

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**LA IRRADIACIÓN DE ALIMENTOS: PROPUESTA
DIDÁCTICA PARA LA ENSEÑANZA DEL FENÓMENO
DE RADIACIÓN IONIZANTE**

TRABAJO DE GRADO LICENCIATURA EN FÍSICA



DUNKAN STWAR ESTRADA FRANCIS

COD. 2020146020

Autor

FRANCIS MORENO OTERO

Coordinador Licenciatura en Física

Asesor del Trabajo de Grado

BOGOTÁ D.C., AGOSTO DE 2025

Dedicatoria

A mis padres Andrea Francis y Cesar Estrada, por su amor incondicional, su apoyo constante y sus valiosas enseñanzas que me dieron la fe y el impulso para alcanzar mis metas.

*A la idea de lo que yo creo es Dios,
por inspirarme a perseverar y dar sentido a este camino.*

Agradecimientos

Quiero expresar mi profunda gratitud a la idea de lo que yo creo es Dios, por acompañarme y sostenerme en cada paso de este proceso académico.

A mis padres, por su amor incondicional, paciencia y constante apoyo. Este primer logro es tanto mío como de ustedes, y se los dedico con todo mi cariño. Gracias, madre y padre.

Mi sincero agradecimiento a mi asesor Francis Moreno Otero, por creer en mí y guiarme durante todo el desarrollo de este trabajo de grado. Su valiosa colaboración ha sido fundamental para mi formación profesional y personal. Mucho respeto, cariño fraternal y gratitud para él.

A la profesora Marina Garzón Barrios, gracias por sus aportes esenciales, su confianza y calidez humana. Su apoyo ha enriquecido profundamente este proyecto. Extenso agradecimiento y cariño para ella.

Mi reconocimiento al señor Jormagn Israel Abril, por brindarme su tiempo, experiencia y conocimiento para fortalecer mi investigación; su aportación y colaboración fue incalculable.

Al laboratorista del Departamento de Física, Fabián, por proporcionarme información clave y facilitar los espacios de trabajo necesarios para el avance de mi estudio.

Finalmente, quiero agradecer a todos los docentes de la línea de profundización: “La Actividad Experimental para la Enseñanza de la Física”, por sus valiosas correcciones y aportes. Muchas gracias a cada uno de ustedes.

Tabla de Contenidos

INTRODUCCIÓN	8
PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN.....	10
OBJETIVOS.....	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
ANTECEDENTES	13
Antecedentes Nacionales.....	13
Antecedentes Regionales.....	17
Antecedentes Internacionales	20
CAPÍTULO 1	23
¿Comerías un Alimento Irradiado?	23
Irradiación de Alimentos	23
Colombia y los Alimentos Irradiados	25
CAPÍTULO 2	34
La Enseñanza de la Física	34
La Irradiación de Alimentos y la Enseñanza de la Física	36
La Importancia de la Experimentación en la Enseñanza de la Física	37
CAPÍTULO 3	39
Sobre el Problema de la Irradiación de Alimentos.....	39
Los Kilograys (kGy).....	40
Radapertización, Radicidación, Radurización y Picoirradiado	40
Radiación	41

Radiación Ionizante.....	42
Rayos Gamma	43
Cobalto 60	44
CAPÍTULO 4	46
Enfoque Crítico-Social.....	46
Investigación-Acción	47
Propuestas de Enseñanza e Investigación	48
CAPÍTULO 5	56
Resultados y Análisis	56
Análisis de Resultados – Taller 1	56
Análisis de Resultados – Taller 2	62
Conclusiones	69
REFERENCIAS.....	72
ANEXOS.....	75

Lista de Tablas

Tabla 1. Antecedente Nacional n.º 1	13
Tabla 2. Antecedente Nacional n.º 2.....	14
Tabla 3. Antecedente Regional n.º 1.....	17
Tabla 4. Antecedente Regional n.º 2.....	18
Tabla 5. Antecedente Internacional	20
Tabla 6. Aplicaciones de la Irradiación de Alimentos.....	24
Tabla 7. Fases Realizadas en la Construcción del Proyecto de Trabajo de Grado	49
Tabla 8. Taller 1- Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto	51
Tabla 9. Taller 2 - Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierto	53
Tabla 10. Grupos de Respuestas Argumentativas de Opción Abierta de la Primera Encuesta	58
Tabla 11. Grupos de Respuestas Argumentativas de Opción Abierta de la Segunda Encuesta	60
Tabla 12. Variables para la Irradiación de Alimentos, Según los Equipos de Estudiantes	62

Lista de Figuras

Figura 1. Reactor Nuclear IAN-R1	26
Figura 2. Planta Gamma	26
Figura 3. Símbolo de Radura	27
Figura 4. Doritos Flamin Hot de 175g.....	28
Figura 5. Doritos Dinamita Flamin Hot de 200g.....	29
Figura 6. Experto Sobre Plantas de Irradiación e Irradiación de Alimentos	31
Figura 7. Instalación Centralizada para la Gestión de Desechos Radiactivos	32
Figura 8. Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica	33
Figura 9. Ejemplos de Radiaciones no Ionizantes	42
Figura 10. Ejemplos de Radiaciones Ionizantes y Algunos de sus Usos.....	43
Figura 11. Proceso de Emisión de los Rayos Gamma en el Cobalto 60.....	45
Figura 12. Colegio Alfonso López Michelsen	49
Figura 13. Escudo Colegio Alfonso López Michelsen	49
Figura 14. Encuesta de Percepción Estudiantil (Formato).....	57
Figura 15. Ejercicio Final Propuesto (Formato)	64
Figura 16. Interpretación Estudiantil n.º 1 de la Ionización del Átomo por Rayos Gamma.....	65
Figura 17. Interpretación Estudiantil n.º 2 de la Ionización del Átomo por Rayos Gamma.....	66
Figura 18. Interpretación Estudiantil n.º 3 de la Ionización del Átomo por Rayos Gamma.....	67
Figura 19. Interpretación Estudiantil n.º 4 de la Ionización del Átomo por Rayos Gamma.....	67

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Frecuencia Relativa (%) de Opciones de Respuesta Cerradas – Primera Encuesta57
Gráfica 2. Frecuencia Relativa (%) de Respuestas Argumentativas – Primera Encuesta58
Gráfica 3. Frecuencia Relativa (%) de Opciones de Respuesta Cerradas – Segunda Encuesta	...59
Gráfica 4. Frecuencia Relativa (%) de Respuestas Argumentativas – Segunda Encuesta61
Gráfica 5. Frecuencia Relativa (%) de Resultados – Ejercicio Final Parte 164

Lista de Anexos

Anexo 1. Entrevista con Jormagn Israel Abril, Operador de Planta de Irradiación del SGC	75
Anexo 2. Taller 1 (Paso a Paso) - Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto	81
Anexo 3. Taller 2 (Paso a Paso) - Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierto	85
Anexo 4. Secuencia Taller 1 - Recursos Visuales, Experimentos, Actividades y Juegos	89
Anexo 5. Secuencia Taller 2 - Recursos Visuales, Experimentos, Actividades y Juegos	98
Anexo 6. Sistematización de Evidencias - Taller 1	106
Anexo 7. Sistematización de Evidencias - Taller 2	114

INTRODUCCIÓN

Este documento surge como fruto del trabajo de grado llevado a cabo por el autor, y en él se expone de manera detallada el proyecto que ha sido concebido, desarrollado y concluido con la intención de alcanzar los objetivos planteados y responder a la pregunta de investigación que guió todo el proceso. A lo largo de estas páginas, se muestra cómo cada etapa del proyecto se construyó de manera coherente, desde la fundamentación teórica hasta la puesta en práctica en el aula de clases, siempre con el propósito de generar aprendizajes significativos y situados en un contexto real.

La motivación central del trabajo radica en introducir en el ámbito educativo el fenómeno de la radiación ionizante, entendido como un proceso físico que, aunque puede resultar abstracto para muchos estudiantes, cobra relevancia inmediata cuando se vincula con la irradiación de alimentos. Al abordar esta temática, no solo se busca que los alumnos comprendan los principios de la ionización, sino que también se generen espacios de reflexión crítica sobre la problemática social y sanitaria que implica el consumo de productos alimenticios irradiados. En otras palabras, se trata de llevar al aula una cuestión que afecta a toda la sociedad colombiana, incentivar el pensamiento crítico y, en la medida de lo posible, contribuir a la construcción de soluciones informadas. En este caso, la “solución” reside en dotar a los estudiantes y, por extensión, a sus familias de información veraz y sólida que les permita evaluar de manera consciente los beneficios y riesgos asociados a estos alimentos. Cabe destacar que, el proceso de irradiar un alimento no solo involucra procesos físicos, sino que también desencadena reacciones químicas y, posteriormente, cambios biológicos en los microorganismos patógenos presentes en el producto. Esto convierte el tema en un punto de encuentro multidisciplinar donde la física, la química y la biología se articulan en fracciones de segundo. Sin embargo, en este trabajo de grado el énfasis principal recae sobre la dimensión física de la ionización, dado que es el fenómeno que inicia todo el conjunto de procesos subsecuentes. La intención es profundizar en la enseñanza de la ionización como punto de partida para luego abrir el camino hacia las implicaciones más amplias en otras ciencias y en la sociedad.

