¿Para qué?. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(2), 57-63. <https://www.researchgate.net/publication/28092798> Enseñanza de las ciencias Para que

Ley 18302 de 1984. Ley de Seguridad Nuclear. 16 de abril de 1984.

Matthew, J. K., Punya, M., & William, C. (2015). ¿Qué son los Saberes Tecnológicos y Pedagógicos del Contenido (TPACK)?, 10, 9–23.

Máxima Uriarte, J. (2021). Modelo atómico de Bohr [Figura]. Características.co. <https://www.caracteristicas.co/modelo-atomico-de-bohr/>

Meija, J., Coplen, T., Berglund, M., Brand, W., De Bievre, P., Gröning, M., Holden, N., Irrgeher, J., Loss, R., Walczyk, T. y Prohaska, T. (2016). Isotopic compositions of the elements 2013 (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 88(3), 293-306. <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0503>

Ministerio de Educación de Chile. (2019). *Bases Curriculares 3 y 4 medio*. Unidad de Currículum y Evaluación.

Ministerio de educación, cultura y deporte de España. (2015). *Aprendizaje basado en proyectos. Infantil, Primaria y Secundaria*.

Ministerio de Energía. (2010). *Núcleo-electricidad en Chile, Posibilidades, brechas y*

*desafíos.*

Ministerio de Energía. (2019). *Plan de Descarbonización de la Matriz Eléctrica*. <https://energia.gob.cl/mini-sitio/plan-de-descarbonizacion-de-la-matriz-electrica>

Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). *¿Qué es el Cambio Climático?* <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/que-es-el-cambio-climatico/>

Morales Rivas, M.J. (2020). Nuclear vs. Renovable. *Revista Ciencias Sistema y Tecnología*,(17). <https://revistaecys.github.io/17Edicion/>

Morrissey, J. (2010). *El uso de TIC en la enseñanza y el aprendizaje. Cuestiones y desafíos*. [Archivo pdf]. <https://educrea.cl/wp-content/uploads/2016/02/DOC-tic.pdf>

Naciones Unidas. (s.f). *Objetivos y Metas de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Noji, E.K. (2000). *Impacto de los desastres en la salud pública*. Organización Panamericana de Salud.

Nuclear power. (s.f.). Decay Constant. <https://www.nuclear-power.com/nuclear-power/reactor-physics/atomic-nuclear-physics/radioactive-decay/radioactive-decay-law/decay-constant/>

Organismo Internacional de Energía Atómica. (s.f). *Historia del Organismo Internacional de Energía Atómica*. <https://www.iaea.org/es/el-oiea/historia>

Organismo Internacional de Energía Atómica. (7 de abril de 2021). *Lista de Estados Miembros*. <https://www.iaea.org/es/el-oiea/lista-de-estados-miembros>

Organización de las Naciones Unidas. (s.f). *Décima Conferencia de las Partes de 2020 encargada del examen del Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares*. <https://www.un.org/es/conferences/npt2020/background>

Organización Meteorológica Mundial. (22 de Septiembre de 2019). *El clima mundial: entre 2015 y 2019 se ha acelerado el cambio climático.*

<https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-clima-mundial-entre-2015-y-2019-se-ha-acelerado-el-cambio-clim%C3%A1tico>

Pacheco, R. (2014). Marco teórico: el modelo TPACK. En *Modelo TPACK* (p. 25).

Parra, S. (9 de Marzo de 2012). *Diagrama para debatir cualquier tema con alguien.*

Xatakaciencia.<https://www.xatakaciencia.com/otros/diagrama-para-debatir-cualquier-tema-con-alguien>

Planas, O. (20 de octubre de 2021). *Fisión nuclear, qué es, cómo funciona y ejemplos.*

Energía Nuclear. <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/fision-nuclear>.

Planas, O. (1 de diciembre de 2021). *Accidentes nucleares.* Energía nuclear.

<https://energia-nuclear.net/accidentes-nucleares>

Pérez, C. (2010). *Máquinas de Vapor y Centrales Termoeléctricas. Estudio introductorio de aplicación práctica del concepto de energía.* Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.

Pérez, C. (s.f). *Transferencia de energía y máquinas térmicas.* Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.

Pinochet, J. (2015). El modelo argumentativo de Toulmin y la educación en ciencias: una

revisión argumentada. *Ciência & Educação*, 21(2), 307-327.

<https://doi.org/10.1590/1516-731320150020004>

Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). (2014). Eficiencia de una Máquina de Calor

y Diferencias de Temperaturas.

[http://srv2.fis.puc.cl/mediawiki/index.php/Eficiencia\\_de\\_una\\_M%C3%A1quina\\_de\\_Calor\\_y\\_Diferencias\\_de\\_Temperaturas\\_%28Fiz0211%29](http://srv2.fis.puc.cl/mediawiki/index.php/Eficiencia_de_una_M%C3%A1quina_de_Calor_y_Diferencias_de_Temperaturas_%28Fiz0211%29)

- Rabadán Vergara, J. M. (2012). La enseñanza y aprendizaje de las ciencias mediante la indagación como factor determinante en la mejora de la calidad de los aprendizajes de los alumnos. *Estilos de aprendizaje: investigaciones y experiencias*. V Congreso Mundial de Estilos de Aprendizaje. Santander, 27, 28 y 29 de junio de 2012.
- Rajput, J. K. (2007). *Engineering Thermodynamics*. Third Edition. SI Units Version.
- Rodríguez Bello, L. I. (2004). El modelo argumentativo de Toulmin en la escritura de artículos de investigación educativa. *Revista Digital Universitaria*, 5(1), 2-18.  
<https://www.revista.unam.mx/vol.5/num1/art2/art2-3.htm>
- Ruiz Limón, R. (2004). Historia de la Psicología y sus aplicaciones.  
<https://www.eumed.net/libros-gratis/2007b/288/index.htm>
- Salas-Rueda, R. (2019). *Modelo TPACK: ¿Medio para innovar el proceso educativo considerando la ciencia de datos y el aprendizaje automático?*. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, Vol. 7, Núm. 19, 2019. Disponible en:  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=457658021003>
- Salas-Rueda, R. (2018). *Uso del modelo TPACK como herramienta de innovación para el proceso de enseñanza-aprendizaje en matemáticas*. *Perspectiva Educativa. Formación de Profesores*. Vol 57; N° (2), pp. 3-26.
- Samperio Pacheco, Víctor Manuel & Barragán López, Jorge Francisco. (2018). *Análisis de la percepción de docentes, usuarios de una plataforma educativa a través de los modelos TPACK, SAMR y TAM3 en una institución de educación superior*. *Apertura*, 10 (1), pp. 116-131. [http:// dx.doi.org/10.18381/Ap.v10n1.1162](http://dx.doi.org/10.18381/Ap.v10n1.1162)
- Significados. (s.f.). Masa atómica. Consultado el 20 de julio de 2022.  
<https://www.significados.com/masa-atmica/>