El escenario elegido para la implementación de esta propuesta educativa fueron los estudiantes de décimo grado del Colegio Alfonso López Michelsen, ubicado en el barrio El Recreo de la localidad de Bosa, en Bogotá, con un estrato socioeconómico 2. Al seleccionar este contexto, se consideró la necesidad de contribuir a prácticas concretas dentro de una comunidad específica,

donde la información científica y crítica pueda generar un impacto real. La escuela pública, en este caso, se convierte en un espacio privilegiado para promover el pensamiento reflexivo y el empoderamiento de jóvenes ante una problemática de interés colectivo.

Con el fin de facilitar la comprensión y el diálogo en el aula, se diseñaron dos talleres complementarios que se desarrollaron a lo largo de tres sesiones. Cada sesión estuvo cuidadosamente planificada para combinar actividades lúdicas, participativas, experimentos prácticos y encuestas que permitieran a los estudiantes interactuar con los conceptos en diferentes niveles. Así, los talleres no se limitaron a exposiciones magistrales, sino que buscaron involucrar a los jóvenes en un aprendizaje activo: mediante juegos didácticos, se inició el acercamiento a los conceptos fundamentales de radiación y conservación de alimentos; con experimentos sencillos y analogías, se evidenciaron los efectos más elementales de la irradiación de alimentos; y a través de encuestas, se registraron las percepciones y dudas de los estudiantes, enriqueciendo la reflexión colectiva y ajustando las estrategias pedagógicas en tiempo real.

El enfoque adoptado para llevar a cabo este proyecto en el aula se fundamenta en una perspectiva crítico-social del tipo investigación-acción. Esto implica que la intervención no se concibe como algo externo al contexto educativo, sino como un proceso dialógico en el cual los actores (docentes y estudiantes) participan activamente en la construcción de conocimiento y en la transformación de su realidad. Desde esta óptica, la metodología empleada es de corte cualitativo, pues se prioriza la comprensión profunda de las experiencias, percepciones y significados que los estudiantes atribuyen al fenómeno de la irradiación de alimentos, más que la mera recolección de datos cuantitativos. Se recurre, entonces, a registros de campo, observación participante, entrevistas, encuestas y grupos focales, de modo que cada opinión y cada detalle fueran registrados para nutrir la interpretación global del proceso (Gómez & Villalobos, 2014).

En síntesis, este documento no solo es la descripción de un proyecto académico, sino el relato de un camino pedagógico que entrelaza la física con las preocupaciones de la vida cotidiana. Al poner en diálogo la enseñanza de la ionización con la realidad social colombiana acerca de los alimentos irradiados, se busca no solo reforzar los conocimientos científicos, sino también fortalecer en los estudiantes la capacidad crítica y reflexiva. De esta manera, se espera que, al finalizar las distintas fases de implementación y análisis, los participantes adquieran no solo una comprensión cabal del fenómeno físico, sino también una actitud informada y responsable frente a una problemática que, en definitiva, nos involucra a todos.

PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

Abordar la enseñanza de la física desde la irradiación de alimentos en la educación media, consiste en enfrentar algunas problemáticas: el desconocimiento a los principios y procesos físicos de la irradiación de alimentos; el descubrir y entender porque son importantes, es fundamental para comprenderla desde el ámbito educativo.

La primera de estas preocupaciones es la percepción y aceptación de los alimentos irradiados, ya que pueden generar dudas y desconfianza en algunos estudiantes debido al desconocimiento y falta de información sobre estos, y, por ende, de los efectos y procesos físicos de la radiación ionizante en los alimentos (Sendra, Capellas y Guamis, 2001). En ese sentido, vale la pena considerar ¿qué es la percepción? Según Vargas (2014):

Una de las principales disciplinas que se ha encargado del estudio de la percepción ha sido la psicología y, en términos generales, tradicionalmente este campo ha definido a la percepción como el proceso cognitivo de la conciencia que consiste en el reconocimiento, interpretación y significación para la elaboración de juicios en torno a las sensaciones obtenidas del ambiente físico y social, en el que intervienen otros procesos psíquicos entre los que se encuentran el aprendizaje, la memoria y la simbolización. (p. 48)

Es crucial educar a los estudiantes sobre los principios científicos detrás de la irradiación de alimentos, así como sobre sus beneficios y riesgos, para fomentar una comprensión precisa y una toma de decisiones informada; es importante abordarlo en la educación media, porque promueve la comprensión procedimental, crítica y reflexiva entre los estudiantes sobre los fenómenos de radiación ionizante y tecnología alimentaria al comprender los conceptos, principios y procesos físicos involucrados en la irradiación de alimentos, por ejemplo: ionización, átomo, ion, radical libre, electrón, protón, neutrón, molécula, ADN, etc. Además, al educar a los estudiantes sobre los beneficios y riesgos reales de exponer los alimentos a radiaciones ionizantes, se fomenta una percepción más informada y positiva entre ellos, lo que puede ayudar a reducir la desconfianza y los malentendidos sobre este método.

Las campañas informativas sobre los beneficios de la irradiación se han mostrado efectivas. Se han realizado estudios en supermercados en los que se observó que, sin información previa, un 51,5% compraría carne de vacuno irradiada, pero que si se realizaba una campaña informativa este porcentaje crecía hasta un 71,3%. (Sendra et al., 2001, p. 147)

“Construir experiencia es llenar de sentido una actividad en la que la práctica es un medio de constante reflexión sobre el fenómeno abordado” (García, 2009, p. 34). La experimentación constituye el pilar fundamental sobre el cual se edifica el conocimiento científico, especialmente en el estudio de los fenómenos naturales. A través de la experimentación, los investigadores diseñan situaciones controladas que les permiten observar, medir y analizar los fenómenos de interés, generando así datos empíricos que sustentan o refutan sus hipótesis. Este proceso riguroso no solo aporta validez y confiabilidad a los resultados obtenidos, sino que también permite a los científicos profundizar en la comprensión de los mecanismos subyacentes a los fenómenos naturales. Gracias a la experimentación, hemos logrado descifrar enigmas que antes parecían indescifrables y avanzar en el desarrollo de teorías científicas cada vez más sólidas (Viviescas y Sacristán, 2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la pregunta que orienta la presente investigación, a saber: **¿Cómo las actividades experimentales enriquecen el aprendizaje de los fenómenos de radiación ionizante, especialmente la irradiación de alimentos, en estudiantes de educación media?**

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar la influencia de las actividades experimentales centradas en la irradiación de alimentos en la construcción de conocimientos sobre los fenómenos de radiación ionizante en estudiantes de grado décimo del colegio Alfonso López Michelsen.

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar una secuencia de actividades experimentales que introduzcan a los estudiantes de educación media en los fundamentos físicos de la radiación ionizante y su aplicación en la irradiación de alimentos.
- Analizar la comprensión alcanzada por los estudiantes sobre los efectos, beneficios y riesgos de la irradiación de alimentos, a partir de las experiencias experimentales desarrolladas.
- Fomentar el desarrollo de una postura crítica, reflexiva y argumentada por parte de los estudiantes frente al consumo de alimentos irradiados.
- Recolectar y sistematizar evidencias cualitativas y cuantitativas del proceso de aprendizaje mediante instrumentos de evaluación formativa como encuestas, juegos didácticos y actividades participativas.

ANTECEDENTES

En el desarrollo de esta investigación de trabajo de grado, se consideró fundamental la revisión de antecedentes que permitieran contextualizar el problema de estudio y sustentar teóricamente la propuesta. A continuación, se presentan los antecedentes más relevantes que fueron consultados, organizados según su procedencia geográfica. En primer lugar, se exponen dos antecedentes de carácter nacional (ver **Tablas 1 y 2**), los cuales ofrecen un panorama sobre experiencias previas desarrolladas en el país, relacionadas con la irradiación de alimentos. Posteriormente, se incluyen dos antecedentes regionales (ver **Tablas 3 y 4**), cuya cercanía geográfica y sociocultural con el contexto de la presente investigación resulta especialmente pertinente para comprender cómo se han abordado problemáticas similares en Latinoamérica. Finalmente, se incorpora un antecedente de tipo internacional (ver **Tabla 5**), que aporta una visión más amplia y comparativa sobre los alimentos irradiados en otros contextos, enriqueciendo así la perspectiva global del estudio. Estos antecedentes no solo sirvieron como referencia para el diseño disciplinar, metodológico y didáctico de la propuesta, sino también como punto de partida para identificar vacíos, oportunidades de mejora y posibles rutas de innovación en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Antecedentes Nacionales

Tabla 1

Antecedente Nacional n.º 1

Autor, año y título de la publicación:	Cahuana Páez, C. (2006). Aplicación de Radiación Gama para la Purificación Microbiológica de Aguas Contaminadas con Bacterias Coliformes (E. Coli).
Variable o categoría de la investigación que se relaciona con el antecedente:	Irradiación, radiación ionizante, microorganismos.
Problemática que dio origen a su estudio y el área disciplinar en donde se llevó a cabo:	Su problemática nace desde la necesidad de encontrar métodos efectivos para la purificación específica de aguas contaminadas en Colombia. Se buscó evaluar la factibilidad de la irradiación gamma como una alternativa para la purificación microbiológica de aguas contaminadas con bacterias patógenas. Se llevó a cabo en el área disciplinar de la física y en la planta de irradiación del Instituto de Ciencias

	Nucleares y Energías Alternativas (INEA) de INGEOMINAS (planta actualmente perteneciente al SGC).
Objetivos relacionados con la investigación:	El objetivo general, el cual fue estudiar y describir el mecanismo de funcionamiento físico del proceso en función de los parámetros propios de la irradiación. Un objetivo específico que fue el determinar su eficiencia frente a otros métodos de purificación existentes, basado en estudios previos hechos con otros tipos de radiación u otros métodos convencionales.
Marco metodológico:	Se llevaron a cabo sesiones experimentales de irradiación gamma en la planta de irradiación perteneciente en ese momento al Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA), donde se analizó el efecto biológico de la radiación gamma en microorganismos presentes en muestras de agua contaminada. Además, se realizaron análisis microbiológicos de las muestras de agua contaminada con E. Coli, utilizando técnicas como la NMP y el recuento en superficie (siembra en placa) en el Laboratorio de Microbiología de Alimentos (LEMA) en la Universidad de los Andes.
Conclusiones que aportan a la investigación:	<ul style="list-style-type: none"> Se confirma la eficacia del método de esterilización mediante radiación ionizante, específicamente radiación gama del Co-60, sobre este tipo de microorganismos patógenos con características membranales propicias. Además de que se logra demostrar que el efecto biológico de la radiación está determinado por las características propias de la misma como lo son energía, longitud de Onda (capacidad de penetración) y la tasa de energía entregada al material irradiado.

Nota. Tabla creada por el autor.

Tabla 2

Antecedente Nacional n.º 2

Autor, año y título de la publicación:	Abril, J. (2018). Introducción a la Irradiación Gamma de Alimentos y Desarrollo Tecnológico en Colombia.
Variable o categoría de la investigación que se relaciona con el antecedente:	Irradiación, radiación ionizante, microorganismos, uso de radiación gamma para garantizar la inocuidad y la prolongación de la vida útil de los alimentos.
Problemática que dio origen a su estudio y el	La problemática surge, porque en Colombia, a pesar de contar con una planta piloto de irradiación gamma operativa desde los años setenta, no se ha transferido esta

<p>área disciplinar en donde se llevó a cabo:</p>	<p>tecnología al sector privado, y persiste una falta de regulación adecuada que respalde su uso seguro en las cadenas de producción de alimentos. Además, se desconocen los efectos específicos de la irradiación sobre la calidad de los productos locales y las características de los alimentos irradiados que ingresan al país. Este vacío genera una barrera para la adopción de una alternativa que podría reducir pérdidas por deterioro, mejorar la inocuidad y disminuir el impacto ambiental y económico de los procesos convencionales. Además, el estudio se enmarca en la ingeniería química y tecnología de alimentos, con un enfoque hacia las aplicaciones de radiación ionizante (especialmente gamma) en la conservación y desinfección de alimentos. Adicionalmente, está vinculado con las investigaciones nucleares y la transferencia tecnológica en contextos de desarrollo agroindustrial colombiano.</p>
<p>Objetivos relacionados con la investigación:</p>	<p>Aunque el artículo no enumera explícitamente un apartado titulado “Objetivos”, se pueden inferir los siguientes objetivos:</p> <p>Difundir las ventajas y condiciones de aplicación de la irradiación gamma en la industria alimentaria colombiana, mostrando cómo esta tecnología aporta a la inocuidad y la calidad de los productos y comparándola con procesos convencionales (por ejemplo, cocción, curado, desinfestación química). Además, el analizar los efectos de la irradiación gamma sobre diferentes componentes alimentarios (grasas, carbohidratos, proteínas, vitaminas), para evidenciar que, a dosis adecuadas, los cambios en la composición química y el valor nutricional son comparables (o incluso menores) a los producidos por tratamientos térmicos convencionales.</p>
<p>Marco metodológico:</p>	<p>Se realizó una compilación y análisis de antecedentes históricos de la irradiación gamma en el mundo (descubrimiento de la radiación ionizante, primeras aplicaciones en conservación de alimentos, desarrollo de fuentes de Cobalto 60); permitiendo contextualizar el fenómeno desde sus orígenes hasta su uso industrial. Además, se hizo una revisión bibliográfica de estudios sobre efectos de la irradiación en calidad e inocuidad (incluyendo tablas comparativas que relacionan productos de radiólisis con sus análogos en procesos térmicos convencionales). Se brindó una descripción técnica de la Planta de Irradiación Gamma del Servicio Geológico Colombiano, detallando su diseño, capacidad, clasificación de seguridad y aplicaciones específicas en Colombia. Se incluyen esquemas que ilustran las partes principales de la planta y se resume su evolución histórica y operativa desde 1972. Por último, se hace relación de trabajos de investigación y desarrollo tecnológico realizados en la actual Planta del Servicio Geológico Colombiano que ilustra proyectos concretos sobre irradiación de plantas aromáticas, mutagénesis en arroz, desinfestación de frutas de exportación y validación de propiedades de aceites tras irradiación.</p>

<p>Conclusiones que aportan a la investigación:</p>	<ul style="list-style-type: none">▪ La irradiación gamma es un proceso seguro y efectivo para mejorar la calidad e inocuidad de los alimentos, con beneficios similares o superiores a los tratamientos térmicos. No se generan riesgos de contaminación radiactiva en el alimento ni en el empaque, incluso a energías de hasta 10 MeV, ya que las fuentes de Cobalto 60 se encuentran selladas y no entran en contacto directo con el producto.▪ A pesar de las controversias y la “radiofobia” del consumidor, más de cuarenta países han aprobado la aplicación de irradiación en alimentos. Esto sugiere que, con una correcta comunicación de los fundamentos científicos, es posible mitigar percepciones negativas, un aspecto clave a incorporar en la enseñanza para abordar objeciones y promover la comprensión crítica de la técnica.▪ En Colombia existen las capacidades técnicas (la planta del SGC) y ejemplos de proyectos de investigación que demuestran la viabilidad de la tecnología, pero falta una transferencia al sector privado y un marco regulatorio sólido. En el contexto educativo, esto se traduce en la oportunidad de enseñar no solo los aspectos físicos de la radiación ionizante, sino también sus dimensiones institucionales, regulatorias y de transferencia tecnológica, mostrando cómo la ciencia y la política pública interactúan en aplicaciones reales.
--	--

Nota. Tabla creada por el autor.