- Silva, P., & Pereira, G. (2021, 31 octubre). *Implementación del modelo TPACK para el mejoramiento de la Integración de las TIC en los Contenidos Curriculares de la asignatura de Matemáticas de 1° medio de un establecimiento educacional de la comuna de Contulmo*.
- Sotomayor, C., Vaccaro, C. y Téllez, V. (2021). *Aprendizaje Basado en Proyectos. Un enfoque pedagógico para potenciar los procesos de aprendizaje hoy*. Ministerio de Educación de Chile.
- Stincer Gómez, D. y Monroy Nasr, Z. (2012). Los afectos en la argumentación científica: una útil perspectiva para la formación de la habilidad de argumentar. *Nova Scientia*, 4(8), 110-128 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203324394007>
- Unidad de Currículum y Evaluación. (2019). *Metodología de aprendizaje basado en proyectos*. Ministerio de Educación de Chile.
- Universidad Nacional de Educación a Distancia. (2016). La energía nuclear. Centrales [Imagen]. *Fukushima accidente nuclear*. <https://fukushima-1188.appspot.com/1/4>
- United Nations. (s.f). *Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons*. [Tratado de no proliferación de armas nucleares]. <https://treaties.unoda.org/t/npt>
- Vázquez Alonso, Á., Acevedo Díaz, J. A., y Manassero-Más, M.A. (2004). Consenso sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza. *Revista Iberoamericana de Educación*, 34(1), 1-37 <https://doi.org/10.35362/rie3412895>
- Valenzuela González, A., Gallego Torres, A. P. y Zúñiga González, L. R. (2021). Argumentación científica escolar: un modelo para la defensa del medio ambiente. *Revista Tecne, Episteme y Didaxis: TED*. (Número extraordinario). 71-77. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/15047>

Vivanco Font E. (septiembre 2019). Cambio Climático Conceptos e impactos. Asesoría Técnica Parlamentaria. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27848/1/CC\\_Conceptos\\_e\\_impactos\\_Website\\_CC\\_2019.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27848/1/CC_Conceptos_e_impactos_Website_CC_2019.pdf)

Vivanco Font E. (2020). *Energías renovables y no renovables: Ventajas y desventajas de ambos tipos de energía*. Asesoría Técnica Parlamentaria. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29102/1/BCN\\_Energia\\_renovable\\_y\\_no\\_renovableventajas\\_y\\_desventajas\\_final.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/29102/1/BCN_Energia_renovable_y_no_renovableventajas_y_desventajas_final.pdf)

Wikipedia (s.f). Contador Geiger [Imagen]. [https://es.wikipedia.org/wiki/Contador\\_Geiger](https://es.wikipedia.org/wiki/Contador_Geiger)

World Nuclear Association. (2017). *Nuclear Power Economics and Project Structuring*.

Young, H.D. y Freedman, R.A. (2009). *Física universitaria*. Decimosegunda edición. Pearson Educación.

## Anexo 1: Planificaciones de Clases

<b>Clase 1</b> <b>PRESENTACIÓN DEL CURSO</b>			
<b>Objetivo de la clase:</b>		<b>Recursos</b>	<b>Evaluación</b>
<p>Identificar las preconcepciones de los y las estudiantes mediante la implementación de una evaluación diagnóstica, reconociendo sus conocimientos previos sobre los conceptos tratados durante el transcurso del curso.</p>			
<b>Inicio</b> <b>(15 Minutos)</b>	<p>El/la profesor/a apoyando con la ayuda de un PPT presenta el curso dando los objetivos de este, los cuales son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Comprender y analizar la habilidad de argumentación científica, reconociendo la importancia de esta en la vida cotidiana, mediante el uso de diversos ejemplos.</li> <li>● Desarrollar y potenciar la habilidad de argumentación científica, mediante la ejecución de diferentes debates durante la secuencia didáctica.</li> <li>● Construir y comunicar argumentos científicos en base a las implicaciones sociales, éticas y ambientales de problemas relacionados con controversias públicas que involucran el uso de energía nuclear para la generación de energía eléctrica.</li> </ul> <p>De igual forma se presentará su correspondiente planificación, explicando cada una de las evaluaciones que se realizarán en su transcurso.</p> <p>Las primeras evaluaciones serán dos minis debates de carácter formativo, los cuales tendrán una duración de 15 minutos. Para ello el curso se dividirá en cuatro grupos, dos a favor de la energía nuclear y dos en contra de esta.</p> <p>Las temáticas de estos serán:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Energía Nuclear, ¿una solución al cambio climático o un peligro latente?</i></li> <li>2. <i>Costo de la energía nuclear vs costo de las energías renovables.</i></li> </ol>	<p>Computador, proyector y PPT, ver anexo 3.</p>	

	<p>Cabe destacar que dichos grupos se mantendrán a lo largo de todo el curso.</p> <p>Luego de esa primera instancia, se presentará otros dos minis debates, con la misma duración que los anteriores, pero en este caso serán de carácter sumativa, teniendo las siguientes temáticas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>¿Es segura la energía nuclear?</i></li> <li>2. <i>El peligro de la carrera armamentista nuclear.</i></li> </ol> <p>Finalmente, para concluir el curso, se realizarán dos grandes debates de carácter sumativo, los cuales los y las estudiantes tendrán un tiempo de 30 minutos para desarrollarlos. Dichos debates poseen como título:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>¿Debería Chile recurrir a la energía nuclear para resolver nuestros problemas de energía?</i></li> <li>2. <i>¿Debería Chile recurrir a la energía nuclear para resolver nuestros problemas de cambio climático?</i></li> </ol> <p>Es importante que el/la docente destaque que el primer mini debate de carácter formativo, se debe realizar únicamente con los conocimientos previos de los y las estudiantes sobre el tema, por lo que es importante que en lo posible NO busquen información adicional a la que ya poseen.</p>		
<p><b>Desarrollo (60 Minutos)</b></p>	<p>Tras esa breve introducción del taller, se organizan los grupos para los futuros debates realizados en el transcurso del curso, los cuales se mantendrán hasta el final de este.</p> <p>Posteriormente, el/la profesor/a realiza una evaluación formativa diagnóstica a los y las estudiantes sobre las preconcepciones que poseen sobre la argumentación científica y el uso de centrales nucleares para la generación de energía eléctrica.</p> <p>Los y las estudiantes desarrollarán dicha evaluación de forma individual, respondiendo solo las cosas que saben o se acuerdan, es decir, sin buscar información adicional, por lo que no podrán usar sus celulares.</p>		<p>Evaluación Formativa Diagnóstica de Preconcep ciones. (ver anexo 3).</p>