Antecedentes Regionales

Tabla 3
Antecedente Regional n.º 1

Autor, año y título de la publicación:	Casco, M. (2021). Aplicación de Irradiación Gamma, Ultrasonido y Antimicrobianos Naturales para el Aseguramiento de la Calidad Integral e Inocuidad de Bebidas a Base de Frutas y Verduras.
Variable o categoría de la investigación que se relaciona con el antecedente:	Irradiación, radiación ionizante, microorganismos y esterilización de alimentos.
Problemática que dio origen a su estudio y el área disciplinar en donde se llevó a cabo:	Su problemática fue la necesidad de garantizar la calidad integral e inocuidad de bebidas a base de frutas y verduras, considerando la importancia de la microbiota nativa de deterioro y otras bacterias no patógenas presentes en estos productos, y se llevó a cabo en el área disciplinar de la ingeniería de alimentos.
Objetivos relacionados con la investigación:	Su objetivo general el cual fue estudiar y desarrollar en sus aspectos básicos y aplicados, procesos que permitieran obtener alimentos nutritivos, más naturales y seguros, mediante la aplicación de métodos de preservación que maximicen la seguridad y minimicen el deterioro de su calidad nutritiva y sensorial. Además de un objetivo específico, el estudiar la efectividad de los tratamientos seleccionados para asegurar la inocuidad de los batidos frente a posibles contaminaciones con microorganismos.
Marco metodológico:	La realización de análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales para evaluar la calidad de las bebidas a base de frutas y verduras. Se llevaron a cabo tratamientos de ultrasonido, irradiación gamma y antimicrobianos naturales, seguidos de un almacenamiento bajo condiciones de refrigeración. Además, se realizaron análisis sensoriales subjetivos y objetivos para evaluar las características organolépticas de los productos.
Conclusiones que aportan a la investigación:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La irradiación sola (1,0 y 2,0 kGy), logró reducciones significativas de <i>Listeria Innocua</i>, al inicio y durante el almacenamiento. Además, también fue efectiva en la reducción de bacterias aerobias mesófilas (BAM).

Nota. Tabla creada por el autor.

Tabla 4
Antecedente Regional n.º 2

Autor, año y título de la publicación:	Suárez, R. (2001). Conservación de Alimentos por Irradiación.
Variable o categoría de la investigación que se relaciona con el antecedente:	Irradiación, radiación ionizante, microorganismos, y conservación de alimentos por irradiación.
Problemática que dio origen a su estudio y el área disciplinar en donde se llevó a cabo:	<p>La problemática está en que, aunque Argentina ha sido pionera en América Latina en la implementación de plantas de irradiación, hay una carencia de compilaciones sistemáticas que reúnan: el estado tecnológico y de investigación nacional (proyectos universitarios e institucionales) sobre irradiación de alimentos; la regulación vigente en el Código Alimentario Argentino (CAA) respecto a qué productos pueden irradiarse, dosis autorizadas y rotulación; la definición de términos técnicos y equivalencias de medidas específicos para la irradiación de alimentos. En consecuencia, Suárez se planteó recopilar y ordenar toda esta información, ya que, aunque se disponía de plantas propias y trabajos puntuales de desarrollo faltaba un texto de referencia integral para ingenieros en Tecnología de los Alimentos y demás profesionales interesados en adoptar o difundir la técnica. Además, el estudio se enmarca en la Ingeniería en Tecnología de los Alimentos, con un enfoque transversal en aplicaciones de radiación ionizante (rayos gamma, rayos X, etc.) para la conservación e inocuidad de alimentos; normativa alimentaria y requisitos regulatorios (Código Alimentario Argentino, aprobaciones de organismos sanitarios, requisitos de etiquetado), desarrollo tecnológico y transferencia en instituciones como la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), institutos universitarios (por ejemplo, Universidad Nacional del Centro Educativo Latinoamericano) y otros centros de investigación argentina.</p>
Objetivos relacionados con la investigación:	<p>Aunque el artículo no lista explícitamente “Objetivos” en un encabezado aparte, puede inferirse lo siguiente a partir del resumen y la estructura general:</p> <p>Estructurar la normativa y los criterios de etiquetado de los alimentos tratados con radiación ionizante, de modo que quienes enseñan el fenómeno de radiación ionizante comprendan la importancia de los marcos regulatorios, las buenas prácticas y los requisitos de seguridad en la irradiación de alimentos. Además, mostrar ejemplos de investigación y desarrollo, para ilustrar el potencial de la técnica en la industria nacional, y también describir las tecnologías de irradiación, como las fuentes de Co-60 y evidenciar su eficacia, penetración y requisitos de seguridad.</p>

<p>Marco metodológico:</p>	<p>Se realizó una revisión bibliográfica de trabajos internacionales y nacionales sobre irradiación de alimentos: se recogen datos sobre dosis mínimas, efectos organolépticos, cambios nutricionales, procesos industriales y ejemplos específicos de productos (carne, pescado, especias, frutas, hortalizas). Asimismo, se evidencia una síntesis de datos tecnológicos y comparativos que permiten contextualizar los efectos de la irradiación frente a métodos tradicionales de conservación (calor, congelación, conservantes químicos).</p>
<p>Conclusiones que aportan a la investigación:</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ A pesar del miedo que poseen los consumidores, más de 50 países han aprobado el uso de irradiación de alimentos debido a que los efectos negativos sobre la composición y el valor nutricional son mínimos y comparables a los del tratamiento térmico, siempre que se respeten las dosis máximas autorizadas. ▪ Las pérdidas de vitaminas y cambios en lípidos y proteínas son comparables a los que ocurren en tratamientos térmicos intensos, y en muchos casos inferiores si se optimizan las condiciones de irradiación (dosis, temperatura, atmósfera). ▪ Es importante combinar el conocimiento físico de la interacción de la radiación con la materia (para entender mecanismos de desinfección y cambios químicos) con los aspectos regulatorios y de seguridad (para comprender por qué se requieren dosis específicas, controles de calidad y rotulado).

Nota. Tabla creada por el autor.

Antecedentes Internacionales

Tabla 5
Antecedente Internacional

Autor, año y título de la publicación:	Sendra, E., Capellas, M., & Guamis, B. (2001). Alimentos irradiados.
Variable o categoría de la investigación que se relaciona con el antecedente:	Irradiación, radiación ionizante, microorganismos, uso de radiación ionizante para el procesamiento y conservación de alimentos.
Problemática que dio origen a su estudio y el área disciplinar en donde se llevó a cabo:	<p>La problemática parte del reconocimiento de que, a pesar de las buenas prácticas higiénicas en la industria alimentaria, persisten pérdidas postcosecha de hasta un 50 % en frutas y verduras frescas, y cercanas al 10 % en granos y legumbres, especialmente en países en vías de desarrollo con condiciones climáticas adversas. Asimismo, la incidencia de enfermedades de transmisión alimentaria sigue elevada, estimándose que tan solo se detecta un 5 % de los casos reales. Estos factores motivaron a organizaciones como la FAO, OMS y AIEA a impulsar la irradiación de alimentos como método final de descontaminación, por ser “seguro, eficaz, limpio con el medio ambiente y energéticamente eficiente”. Sin embargo, existe una falta de armonización legislativa internacional (por ejemplo, discrepancias en la UE) que dificulta el comercio de productos irradiados, así como la reticencia de los consumidores debido a la “radiofobia” y al desconocimiento de los fundamentos de la técnica. Cabe mencionar que, el estudio se ubica en la Ingeniería en Tecnología de los Alimentos (o Ciencias y Tecnología de los Alimentos), con un fuerte componente de tecnologías de radiación ionizante (rayos X, rayos gamma y electrones acelerados). También aborda aspectos de regulación alimentaria, dosimetría, seguridad radiológica y aceptación del consumidor, involucrando a entidades sanitarias (FDA en EE. UU., CSSA en España, CAA en Argentina) y organismos internacionales (Codex Alimentarius, ICG-FI). De este modo, combina disciplinas de protección radiológica, microbiología de alimentos, química de radiolisis y política sanitaria</p>
Objetivos relacionados con la investigación:	<p>Aunque el artículo no presenta un apartado titulado “Objetivos” de forma explícita, a lo largo de su estructura se infieren los siguientes propósitos:</p> <p>Revisar y sintetizar los fundamentos de la irradiación de alimentos: definir la interacción de la radiación ionizante con la materia (radiólisis de agua, formación de</p>