	Finalizado eso, el/la docente entregará la evaluación diagnóstica que realizaron anteriormente de forma al azar a cada estudiante, de tal manera que entre ellos mismos se evalúen y corrijan su evaluación. Para así él/la profesora de una retroalimentación general al curso.		
<b>Cierre (15 minutos)</b>	El/la docente explica la importancia de la evaluación que acaban de realizar y el propósito de esta, el cual corresponde levantar sus preconcepciones con respecto a las temáticas a tratar y ver la modificación y/o evolución de estos.  De igual forma el/la profesor/a ocupa este espacio para responder dudas que posean los y las estudiantes con respecto al curso, a los debates, etc.		

**Clase 2**  
**INTRODUCCIÓN A LA ARGUMENTACIÓN CIENTÍFICA**

<b>Objetivo de la clase:</b>	<b>Recursos</b>	<b>Evaluación</b>	
<p><b>Inicio</b>  <b>(15 Minutos)</b></p>	<p>El/la profesor/a comienza la clase realizando la siguiente pregunta a los y las estudiantes: “¿Qué es la argumentación científica?”, en base a las múltiples respuestas que se darán por parte de los y las estudiantes, el/la profesor/a los guiará hacia la respuesta correcta.</p> <p>Posteriormente, el/la profesor/a les mostrará a los y las estudiantes una noticia nacional sobre la llegada de las vacunas para Chile contra el COVID-19. Donde se espera que los y las estudiantes analicen dicha noticia y respondan la siguiente pregunta planteada por el/la profesor/a: “¿Qué se debe hacer para poder argumentar científicamente un tema como el que muestra la noticia?”</p>	<p>Pizarra y plumones</p> <p>Noticia:</p> <p><a href="https://www.ispandresbell.o.cl/el-mercurio-vacunacion-contra-el-covid-19-lo-bueno-lo-malo-y-lo-que-viene-para-chile/">https://www.ispandresbell.o.cl/el-mercurio-vacunacion-contra-el-covid-19-lo-bueno-lo-malo-y-lo-que-viene-para-chile/</a></p>	
<p><b>Desarrollo</b>  <b>(60 Minutos)</b></p>	<p>Posteriormente los y las estudiantes deberán desarrollar una actividad de manera individual.</p> <p>La actividad consiste en investigar por medios de dispositivos digitales (como celulares, Tablet, computadores, etc.) lo que significa la argumentación científica. Junto con eso, deberán buscar información sobre la noticia mostrada anteriormente y opinar científicamente, argumentado su opinión en base a lo investigado.</p>	<p>Proyector, computador y PPT (ver anexo 3)</p>	

	<p>Es importante que el/la docente enfatice la importancia de la búsqueda y filtración de información y/o evidencia. De igual forma, puede dar algunas fuentes de confianza para los y las estudiantes.</p> <p>En base a la actividad deberán concluir la importancia de la argumentación científica, para luego dar paso a la presentación por el equipo docente del modelo argumentativo de Toulmin mediante un PPT.</p> <p>Para verificar la comprensión de este, los y las estudiantes deberán aplicar la temática de la noticia trabajada durante la clase al modelo argumentativo de Toulmin, de tal forma que sepan aplicar este tipo de modelo en los futuros debates.</p> <p>Tras la actividad de los y las estudiantes, el/la docente mostrará un PPT el cual presenta lo que es un debate y sus reglas. El/la profesor/a realiza la siguiente pregunta a sus estudiantes: “¿Qué relación posee el debate con la argumentación científica?”, en base a las múltiples respuestas que se darán por parte de los y las estudiantes, el/la profesor/a los guiará hacia la respuesta correcta.</p>		
<p><b>Cierre (15 minutos)</b></p>	<p>Para finalizar la clase, se realiza un breve resumen, mediante una lluvia de ideas por parte de los y las estudiantes.</p> <p>De igual forma, se le dará un espacio para las dudas y consultas que ellos/as poseen con respecto al tema tratado en clase, invitando a la reflexión mediante la resolución de un ticket de salida.</p> <p>De esta forma, se podrá evidenciar el aprendizaje aprendido en la clase.</p>	<p>Ticket de Salida</p>	

Clase 3 EVALUACIÓN FORMATIVA: MINI DEBATE			
Objetivo de la clase:		Recursos	Evaluación
<p>Desarrollar un mini debate nuclear entre los y las estudiantes de forma presencial, con la finalidad que desarrollen la habilidad de argumentación científica.</p>			
<b>Inicio (15 Minutos)</b>	<p>El/la profesor/a comienza la clase realizando un breve resumen de la clase anterior con ayuda de los y las estudiantes, donde se esperan que mencionen: que es la argumentación científica, el debate y su importancia.</p> <p>Posteriormente, el/la profesor/a les explica a los y las estudiantes la siguiente evaluación que tendrán que desarrollar, la cual consiste en un pequeño debate el cual fue anticipado con anterioridad.</p>	Pizarra y Plumones	
<b>Desarrollo (50 Minutos)</b>	<p>Tras las instrucciones dadas por el/la profesor/a, los y las estudiantes deberán reunirse en sus correspondientes grupos y realizar el debate en torno a las temáticas entregadas por el/la profesor/a, las cuales corresponden a:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>. <i>Energía Nuclear, ¿una solución al cambio climático o un peligro latente?</i></li> <li>. <i>Costo de la energía nuclear vs costo de las energías renovables.</i></li> </ul> <p>Las cuales se desarrollarán en el orden correspondiente.</p> <p>Cabe destacar que los y las estudiantes tienen un tiempo de 15 minutos para realizar este mini debate.</p> <p>Después de finalizado el debate los y las estudiantes se sentarán en círculo dentro de la sala de clases, para que el/la profesor/a les realice las siguientes preguntas y ellos/as den su opinión entorno a estas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ¿Cómo se sintieron al momento de debatir?</li> <li>● ¿Qué creen que les faltó en este debate?</li> <li>● ¿Creen que cumplieron con las reglas del debate?</li> </ul>		<p>Evaluación</p> <p>Formativa: Mini Debate con temáticas en:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Energía Nuclear, ¿una solución al cambio climático o un peligro latente?</i></li> <li>2. <i>Costo de la energía nuclear vs costo de las energías renovables</i></li> </ol>

	<p>Los y las estudiantes responderán cada una de las preguntas respetando sus opiniones, mediante la dinámica de pasar una pelota para dar la palabra a la persona.</p> <p>Posteriormente el/la profesor/a se encargará de realizarles una retroalimentación a los y las estudiantes del debate presentado anteriormente, de tal forma que ellos/as sepan en lo que deben reforzar para el próximo debate, el cual es de carácter sumativo.</p>		
<p><b>Cierre (25 minutos)</b></p>	<p>Para finalizar la clase, los y las estudiantes realizarán un ticket de salida el cual contiene preguntas de autorreflexión para ellos/as en torno al debate que realizaron durante la clase.</p> <p>De igual forma, se le dará un espacio para las dudas y consultas que ellos/as poseen con respecto al tema tratado en clase.</p>	<p>Ticket de Salida</p>	

Clase 4 INTRODUCCIÓN A CONCEPTOS BÁSICOS DE FÍSICA NUCLEAR			
Objetivo de la clase:		Recursos	Evaluación
Comprender los conceptos básicos de física nuclear, partiendo por las partículas subatómicas mediante la investigación bibliográfica, con la finalidad de prepararse para el próximo debate.			
<b>Inicio (15 Minutos)</b>	<p>El/la profesor/a comienza la clase realizando un resumen del debate presentado en la clase anterior.</p> <p>Posteriormente, el/la profesor/a presenta la temática de la clase de hoy, el cual corresponde al inicio de los conceptos fundamentales de física nuclear. Donde el primer concepto que se abordará será el de las Partículas Subatómicas.</p> <p>Para la motivación de la clase, se presentará un simulador de átomos, el cual los y las estudiantes ayudarán al/la profesor/a a construir un átomo.</p>	Pizarra y Plumones Simulador: <a href="https://phet.colorado.edu/en/simulations/build-an-atom">https://phet.colorado.edu/en/simulations/build-an-atom</a>	
<b>Desarrollo (60 Minutos)</b>	<p>Posteriormente los y las estudiantes deberán buscar información, por medios de dispositivos digitales (como celulares, Tablet, computadores, etc.), con respecto a la temática de la clase, de tal forma que puedan responder las siguientes preguntas planteadas por la profesora:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ¿Qué son las partículas subatómicas?</li> <li>● ¿Cuáles son sus características?</li> <li>● ¿Cuáles son sus núcleos?</li> </ul> <p>Los y las estudiantes deberán responder dichas preguntas de forma completa en parejas, escribiéndolas en su cuaderno de forma ordenada.</p> <p>Es importante que el/la docente recomiende que solo se centre en la búsqueda de información de las partículas clásicas.</p>	Proyector, computador y PPT	
<b>Cierre (15 minutos)</b>	<p>Para finalizar la clase, se realiza una breve presentación de las respuestas de cada pareja, de tal forma que expliquen y argumenten cada una de sus respuestas.</p>		

	<p>De igual forma, se le dará un espacio para las dudas y consultas que ellos/as poseen con respecto al tema tratado en clase, invitando a la reflexión mediante la siguiente pregunta: ¿Qué son las partículas subatómicas?</p> <p>De esta forma, se podrá evidenciar el aprendizaje aprendido en la clase.</p>		
--	--	--	--

Clase 5 INTRODUCCIÓN A CONCEPTOS BÁSICOS DE FÍSICA NUCLEAR			
Objetivo de la clase:		Recursos	Evaluación
Comprender el concepto de radiactividad y sus tipos de desintegración por medio de una investigación bibliográfica, con la finalidad de prepararse para el próximo debate.			
<b>Inicio (15 Minutos)</b>	<p>El/la profesor/a comienza la clase realizando un resumen de la clase anterior con ayuda de los y las estudiantes, donde se esperan que mencionen: que son las partículas subatómicas, sus características y núcleos.</p> <p>Posteriormente, el/la profesor/a presenta mediante un video la temática de la clase de hoy, el cual corresponde al concepto de radiactividad y sus tipos de desintegración.</p>	Pizarra y Plumones.  Video:  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=USDLwPKpNxs&amp;channel=Aqujero degusano">https://www.youtube.com/watch?v=USDLwPKpNxs&amp;channel=Aqujero degusano</a>	
<b>Desarrollo (60 Minutos)</b>	<p>Tras ver el video los y las estudiantes deberán investigar por medios de dispositivos digitales (como celulares, Tablet, computadores, etc.) sobre la radiactividad y sus tipos de desintegraciones.</p> <p>Los y las estudiantes deberán realizar la actividad de forma individual, propuesta por la profesora, la cual consiste en realizar un mapa conceptual sobre la radiactividad, en el cual se destaquen su definición, tipos de desintegraciones y sus respectivas definiciones.</p>	Computador, proyector y PPT	
<b>Cierre (15 minutos)</b>	<p>Para finalizar la clase, se realiza un breve resumen, mediante una lluvia de ideas por parte de los y las estudiantes.</p> <p>De igual forma, se le dará un espacio para las dudas y consultas que ellos/as poseen con respecto al tema tratado en clase, invitando a la reflexión mediante la resolución de un ticket de salida.</p>	Ticket de Salida	

	De esta forma, se podrá evidenciar el aprendizaje aprendido en la clase.		
--	--	--	--