	<p>radicales libres, ruptura de enlaces químicos), explicando cómo estos mecanismos permiten inactivar microorganismos patógenos, insectos y parásitos sin inducir radioactividad residual en los alimentos.</p> <p>Describir las aplicaciones prácticas y dosis recomendadas, además de presentar los valores de dosis necesarias para distintos microorganismos y alimentos, así como dosis óptimas de irradiación (por ejemplo, 0–1 kGy para desinfestación de fruta fresca; 2–7 kGy para eliminar Salmonella y E. coli en carnes; 3–10 kGy para especias y productos secos) y comparar estos valores con tratamientos convencionales (calor, congelación, conservantes químicos).</p> <p>Evaluar la aceptabilidad del consumidor al recopilar estudios de mercados que muestran cómo factores sociodemográficos (sexo, nivel educativo, ingresos, zona de residencia) influyen en la predisposición a comprar alimentos irradiados, y destacar la necesidad de educar al público para contrarrestar la “radiofobia”.</p>
<p>Marco metodológico:</p>	<p>Se llevó a cabo una revisión bibliográfica internacional, ya que se recopilan y comparan estudios sobre dosis D de diferentes microorganismos, efectos nutricionales (pérdidas de vitaminas, cambios en lípidos y proteínas) y efectos organolépticos en distintos productos (frutas, carnes, especias, legumbres, pescados). Por ejemplo, se cita que dosis de 1 kGy en carnes de ave incrementan vida útil de 2 a 4 semanas sin cambios sensoriales significativos; o que irradiar 0,3–0,9 kGy en frutos secos no ocasiona variaciones importantes en calidad. Además, se analizan encuestas y estudios de mercado, y se exponen los resultados de estas a consumidores y profesionales, identificando actitudes, niveles de conocimiento y barreras percibidas. Por ejemplo, un estudio en supermercados mostró que, sin información, el 51,5 % compraría carne irradiada, y tras una campaña informativa este porcentaje aumenta al 71,3 %.</p>
<p>Conclusiones que aportan a la investigación:</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Las dosis comerciales (≤ 10 kGy) son suficientes para eliminar patógenos no esporulados, insectos, parásitos y microorganismos alteradores, sin generar radiactividad inducida en los alimentos ni en sus envases cuando se usan fuentes selladas (Co-60, Cs-137) o aceleradores de electrones. ▪ Los productos de radiolisis formados (hidroxilaciones de fenoles, rotura de ADN, compuestos volátiles de ácidos grasos) son idénticos a los que surgen en otros tratamientos (calor, oxidación enzimática) y, a dosis ≤ 10 kGy, no provocan riesgos toxicológicos adicionales. ▪ A dosis ≤ 10 kGy, proteínas, lípidos, carbohidratos, minerales y oligoelementos no sufren alteraciones significativas. Las vitaminas pueden verse afectadas (tiamina, ácido ascórbico, vitaminas B y E), pero en general las pérdidas son comparables o menores que las producidas por cocción o

	<p>tratamientos térmicos intensos; irradiar a bajas temperaturas y en ausencia de oxígeno minimiza aún más dichas pérdidas (“efecto protector” de la matriz alimentaria).</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Se requiere dosimetría estandarizada (físico-química-biológica) y registros ajustados a las características de cada alimento (densidad aparente, forma, envasado), para garantizar la uniformidad de dosis y la repetibilidad del proceso.▪ El consumidor suele confundir “radiación” con peligro, teme que el alimento resulte radioactivo o que se generen carcinógenos. Encuestas indican que un etiquetado claro (“irradiado” en lugar de “tratado con radiación ionizante”) y campañas informativas lideradas por autoridades sanitarias (FDA, OMS) aumentan la disposición a comprar estos productos.
--	--

Nota. Tabla creada por el autor.

CAPÍTULO 1

En este capítulo se aborda y explica en detalle el concepto de irradiación de alimentos, precisando a qué hace referencia este término dentro del contexto de la conservación y seguridad alimentaria. Asimismo, se describen sus principales beneficios, tales como la prolongación de la vida útil de los productos, la reducción de microorganismos patógenos y su aplicación en diferentes tipos de alimentos. Además, se presenta un panorama sobre la situación de la irradiación de alimentos en Colombia, incluyendo la normativa vigente, los mecanismos de regulación aplicables y la disponibilidad de productos irradiados en el mercado nacional, particularmente en almacenes de cadena donde pueden encontrarse fácilmente.

¿Comerías un Alimento Irradiado?

¿Sabes qué es la irradiación de alimentos?, ¿conoces si en Colombia se irradian los alimentos? Estas son preguntas que surgen en el desarrollo de esta investigación y que permiten dar orientación en su avance, a continuación, se presenta la información necesaria que permitirá dar respuesta a las cuestiones planteadas.

Irradiación de Alimentos

La irradiación de alimentos es un método eficaz para preservar alimentos en condiciones óptimas durante períodos prolongados al eliminar los microorganismos que podrían representar un riesgo para la salud humana (CNEA, n.d.). El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) (n.d.), menciona que este proceso de esterilización, seguro y exento de la introducción de compuestos químicos minimiza el peligro de enfermedades transmitidas por los alimentos, a la vez que preserva las características naturales de los mismos. Así, ofrece ventajas comparables a otros métodos de conservación, como el tratamiento térmico, la refrigeración, la congelación o el uso de aditivos químicos, pero sin alterar la temperatura ni dejar residuos, y sin afectar de forma notable su sabor, textura, aspecto u aroma. Además, la irradiación alimentaria prolonga la vida útil de los productos y asegura una calidad superior al controlar el deterioro provocado por microorganismos patógenos transmitidos por plagas de insectos. Esta capacidad para combatir las plagas ha impulsado la adopción de esta técnica en numerosos países, especialmente en el ámbito postcosecha, debido a su eficacia en la reducción de la contaminación microbiana y la prevención

de la rápida descomposición de los alimentos, asimismo, contribuye a evitar la germinación y el envejecimiento prematuro, y sirve como tratamiento fitosanitario para controlar las infestaciones de insectos en frutas y hortalizas (OIEA, n.d.); la irradiación de alimentos es la aplicación de radiación ionizante a los alimentos con fines anteriormente mencionados (ver **Tabla 6**). “Las radiaciones clasificadas como ionizantes incluyen los Rayos X, Rayos Gamma, los Rayos Catódicos o Rayos Beta, los Protones, los Neutrones y las Partículas Alfa” (Suárez, 2001, p. 86). Cabe aclarar que, la supervisión de las fuentes de radiación empleadas en la irradiación de alimentos recae en la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), ya que antes de autorizar el uso de una fuente de radiación en alimentos, la FDA realiza una exhaustiva evaluación de seguridad para asegurar su inocuidad (FDA, 2016). Asimismo, más de 60 naciones en todo el planeta cuentan con normativas que permiten la aplicación de la irradiación en determinados productos alimenticios (OIEA, n.d.).

Tabla 6

Aplicaciones de la Irradiación de Alimentos

Aplicación de la irradiación en alimentos	Productos tratados	Rango de dosis (kGy)	Nivel de la dosis suministrada (bajo, medio, alto)
Inhibición de la germinación	Papa, batata, cebolla, ajo.	0,02 - 0,15	Bajo
Desinfestación de insectos y seguridad cuarentenaria	Granos, cereales, café, especias, frutas, productos de pescado, nueces deshidratadas, mango y papaya. Algunas Frutas y vegetales.	0,02 - 1	Bajo
Retraso de la madurez (radurización)	Papa, frambuesa.	0,01 - 3	Bajo
Inactivación de parásitos y bacterias patógenas no esporuladas (radicación)	Carnes, nueces, cereales, especias, etc. No deshidratados.	0,3 - 8	Medio
Reducción de las cargas microbianas que causan	Granos, cereales, especias, nueces, deshidratados, entre otros.	1 - 10	Medio

deterioro, para extensión de la vida útil			
Reducción de bacterias patógenas	Ingredientes deshidratados (especias, hierbas y condimentos).	1 - 20	Alto
Esterilización para extender el tiempo de vida de los productos y hacerlos estables a temperatura ambiente (radapertización)	Carnes de res, cerdo y ave.	>25 (dependiendo del producto, la esterilidad se puede dar a partir de 10 kGy)	Alto

Nota. Adaptado de *Introducción a la Irradiación Gamma de Alimentos y Desarrollo Tecnológico en Colombia*, por Abril J. (2018), en *Revista de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, 1(2), 5-14. <https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.2.2018.49>

Colombia y los Alimentos Irradiados

Según Abril Jormagn (2018), en Colombia se cuenta con una planta de irradiación equipada con fuentes de cobalto desde mediados de la década de 1970; sin embargo, esta tecnología nunca se transfirió al sector privado y no se consolidó una legislación sólida para fortalecer a las instituciones encargadas de regular el comercio de alimentos, como el Invima. Como consecuencia, los productos alimenticios no se someten a irradiación dentro del territorio nacional. Por otro lado, en el país únicamente se dispone del reactor nuclear del Servicio Geológico Colombiano (SGC), el IAN-R1 (anteriormente perteneciente al Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas [INEA]) (**Figura 1**), y de la planta de irradiación denominada “Planta Gamma” (**Figura 2**). Esta última permite realizar investigaciones y prestar servicios de esterilización de insumos médicos y quirúrgicos, así como tratar materias primas para la industria cosmética y farmacéutica. La transferencia tecnológica al sector privado, que en algún momento se proyectó, se estancó por decisiones de corte político tomadas a finales del siglo pasado (Abril, 2018).