**Clase 6****LEY DE DESINTEGRACIÓN RADIATIVA, PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN Y ACTIVIDAD.**

<b>Objetivo de la clase:</b>	<b>Recursos</b>	<b>Evaluación</b>
<b>Inicio</b> <b>(15 Minutos)</b>	<p>El/la profesor/a comienza la clase realizando un resumen de los contenidos vistos anteriormente, en el cual se espera que los y las estudiantes mencionen los conceptos de radiactividad y los tipos de desintegración.</p> <p>Posteriormente el/la profesor/a presenta el tema de la clase, el cual corresponde a la ley de desintegración radiactiva, periodo de semidesintegración y actividad.</p> <p>Para ello se les mostrará a los y las estudiantes un vídeo adjuntado en la sección “recursos”, y se les realizarán las siguientes preguntas:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• ¿Reconocen este sonido?</li><li>• ¿A qué concepto lo asocian principalmente?</li></ul>	Pizarra y plumones.  Video:  <a href="https://www.youtube.com/watch?v=WahfwuW76o0&amp;ab_channel=Neshy33">https://www.youtube.com/watch?v=WahfwuW76o0&amp;ab_channel=Neshy33</a>
<b>Desarrollo</b> <b>(60 Minutos)</b>	<p>Se le presenta a los y las estudiantes “La Ley de desintegración radiactiva”, junto con su correspondiente ecuación matemática. Se destaca principalmente el significado y el uso del concepto de constante de desintegración radiactiva.</p> <p>A partir del tratamiento matemático de la ley presentada anteriormente, se les demuestra a los y las estudiantes la procedencia del periodo de semidesintegración, conjunto con su respectiva definición.</p> <p>A continuación, y por último, se les pregunta a los y las estudiantes:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• ¿Qué significa para ustedes la actividad?</li><li>• ¿Cómo lo podrían asociar con los dos conceptos vistos anteriormente?</li></ul>	Computador, proyector y PPT

	<p>En conjunto con las respuestas de las y los estudiantes finalmente se define el concepto de actividad, y se entregan sus respectivas unidades de medida más utilizadas</p> <p>Para la siguiente parte de la clase, los y las estudiantes deberán investigar de forma individual mediante dispositivos tecnológicos con acceso a internet, cuáles son las constantes de desintegración de los combustibles nucleares más usados alrededor del mundo, cuáles son los dispositivos más utilizados para detectar la actividad en el ambiente, y, por último, qué significa la vida promedio (mean life), y cual es su diferencia con el periodo de semidesintegración o vida media.</p> <p>Los y las estudiantes exponen sus respuestas, elegidos al azar frente al curso, para de esta forma retroalimentar sus posibles dudas y consultas.</p>		
<p><b>Cierre</b> <b>(15 minutos)</b></p>	<p>Para finalizar la clase, se realiza un breve resumen, mediante una lluvia de ideas por parte de los y las estudiantes.</p> <p>De igual forma, se le dará un espacio para las dudas y consultas que ellos/as poseen con respecto al tema tratado en clase, invitando a la reflexión mediante la resolución de un ticket de salida.</p> <p>De esta forma, se podrá evidenciar el aprendizaje aprendido en la clase.</p>	<p>Ticket de Salida</p>	

Clase 7			
REACCIONES NUCLEARES: FISIÓN Y FUSIÓN NUCLEAR			
Objetivo de la clase:		Recursos	Evaluación
<p>Investigar acerca de los tipos de reacciones nucleares, utilizando diversas fuentes de información, con la finalidad de prepararse para el próximo debate.</p>			
<p><b>Inicio</b> <b>(15 Minutos)</b></p>	<p>El/la profesor/a comienza la clase realizando un resumen de los contenidos vistos anteriormente, en el cual se espera que los y las estudiantes mencionen los conceptos de la ley de desintegración radiactiva, periodo de semidesintegración y actividad.</p> <p>Posteriormente el/la profesor/a presenta el tema de la clase, el cual corresponde a la fisión y fusión nuclear.</p> <p>Tras dicha introducción se les mostrará un video de una noticia de T13 y se les realizarán las siguientes preguntas en realización al video:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿En qué contexto se da este ataque?</li> <li>• ¿Qué significa para ustedes la frase “ataque nuclear”?</li> <li>• ¿Cuál es la relación entre este armamento y el tema principal de la clase?</li> </ul>	<p>Pizarra y plumones.</p> <p>Noticia:</p> <p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=omQMCv8wqKM&amp;ab_channel=T13">https://www.youtube.com/watch?v=omQMCv8wqKM&amp;ab_channel=T13</a></p>	
<p><b>Desarrollo</b> <b>(60 Minutos)</b></p>	<p>Para esta clase los y las estudiantes, deberán investigar por medios de dispositivos digitales (como celulares, Tablet, computadores, etc.), la información suficiente para dar respuesta a las siguientes preguntas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ¿Qué es la fisión?</li> <li>2) ¿Qué es la fusión?</li> <li>3) ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la fisión nuclear?</li> <li>4) ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la fusión nuclear?</li> <li>5) ¿Qué significa una reacción en cadena? ¿Cuáles son los dispositivos en los que se utiliza?</li> <li>6) ¿Por qué se considera a la fusión nuclear como la energía del futuro?</li> </ol>	<p>Computador, proyector y PPT</p>	

	<p>7) ¿Cuáles son los combustibles más utilizados para la fisión nuclear de los reactores nucleares? ¿Cuánta energía libera en este proceso?</p> <p>Una vez respondida las preguntas por los y las estudiantes, al azar exponen sus respuestas para de esta forma darles una retroalimentación a sus posibles dudas.</p>		
<p><b>Cierre</b> <b>(15 minutos)</b></p>	<p>Para finalizar la clase, se realiza un breve resumen, mediante una lluvia de ideas por parte de los y las estudiantes.</p> <p>De igual forma, se le dará un espacio para las dudas y consultas que ellos/as poseen con respecto al tema tratado en clase, invitando a la reflexión mediante la resolución de un ticket de salida.</p> <p>De esta forma, se podrá evidenciar el aprendizaje aprendido en la clase.</p>	<p>Ticket de Salida</p>	