En lo que respecta al reactor de investigación, este fue inaugurado en 1965 gracias a una donación de Estados Unidos durante la presidencia de Guillermo León Valencia, como parte del programa Átomos para la Paz, cuyo objetivo era promover el uso pacífico de la energía atómica.

Desde entonces, el IAN-R1 ha impulsado el desarrollo de la investigación científica en Colombia, aportando al sector agrícola, a la salud, a la geología y a diversas ramas de la industria (SGC, 2023).



Figura 1: *Reactor Nuclear IAN-R1*

Nota. Imagen tomada por el autor en una visita privada y planeada en la sede CAN del SGC.



Figura 2: *Planta Gamma*

Nota. Imagen tomada por el autor en una visita privada y planeada en la sede CAN del SGC.

Durante más de tres décadas, la FDA ha examinado la seguridad de estos alimentos, llegando a la conclusión de que el procedimiento es seguro. Además, entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS), los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) respaldan la seguridad de los alimentos irradiados. Igualmente, los alimentos tratados con radiación ionizante deben exhibir el símbolo internacional de irradiación, tal como lo establece la FDA; este emblema, denominado "Radura" (ver **Figura 3**), ha de ir acompañado de la frase "Sometido a radiación" o "Sometido a irradiación", la cual debe figurar en la etiqueta del producto. En el caso de frutas y verduras, dicha etiqueta puede colocarse de forma individual o en el envase de venta; respecto a ingredientes individuales presentes en alimentos compuestos, como las especias, la FDA no exige que cada uno cuente con su propia etiqueta de irradiación (FDA, 2016).



Figura 3: *Símbolo de Radura*

Nota. Adaptado de *Alimentos irradiados, la protección desconocida*, por Fernández (2020), en *Revista Alfa*, 1(43), 20-25. *407f2161-47d8-4937-0053-f1825e4fa39f (csn.es)

En el caso de Colombia, a pesar de no irradiar alimentos dentro del territorio nacional y por ende no se exporten, no significa que no se importen alimentos irradiados de otros países. La problemática está en la ausencia del símbolo de “Radura” en los alimentos irradiados importados a Colombia, esto es debido principalmente a la forma en que está estructurada la normatividad del país en cuanto a la regulación y el etiquetado de estos productos, ya que en Colombia no está sometido a regla, sino que depende del criterio de una persona o autoridad dada el colocar o no, el símbolo de irradiación internacional (Ministerio de la Protección Social, 2004); al no poseer un etiquetado obligatorio y notorio con el símbolo de Radura, la mayoría opta por no colocarlo lo que termina no informando directamente al consumidor y ocasionando que sea más difícil diferenciar

que alimento es irradiado y cual no. Según el Ministerio de la Protección Social (2004), en su “Resolución Número 2652 de 2004”, señala en uno de sus artículos lo siguiente:

Artículo 9°. *Alimentos irradiados.* El rótulo de cualquier alimento que haya sido tratado con radiación ionizante, sin perjuicio del cumplimiento de las normas vigentes sobre la materia, deberá llevar una declaración escrita indicativa del tratamiento a renglón seguido del nombre del alimento.

El uso del símbolo internacional indicativo de que el alimento ha sido irradiado, de acuerdo con la figura que muestra en el presente artículo es discrecional, pero cuando se utilice deberá fijarse de una forma tal que sobresalga inmediatamente después del nombre del producto.

9.1 Cuando un producto irradiado se utilice como ingrediente en otro alimento, deberá declararse esta circunstancia en la lista de ingredientes.

9.2 Cuando un producto que consta de un solo ingrediente se prepara con materia prima irradiada, el rótulo del producto deberá contener una declaración que indique el tratamiento. (pp. 9-10)

Cabe resaltar que, los “Doritos Flamin Hot” son evidencia de algunos de los alimentos irradiados que llegan al territorio colombiano, como se puede observar detalladamente en la **Figura 4 y 5.**



Figura 4: Doritos Flamin Hot de 175g

Nota. Adaptado de *Pasabocas Doritos Flamin Hot (175 gr)*, por Exito (n.d.), en Exito.com.

<https://www.exito.com/pasabocas-flamin-hot-doritos-175-gr-200948/p>



Figura 5: Doritos Dinamita Flamin Hot de 200g

Nota. Adaptado de *Pboca Doritos Dinamita Flamin Hot 200g*, por Olimpica (n.d.), en Olimpica.com.

<https://www.olimpica.com/pboca-doritos-dinamita-flamin-hot-200g/p>

Para continuar con este capítulo, se retoma una experiencia significativa del autor: la asistencia a un curso especializado en plantas de irradiación (**Figura 6**), impartido por expertos nacionales e internacionales en el área de irradiación de alimentos. En dicha formación participaron especialistas provenientes de Estados Unidos, México, Argentina, Ecuador y otros países. El curso, organizado por la Fundación Tecnológica Autónoma de Bogotá (FABA) en colaboración con la empresa colombiana International Nuclear Industry, resultó especialmente revelador.

Uno de los aspectos más destacados fue la revelación, por parte de la empresa colombiana mencionada, de que se encuentra en proceso de construcción de una planta de irradiación en Colombia destinada exclusivamente a productos alimenticios. Este proyecto, conocido como “Pantagora”, promete ser un hito en materia de tecnología aplicada a la irradiación de alimentos.

Por otra parte, los aprendizajes alcanzados durante el desarrollo de este curso, es que se llevó a cabo un proceso continuo de actualización sobre las diversas iniciativas nacionales e internacionales relacionadas con la irradiación de alimentos en Colombia y el mundo. Esta vivencia académica permitió ampliar significativamente el conocimiento sobre esta temática, ya que se alcanzó una comprensión más profunda de la magnitud y las posibles implicaciones de esta tecnología en el contexto alimentario colombiano a mediano y largo plazo. A través de conferencias y ponencias especializadas, se constató que la irradiación de alimentos trasciende el ámbito meramente teórico; en la práctica es una realidad, con proyectos e instalaciones constituidas que son impulsados por instituciones de investigación, organismos gubernamentales y empresas del sector privado. Este conocimiento integral ofreció una visión panorámica de la situación actual en el mundo, así como una proyección fundamentada de los retos regulatorios, logísticos y sociales que acompañan la implementación de dichas iniciativas en el territorio nacional.

Asimismo, se profundizó en los conceptos esenciales que sustentan el proceso de irradiación: desde los principios físicos y tecnológicos que rigen la interacción de las radiaciones con los componentes alimentarios, hasta la normativa sanitaria vigente que establece los criterios de inocuidad y calidad. Adentrarse en estos fundamentos teóricos no solo proporcionó un entendimiento riguroso de los mecanismos de acción y de los efectos bioquímicos implicados, sino que también facilitó la asimilación de los lineamientos regulatorios y de los protocolos de seguridad que regulan la operación de las plantas de irradiación. A través de la narración de experiencias directas compartidas por profesionales con trayectoria en el sector tanto del ámbito local como internacional, esto permitió familiarizarse con los procedimientos prácticos: el diseño de los equipos, la medición precisa de las dosis de radiación, los sistemas de monitoreo en tiempo real, las malas prácticas a evitar y las medidas preventivas necesarias para garantizar la integridad de los alimentos irradiados y de las personas. Estas experiencias empíricas y humanas resultaron, sin duda, fundamentales para enriquecer la investigación presentada en el marco de este trabajo de grado, por tanto, brindaron un conocimiento aplicado que complementó de manera significativa la formación teórica obtenida.

Toda la información aportada anteriormente, puede constatarse públicamente en la grabación del curso, disponible en el canal de YouTube de la FABA bajo el título “Transmisión de Curso

Plantas de Irradiación”. Allí es posible acceder a las ponencias, debates y experiencias presentadas por los expertos, así como a las reflexiones recogidas.



Figura 6: *Experto sobre Plantas de Irradiación e Irradiación de Alimentos*

Nota. Imagen tomada por el autor en la participación del curso.

Para concluir este primer capítulo, se detalla una visita cuidadosamente planificada a la sede CAN del Servicio Geológico Colombiano (SGC) por parte del autor (ver **Figuras 7 y 8**), la cual fue guiada por el actual operador de la planta de irradiación, el señor Jormagn Israel Abril. El propósito principal de este recorrido fue profundizar en el conocimiento de las instalaciones técnicas: la “Planta Gamma” de irradiación y el reactor nuclear IAN-R1, ya mencionados y mostrados en secciones anteriores. Sin embargo, otro de los objetivos fundamentales de la visita fue la realización de una entrevista con el señor Abril, centrada específicamente en la irradiación de alimentos. Esta conversación, diseñada por el investigador (autor), permitió plantear preguntas precisas sobre los beneficios, riesgos, aplicaciones prácticas y procesos científicos de la irradiación de alimentos. Al contar con la experiencia directa de un experto colombiano en la materia, el autor enriqueció el contenido de su trabajo de grado, lo cual contribuyó a dar mayor solidez y fiabilidad a los hallazgos presentados.

El testimonio del señor Abril no solo aportó datos técnicos, sino que también ofreció una mirada contextualizada sobre cómo se percibe y regula la irradiación de alimentos en Colombia. Su conocimiento de campo, combinado con una comprensión profunda del entorno normativo y social, permitió al autor resolver dudas complejas que difícilmente podrían aclararse únicamente a través de fuentes bibliográficas. De este modo, la entrevista se convirtió en una estrategia

ganadora para el desarrollo del investigador, pues facilitó el acceso a información de primera mano. Además, esta entrevista incidió directamente sobre el trabajo de grado presentado, ya que al escuchar directamente a un profesional que ha operado estas instalaciones, el autor pudo contrastar teorías, validar supuestos y captar matices del proceso de irradiación que solo se manifiestan en el terreno. Esa experiencia vivencial, complementada con la revisión documental, establece un puente entre la teoría y la realidad operativa, consolidando así la calidad y pertinencia de la investigación.

Para quienes deseen explorar la entrevista de forma íntegra, parte de su transcripción y grabación completa se encuentran disponibles en el **Anexo 1** de este documento. Allí se podrá acceder al diálogo completo, incluyendo las respuestas detalladas del señor Abril y las reflexiones surgidas a partir de sus declaraciones.



Figura 7: *Instalación Centralizada para la Gestión de Desechos Radiactivos*

Nota. Imagen tomada por el autor en una visita privada y planeada en la sede CAN del SGC.



Figura 8: *Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica*

Nota. Imagen tomada por el autor en una visita privada y planeada en la sede CAN del SGC.

CAPÍTULO 2

En este capítulo se expone la importancia, dificultades e impacto de la enseñanza de la física en Colombia, así como su relación con la irradiación de alimentos, destacando cómo este tema, al involucrar diversos conceptos y procesos físicos como la ionización, se convierte en una herramienta pedagógica valiosa. Además, se señala que la irradiación de alimentos también abarca aspectos químicos y biológicos, lo que permite abordar esta temática desde un enfoque interdisciplinario. Asimismo, se aborda la importancia fundamental que tiene la experimentación en la enseñanza de la física, destacando su papel como herramienta clave para fomentar la comprensión de los conceptos teóricos y el desarrollo del pensamiento científico. Se analiza cómo la experimentación no solo permite verificar teorías, sino que también contribuye activamente a la construcción del conocimiento científico. También, se profundiza en la relación dinámica y complementaria entre la práctica experimental y la teorización, entendida como un proceso de mutua constitución y enriquecimiento, donde cada una aporta a la evolución de la otra, consolidando así una visión más completa y significativa del aprendizaje en ciencias.

La Enseñanza de la Física

En el sistema educativo colombiano, la Física se integra dentro del área de Ciencias Naturales, junto con la Química y la Biología; estas disciplinas son ampliamente reconocidas por su papel fundamental en la comprensión del mundo. Sin embargo, la enseñanza de las ciencias naturales enfrenta numerosos desafíos, entre ellos, las dificultades en la comprensión de los contenidos, la calidad de la formación docente y el limitado acceso a una educación equitativa. Esta realidad pone de manifiesto la brecha existente entre lo que los docentes intentan enseñar y lo que los estudiantes realmente logran aprender. Por tanto, se hace necesario el diseño de estrategias pedagógicas que partan de las ideas previas del estudiantado y fomenten la discusión activa y la construcción conjunta del conocimiento. En este contexto, la investigación educativa desempeña un papel clave al buscar metodologías de enseñanza más efectivas, incorporando tecnologías emergentes y adaptándose a las necesidades actuales de los estudiantes. En particular, la enseñanza de la Física exige una revisión profunda de las prácticas educativas, con el objetivo de vincular los conceptos abstractos con situaciones reales de la vida cotidiana y aprovechar los recursos tecnológicos disponibles para facilitar y enriquecer el aprendizaje (Bohórquez, 2024).

En Colombia según Bohórquez (2024), persiste una dificultad notable en la comprensión de conceptos científicos por parte de los estudiantes, lo cual se atribuye, en gran medida, a metodologías tradicionales centradas en la transmisión de contenidos, más que en la comprensión significativa. Esta situación ha evidenciado la urgencia de transformar las prácticas pedagógicas en la enseñanza de la Física, para hacerlas más cercanas, contextualizadas y pertinentes; el informe de la “Misión de Sabios en Colombia” resalta la importancia de fortalecer la educación en ciencias exactas, ya que no solo se reconoce su impacto en campos como la Física, sino también su valor en otras áreas del conocimiento, como la administración pública y privada, al ofrecer herramientas de análisis lógico y matemático útiles para enfrentar problemas tanto laborales como cotidianos; en línea con esto, se hace un llamado al Estado colombiano para aumentar la inversión en ciencia y tecnología, reconociendo que las naciones con mayores avances en desarrollo son aquellas que priorizan estas áreas estratégicas. Además, se señala la preocupación por el bajo número de estudiantes que optan por carreras relacionadas con las ciencias naturales, lo que limita la capacidad del país para responder a sus propias demandas científicas y tecnológicas.

Por su parte, los informes del Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación (ICFES), a través de los resultados de las pruebas Saber 11 entre los años 2017 y 2020, reflejan un estancamiento preocupante en el desempeño de los estudiantes en ciencias naturales, con puntuaciones que rondan los 50 puntos sobre 100. Aún más alarmante es el aumento del número de estudiantes en el nivel más bajo de desempeño, lo cual resalta la necesidad urgente de reforzar competencias clave como la aplicación de teorías científicas a contextos experimentales y cotidianos. La enseñanza de las ciencias naturales y la tecnología también se ve desafiada por el vertiginoso avance de la sociedad actual, en la que estas disciplinas influyen en casi todos los aspectos de la vida; la comprensión de conceptos científicos y tecnológicos se ha vuelto indispensable para abordar fenómenos como las energías limpias, la inteligencia artificial, el teletrabajo, la computación cuántica, la automatización o la educación virtual. Estos avances, antes considerados distantes o exclusivos del ámbito ingenieril, ahora son parte del día a día. La pandemia del COVID-19, por ejemplo, ha dejado en evidencia el papel crucial de la ciencia y la tecnología en la redefinición del trabajo y la educación (Bohórquez, 2024).

En este panorama, es fundamental considerar también las emociones que surgen en los procesos de enseñanza-aprendizaje; diversos estudios han demostrado que las actividades prácticas tienden a generar emociones positivas en los estudiantes, mientras que estrategias tradicionales, como las

exposiciones orales o el enfoque meramente teórico, pueden provocar emociones negativas, como ansiedad o desmotivación. Esto sugiere la necesidad de incorporar componentes emocionales y motivacionales en las prácticas pedagógicas, con el fin de favorecer ambientes de aprendizaje más significativos, agradables y efectivos. La enseñanza contextualizada de la Física emerge, entonces, como una necesidad pedagógica ineludible, se trata de transformar la percepción que muchos estudiantes e incluso algunos docentes tienen de esta disciplina como árida, difícil o aburrida, para ello, es crucial conectar el aprendizaje de la Física con el entorno del estudiante, sus intereses, realidades y experiencias cotidianas; en última instancia, la enseñanza de la Física implica mucho más que transmitir fórmulas o leyes, supone un acto pedagógico consciente, que debe considerar factores políticos, metodológicos, sociales y emocionales. Requiere también romper con ideas dogmáticas y acercar la Física a la realidad del estudiante, estableciendo puentes entre el conocimiento científico, la tecnología y los cambios sociales contemporáneos, solo así podrá convertirse en una herramienta poderosa para transformar la forma en que los estudiantes comprenden y se relacionan con el mundo que los rodea (Bohórquez, 2024).