Clase 8			
1ª EVALUACIÓN SUMATIVA: MINI DEBATE			
Objetivo de la clase:		Recursos	Evaluación
<p>Desarrollar un mini debate nuclear entre los y las estudiantes de forma presencial, con la finalidad que desarrollen la habilidad de argumentación científica.</p>			
<p><b>Inicio</b>  (15 Minutos)</p>	<p>El/la profesor/a comienza la clase realizando un breve resumen de la clase anterior con ayuda de los y las estudiantes, donde se esperan que mencionen los conceptos de fisión y fusión nuclear.</p> <p>Posteriormente, el/la profesor/a les explica a los y las estudiantes la siguiente evaluación que tendrán que desarrollar, la cual consiste en un pequeño debate el cual fue anticipado con anterioridad.</p>	<p>Pizarra y plumones.</p>	
<p><b>Desarrollo</b>  (50 Minutos)</p>	<p>Tras las instrucciones dadas por el/la profesor/a, los y las estudiantes deberán reunirse en sus correspondientes grupos y realizar el debate en torno a las temáticas entregadas por el/la profesor/a, las cuales corresponden a:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>¿Es segura la energía nuclear?</i></li> <li>2. <i>El peligro de la carrera armamentista nuclear.</i></li> </ol> <p>Las cuales se realizarán en su orden correspondiente.</p> <p>Cabe destacar que los y las estudiantes tienen un tiempo de 15 minutos para realizar este mini debate.</p> <p>Después de finalizado el debate los y las estudiantes se sentarán en círculo dentro de la sala de clases, para que el/la profesor/a les realice las siguientes preguntas y ellos/as den su opinión entorno a estas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ¿Cómo se sintieron al momento de debatir nuevamente?</li> <li>● ¿Qué creen que les faltó en este debate?</li> <li>● ¿Creen que cumplieron con las reglas del debate esta vez?</li> </ul>		<p>Evaluación Sumativa: Mini debate nuclear con respecto a los temas de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>¿Es segura la energía nuclear?</i></li> <li>2. <i>El peligro de la carrera armamentista nuclear.</i></li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>Desde su punto de vista ¿Mejoraron respecto al debate anterior?</li> </ul> <p>Los y las estudiantes responderán cada una de las preguntas respetando sus opiniones, mediante la dinámica de pasar una pelota para dar la palabra a la persona.</p> <p>Posteriormente el/la profesor/a se encargará de realizarles una retroalimentación a los y las estudiantes del debate presentado anteriormente, de tal forma que ellos/as sepan en lo que deben reforzar para el próximo debate, el cual es de carácter sumativo.</p>		
<p><b>Cierre</b> <b>(25 minutos)</b></p>	<p>Para finalizar la clase, los y las estudiantes realizarán un ticket de salida el cual contiene preguntas de autorreflexión para ellos/as en torno al debate que realizaron durante la clase.</p> <p>De igual forma, se le dará un espacio para las dudas y consultas que ellos/as poseen con respecto al tema tratado en clase.</p>	<p>Ticket de Salida</p>	

## Clase 9

### CENTRALES TERMOELÉCTRICA FÓSILES Y NUCLEOELÉCTRICAS

- **CONCEPTOS TERMODINÁMICA: CONSERVACIÓN Y DEGRADACIÓN DE ENERGÍA.**
- **MÁQUINA TÉRMICA Y RENDIMIENTO TERMODINÁMICO.**
- **GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD CON CENTRALES NUCLEARES.**
- **SEGURIDAD Y GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS.**

<b>Objetivo de la clase:</b>	<b>Recursos</b>	<b>Evaluación</b>	
<p>Comparar los tipos de centrales termoeléctricas y nucleoeeléctricas existentes para la generación de electricidad, a partir de una investigación bibliográfica, con la finalidad de prepararse para el debate final.</p>			
<b>Inicio</b> <b>(15 Minutos)</b>	El/la profesor/a comienza la clase realizando un resumen del debate presentado en la clase anterior.  Posteriormente, el/la profesor/a presenta la temática de la clase de hoy, el cual corresponde a los conceptos termodinámicos fundamentales para comprender el funcionamiento de las centrales eléctricas.	Pizarra y plumones.	
<b>Desarrollo</b> <b>(60 Minutos)</b>	Se les pregunta a los y las estudiantes lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"><li>• ¿Recuerdan el concepto de calor?</li><li>• ¿Recuerdan el concepto de trabajo?</li><li>• ¿Cómo se pueden relacionar estos dos conceptos?</li></ul> Junto con la respuesta de los y las estudiantes se recuerda la definición de ambos conceptos, y cómo se pueden relacionar entre sí gracias al principio de conservación de la energía. Se menciona también la idea de cómo la energía se degrada con este tipo de transformación.	Computador, proyector y PPT.	

	<p>A continuación, se presenta el modelo de máquina térmica, junto con su definición. Se mencionan algunos ejemplos de máquinas térmicas, y cómo este concepto se puede relacionar con las centrales de generación eléctrica.</p> <p>Los y las estudiantes a partir de ahora, deberán investigar por medios de dispositivos digitales (como celulares, Tablet, computadores, etc.), la información suficiente para dar respuesta a las siguientes preguntas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ¿Cuáles son los principales tipos de centrales nucleares? Realice un esquema para cada tipo que encuentre, y describa sus ventajas y desventajas.</li> <li>2) ¿Cuáles son los principales tipos de centrales eléctricas convencionales? Describa sus ventajas y desventajas.</li> <li>3) ¿Qué tipo de desechos generan las centrales eléctricas? ¿Es posible almacenarlos seguramente?</li> </ol> <p>Una vez respondida las preguntas por los y las estudiantes, al azar exponen sus respuestas para de esta forma darles una retroalimentación a sus posibles dudas.</p>		
<p><b>Cierre</b> <b>(15 minutos)</b></p>	<p>Para finalizar la clase, se realiza un breve resumen, mediante una lluvia de ideas por parte de los y las estudiantes.</p> <p>De igual forma, se le dará un espacio para las dudas y consultas que ellos/as poseen con respecto al tema tratado en clase, invitando a la reflexión mediante la resolución de un ticket de salida.</p> <p>De esta forma, se podrá evidenciar el aprendizaje aprendido en la clase.</p>	<p>Ticket de Salida</p>	

Clase 10			
2ª EVALUACIÓN SUMATIVA: DEBATE FINAL			
Objetivo de la clase:		Recursos	Evaluación
<p>Desarrollar un mini debate nuclear entre los y las estudiantes de forma presencial, con la finalidad de que desarrollen la habilidad de argumentación científica.</p>			
<p><b>Inicio</b> <b>(10 Minutos)</b></p>	<p>El/la profesor/a comienza la clase realizando un breve resumen de la clase anterior con ayuda de los y las estudiantes, donde se esperan que mencionen los conceptos fundamentales asociados a la termodinámica.</p> <p>Posteriormente, el/la profesor/a les explica a los y las estudiantes la siguiente evaluación que tendrán que desarrollar, la cual consiste en un debate el cual fue anticipado con anterioridad.</p>	<p>Pizarra y plumones.</p>	
<p><b>Desarrollo</b> <b>(60 Minutos)</b></p>	<p>Tras las instrucciones dadas por el/la profesor/a, los y las estudiantes deberán reunirse en sus correspondientes grupos y realizar el debate en torno a las temáticas entregadas por el/la profesor/a, las cuales corresponden a:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>¿Debería Chile recurrir a la energía nuclear para resolver nuestros problemas de energía?</i></li> <li>2. <i>¿Debería Chile recurrir a la energía nuclear para resolver nuestros problemas de cambio climático?</i></li> </ol> <p>Las cuales se realizarán en su orden correspondiente.</p> <p>Cabe destacar que los y las estudiantes tienen un tiempo de 30 minutos, ya que corresponde a un debate en el cual ellos y ellas tendrán mayor información para defender sus diferentes posturas o aseveraciones.</p> <p>Después de finalizado el debate los y las estudiantes se sentarán en círculo dentro de la sala de clases, para que el/la profesor/a les realice las siguientes preguntas y ellos/as den su opinión entorno a estas:</p>		<p>Evaluación Sumativa: Debate final con respecto a los temas de:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>¿Debería Chile recurrir a la energía nuclear para resolver nuestros problemas de energía?</i></li> <li>2. <i>¿Debería Chile recurrir a la energía nuclear para resolver</i></li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo se sintieron al momento de debatir? ¿Se sintieron más seguros/as que en los debates anteriores? ¿Por qué?</li> <li>• ¿Creen que cumplieron con las reglas del debate?</li> </ul> <p>Los y las estudiantes responderán cada una de las preguntas respetando sus opiniones, mediante la dinámica de pasar una pelota para dar la palabra a la persona.</p>		<i>nuestros problemas de cambio climático?</i>
<b>Cierre (20 minutos)</b>	<p>Para finalizar la clase, los y las estudiantes realizarán un ticket de salida el cual contiene preguntas de autorreflexión para ellos/as entorno al debate que realizaron durante la clase, además de preguntas enfocadas en los aprendizajes obtenidos en clases.</p> <p>De igual forma, se le dará un espacio para las dudas y consultas que ellos/as poseen con respecto al tema tratado en clase.</p>	Ticket de Salida.	

## Anexo 2: Instrumentos y Recursos de Evaluación

### Prueba Formativa Diagnóstica de Preconcepciones

Implementada en la primera clase

---

Nombre: \_\_\_\_\_

Curso: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

#### INSTRUCCIONES

- Deben contestar cada una de las siguientes preguntas de forma INDIVIDUAL.
- NO SE PUEDE HACER USO DEL CELULAR.
- Es importante que respondan cada una de las preguntas CON LOS CONOCIMIENTOS QUE TENGAN HASTA EL MOMENTO.
- Tienen 15 minutos para responder la prueba.
- Lean atentamente cada pregunta.
- Respondan cada pregunta con letra clara y legible.
- Recuerden que es una PRUEBA FORMATIVA DIAGNÓSTICA, por lo que NO TIENE NOTA. Sin embargo, es importante que la respondan, ya que es importante identificar sus conocimientos previos con respecto a los temas que trataremos en este curso.

#### RESPONDAN LO MAS COMPLETO POSIBLE LAS SIGUIENTES PREGUNTAS.

##### ÍTEM I. ARGUMENTACIÓN CIENTÍFICA.

1. ¿Qué es la argumentación científica? Explique con sus propias palabras.
2. Según usted. ¿Cuál es la importancia de aprender sobre la argumentación científica?
3. Mencione dos ejemplos en el que se aplique la argumentación científica. *Por ejemplo, por parte del/la docente: Para argumentar si una persona está a favor o en contra del uso de la energía nuclear.*

##### ÍTEM II. ENERGÍA NUCLEAR.

1. Con sus propias palabras explique: ¿Qué es la energía nuclear?
2. Según usted. ¿Para qué se utiliza la energía nuclear?
3. ¿Está de acuerdo con el uso de la energía nuclear para la generación de energía eléctrica? Fundamente su respuesta según sus conocimientos.

### **Ticket de Salida**

Ocupado al final de las clases: 2, 5, 6, 7 y 9. Esto se debe a que en las clases 3, 8 y 10, donde se realizan los minis debates y el debate final, se preguntarán otras cosas en su ticket de salida, el cual se encuentra a continuación.

---

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Curso:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

### **INSTRUCCIONES**

- Deben contestar cada una de las siguientes preguntas de forma INDIVIDUAL.
- NO SE PUEDE HACER USO DEL CELULAR.
- Es importante que respondan cada una de las preguntas SEGÚN LOS CONOCIMIENTOS QUE APRENDIERON DURANTE LA CLASE.
- Tienen 10 minutos para responder.
- Lean atentamente cada pregunta.
- Respondan cada pregunta con letra clara y legible.
- Cualquier respuesta es válida, siempre y cuando esté bien fundamentada.

### **REFLEXIÓN DE LA CLASE.**

1. ¿Qué aprendió de la clase de hoy? Explique.
2. ¿Qué fue lo que más se le dificultó aprender? ¿lo logró entender?
3. ¿Qué concepto no pudo entender? ¿por qué?

### **Ticket de Salida**

Utilizado en la clase 3, después del primer mini debate realizado por los y las estudiantes.

---

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Curso:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

### **INSTRUCCIONES**

- Deben contestar cada una de las siguientes preguntas de forma INDIVIDUAL.
- NO SE PUEDE HACER USO DEL CELULAR.
- Es importante que respondan cada una de las preguntas SEGÚN LOS CONOCIMIENTOS QUE APRENDIERON DURANTE LA CLASE.
- Tienen 10 minutos para responder.
- Lean atentamente cada pregunta.
- Respondan cada pregunta con letra clara y legible.
- Cualquier respuesta es válida, siempre y cuando esté bien fundamentada.

### **REFLEXIÓN DEL MINI DEBATE.**

1. Según lo visto en la clase de hoy, del 1 al 10, ¿Qué tan preparado/a se siente para poder defender su postura sobre esta temática en otra situación fuera de la sala de clase? *Por ejemplo, en su círculo familiar.* Explique ¿Por qué?
2. Personalmente, ¿Cree que cumplió con las reglas del debate presentadas en la clase anterior? Fundamente.
3. Según lo experimentado en el debate, ¿Qué aspectos debe mejorar? Justifique.
4. ¿Qué aprendió en la clase de hoy? Explique.

### **Ticket de Salida**

Implementada al final de la clase 8, después de la realización del mini debate de carácter sumativo.

---

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Curso:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

### **INSTRUCCIONES**

- Deben contestar cada una de las siguientes preguntas de forma INDIVIDUAL.
- NO SE PUEDE HACER USO DEL CELULAR.
- Es importante que respondan cada una de las preguntas SEGÚN LOS CONOCIMIENTOS QUE APRENDIERON DURANTE LA CLASE.
- Tienen 10 minutos para responder.

- Lean atentamente cada pregunta.
- Respondan cada pregunta con letra clara y legible.
- Cualquier respuesta es válida, siempre y cuando esté bien fundamentada.

### **REFLEXIÓN DE LA CLASE.**

1. Según lo visto en la clase de hoy, del 1 al 10, ¿Qué tan preparado/a se siente para poder defender su postura sobre esta temática en otra situación fuera de la sala de clase? *Por ejemplo, en su círculo familiar.* Explique ¿Por qué?
2. ¿Cómo se sintió a comparación al primer debate? Explique.
3. Personalmente, ¿Cree que cumplió con las reglas del debate presentadas anteriormente? Fundamente.
4. Según lo experimentado en el debate, ¿Qué aspectos debe mejorar? Justifique.
5. ¿Qué aprendió en la clase de hoy? Explique.

### **Ticket de Salida**

Implementado al final de la última clase, la cual corresponde al desarrollo del último debate por parte de los y las estudiantes.

---

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Curso:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

### **INSTRUCCIONES**

- Deben contestar cada una de las siguientes preguntas de forma INDIVIDUAL.
- NO SE PUEDE HACER USO DEL CELULAR.
- Es importante que respondan cada una de las preguntas SEGÚN LOS CONOCIMIENTOS QUE APRENDIERON DURANTE LA CLASE.
- Tienen 10 minutos para responder.
- Lean atentamente cada pregunta.
- Respondan cada pregunta con letra clara y legible.
- Cualquier respuesta es válida, siempre y cuando esté bien fundamentada.

## REFLEXIÓN DEL DEBATE.

1. Según lo visto en la clase de hoy, del 1 al 10, ¿Qué tan preparado/a se siente para poder defender su postura sobre esta temática en otra situación fuera de la sala de clase? *Por ejemplo, en su círculo familiar.* Explique ¿Por qué?
2. ¿Cómo se sintió a comparación a los debates anteriores? Explique.
3. Personalmente, ¿Cree que cumplió con las reglas del debate? Fundamente.
4. ¿Su postura frente a la temática nuclear cambió en comparación a la que tenía al comienzo del curso? ¿Por qué?
5. ¿Qué aprendió en la clase de hoy? Explique.
6. Fundamente según todo lo que ha aprendido, cuál es su postura con respecto al uso de la energía nuclear en Chile.

### Rúbrica Debate (Cuti, 2010)

Utilizada para evaluar cada uno de los debates realizados a lo largo de la secuencia didáctica.

CATEGORÍA	4	3	2	1
Afirmaciones iniciales y finales.	Extremadamente directo, buena presentación organizada de argumentos y evidencias. Las afirmaciones iniciales captan la atención de la audiencia. Las afirmaciones finales no dejan aspectos sin responder y además se conecta con la audiencia.	Organizada y en general completa presentación de argumentos y evidencias. Las afirmaciones iniciales enlistan los argumentos y evidencias, pero no captan la atención de la audiencia. Las afirmaciones finales no reflejan comentarios hechos durante el debate.	Medianamente organizada presentación de argumentos y evidencias. Las afirmaciones iniciales mínimamente nombran los argumentos; las afirmaciones finales brevemente mencionan las ideas expuestas en las afirmaciones iniciales.	Los argumentos desorganizados, incompletos, o no poseen ningún tipo de evidencia. Las afirmaciones iniciales y finales solamente reafirman la posición del grupo.
Organización de argumentos.	Todos los argumentos están claramente conectados a	La gran mayoría de los argumentos están claramente	Todos los argumentos están claramente conectados a	Los argumentos no tienen evidencias,

	una idea (premisa) y organizados de manera rigurosa y lógica.	conectados a una idea (premisa) y organizados de manera rigurosa y lógica.	una idea (premisa), pero la organización a veces no es clara o lógica.	
Uso de hechos/estadísticas	Todos los argumentos están respaldados con hechos relevantes, estadísticas y/o ejemplos.	Algunos argumentos están adecuadamente respaldados con hechos relevantes y/o ejemplos.	Pocos argumentos están respaldados con hechos, estadísticas y/o ejemplos, pero la relevancia de algunos es cuestionable.	Los argumentos no poseen respaldos.
Refutación	Todos los contra argumentos son precisos, relevantes y sólidos.	La mayoría de los contra argumentos son precisos, relevantes y sólidos.	La mayoría de los contra argumentos son precisos y relevantes, pero algunos son débiles.	Los contra argumentos son imprecisos e irrelevantes.
Estilo de presentación	El grupo constantemente utiliza gestos, contacto visual, tono de voz y entusiasmo para captar la atención de la audiencia.	El grupo usualmente utiliza gestos, contacto visual, tono de voz y entusiasmo para captar la atención de la audiencia.	El grupo algunas veces utiliza gestos, contacto visual, tono de voz y entusiasmo para captar la atención de la audiencia.	Uno o más miembros del equipo mantiene un estilo de presentación, que no capta la atención de la audiencia.
Trabajo en equipo	Todos los integrantes formaron parte de la presentación, y, además se distribuyeron de manera igualitaria el tiempo. Todos los miembros	Uno de los miembros expone durante el 50% del tiempo disponible. La mayoría de los miembros trabajan para formar el debate.	Uno de los miembros expone durante el 75% del tiempo disponible. Algunos de los miembros trabajan para formar el debate.	Uno de los miembros expone durante todo el tiempo disponible. Solo algunos de los miembros trabajan para formar el debate.

	trabajan para formar el debate.			
Respeto hacía el otro grupo.	Todas las afirmaciones, lenguaje corporal, y respuestas son respetuosas y con un lenguaje apropiado.	Las afirmaciones y respuestas son respetuosas y usan un lenguaje apropiado, pero una o dos veces el lenguaje corporal no lo es.	La mayoría de las afirmaciones y respuestas son respetuosas y en un lenguaje apropiado, pero existió un comentario sarcástico.	Las afirmaciones, respuestas y/o lenguaje corporal fueron constantemente irrespetuosos.