La Irradiación de Alimentos y la Enseñanza de la Física

La irradiación de alimentos y la enseñanza de la física están estrechamente relacionadas, dado que este método de esterilización, al involucrar múltiples conceptos, principios y procesos físicos, se convierte en un recurso valioso para la explicación de algunos temas de estudio, por lo tanto, podría representar un material educativo óptimo para introducir en el aula de clases y facilitar la comprensión de los fenómenos físicos asociados, al tiempo que se exploran los beneficios y riesgos reales de la irradiación de alimentos, así como aspectos sociales y políticos frente a esta. Al abordar contenidos educativos desde esta perspectiva, se ofrece una forma innovadora, atractiva y contextualizada de enseñar a los estudiantes temas clave de Física, Química y Biología, por ejemplo: Carlos Cahuana (2006), da a entender que la irradiación, tanto en el ámbito de alimentos como en otros materiales, se pueden abordar una amplia gama de conceptos y procesos físicos fascinantes, como la interacción de la radiación ionizante con la materia, que desencadena fenómenos como la ionización y excitación molecular; la transferencia de energía que determina los efectos que la radiación puede tener en las propiedades físicas y químicas de los materiales; los efectos biológicos sobre cómo la radiación afecta a los sistemas biológicos, incluyendo la inactivación de microorganismos y la generación de daños celulares; la dosimetría de la radiación,

que permite medir y evaluar la cantidad de energía absorbida por un sistema irradiado; la radioprotección y las fuentes de radiación ionizante.

La Importancia de la Experimentación en la Enseñanza de la Física

Es importante hablar sobre la relación entre la experimentación y la teorización en la construcción del conocimiento científico que ha sido objeto de un intenso debate en las últimas décadas. Estudios históricos y filosóficos de las ciencias han superado visiones simplistas y unidireccionales, proponiendo en su lugar una concepción más integral, dinámica y recíproca de esta relación. Por ejemplo, Hacking, ha destacado la interdependencia y equiparabilidad entre la experimentación y la teorización (Romero & Amelines, 2017); la experimentación no es solo un medio para verificar o refutar teorías, sino que también posee una vida propia, influyendo en la generación de nuevas ideas y conceptos. Esta perspectiva se aleja de visiones inductivistas, que ven al experimento como la fuente exclusiva del conocimiento, y de visiones puramente deductivistas, que subordinan la experimentación a la teoría; en esta nueva visión, la experimentación y la teorización se encuentran en una relación de mutua constitución y enriquecimiento, por lo tanto, los desarrollos en una dimensión influyen en la otra generando un diálogo constante entre el mundo de las ideas y el mundo de los fenómenos (Romero & Amelines, 2017). Los análisis históricos de episodios clave en la historia de la ciencia, como el desarrollo de la electricidad en el siglo XVIII, corroboran esta idea, ya que los trabajos de científicos como Gilbert, Gray y Dufay muestran cómo la exploración experimental de los fenómenos electrostáticos no solo amplió la base empírica, sino que también condujo al surgimiento de nuevas ideas y conceptos. Por ejemplo: Dufay, a través de cuidadosos experimentos descubrió la existencia de dos tipos de electricidad, desafiando así las expectativas teóricas de su época. Esta perspectiva no niega la existencia de una dicotomía entre el mundo del pensamiento y el mundo de la realidad, sin embargo, reconoce que la ciencia busca establecer puentes entre estos dos mundos, a través de una constante interacción entre la experimentación y la teorización; la ciencia no se limita a describir la realidad, sino que también la construye a través de esta relación entre teoría y experimento (Romero & Amelines, 2017).

La idea de que la experimentación es la clave para superar una enseñanza teórica y rígida, y para despertar el interés por las ciencias, es una creencia arraigada tanto en docentes como en estudiantes. Muchos ven la transición hacia una enseñanza más experimental como una revolución

necesaria para que los estudiantes se familiaricen con la naturaleza de la actividad científica. Sin embargo, esta transformación se ha visto obstaculizada por factores como la falta de recursos, el exceso de alumnos y los currículos demasiado extensos (Carrascosa, Pérez, Vilches & Valdez, 2006).

En experiencias formando a docentes, se ha observado que cuando se fomenta una reflexión profunda sobre los objetivos de la enseñanza de las ciencias y las características básicas de la actividad científica, muchos profesores se dan cuenta de que los experimentos que suelen realizar son insuficientes. Estos experimentos a menudo se reducen a simples recetas, con un énfasis excesivo en las mediciones y los cálculos, y carecen de aspectos fundamentales como la discusión sobre la relevancia del experimento, la formulación de hipótesis, el diseño experimental y el análisis crítico de los resultados. Aunque la experimentación es esencial para enseñar ciencias, es crucial que las prácticas sean diseñadas de manera cuidadosa para que realmente promuevan la comprensión de la ciencia y el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico (Carrascosa et al., 2006).

CAPÍTULO 3

En este capítulo se profundiza, y analiza el problema que existe en torno a la irradiación de alimentos. Asimismo, se explican las unidades de medida utilizadas para cuantificar las radiaciones ionizantes aplicadas en este proceso, con el fin de proporcionar una base comprensible sobre cómo se controla y evalúa la dosis de irradiación. El capítulo también profundiza en el concepto general de radiación, diferenciando entre radiación ionizante y no ionizante, y explorando sus características y efectos. De manera particular, se aborda el caso de los rayos gamma, explicando su origen y su papel en la irradiación de alimentos, haciendo énfasis en cómo se producen mediante el uso del isótopo radiactivo Cobalto-60.

Sobre el Problema de la Irradiación de Alimentos

La irradiación pese a ser uno de los métodos más efectivos para la esterilización de alimentos, también tiene la desdicha de ser la que más genera desconfianza y miedo en los consumidores (Fernández, 2020).

Entre las tecnologías existentes para conseguir la mayor seguridad sanitaria y mantener la frescura de los alimentos se encuentra la irradiación, propuesta hace más de un siglo y desarrollada a partir de los años cuarenta, cuya implantación se ha visto tradicionalmente frenada por la desconfianza que provoca en los consumidores todo cuando tenga que ver con las radiaciones. Sin embargo, aunque lentamente, su utilización va ganando presencia en los mercados internacionales debido a las ventajas que ofrece frente a otras alternativas. (Fernández, 2020, p. 20)

Durante mucho tiempo los alimentos irradiados han sido la elección preferida para los viajes espaciales debido a su efectividad. En el espacio, incluso un malestar estomacal puede resultar letal, por lo que la seguridad alimentaria es de suma importancia. Esta práctica continúa en la actualidad, ya que proporciona una solución confiable para evitar complicaciones graves en condiciones extremas como las del espacio. Este hecho resalta la notable confianza y eficacia de los alimentos expuestos a radiación ionizante (Fernández, 2020). Sin embargo, resulta curioso observar cómo en la Tierra a menudo tememos por esta técnica de esterilización de alimentos. Como Fernández (2020) menciona: “Esta es la paradoja: mientras que su consumo en el espacio

lleva décadas siendo aceptado con pleno consenso, en la superficie de la Tierra se siguen contemplando con una combinación de sospecha y desconocimiento” (p. 21).

Los Estados Unidos lideran en términos de permisividad la irradiación de alimentos, ya que el grado de autorización varía según la legislación alimentaria de cada país. Esta flexibilidad se destaca especialmente en ese territorio, donde la irradiación de alimentos está más aceptada. Sin embargo, paradójicamente, los consumidores a menudo rechazan estos productos al ver la palabra "radiación" en sus etiquetas. Curiosamente es muy contrariada, pero su base científica es sólida, tanto como para ser comida espacial; la importancia de la irradiación de alimentos es tan significativa que el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha publicado un Manual de Buenas Prácticas para la Irradiación de Alimentos, al respecto. Además, este organismo destaca otro uso crucial de la irradiación: la esterilización de equipos médicos, dispositivos desechables y suministros sanitarios (Fernández, 2020).

Los Kilograys (kGy)

Un aspecto fundamental en el proceso de irradiación de alimentos es la medida de la cantidad de radiación ionizante aplicada, que se expresa en Kilograys (kGy); esta unidad de medida es esencial ya que un Gray (Gy) representa la absorción de un Julio de energía de radiación ionizante por kilogramo de materia, y **1 Kilograys (kGy)** es equivalente a **1000 Grays (Gy)**.

Los Kilograys se utilizan más en la industria de alimentos, porque se trabajan con radiaciones más altas. Esta medida precisa es crucial para garantizar que se alcance el nivel adecuado de irradiación que cumpla con los objetivos deseados, ya que la irradiación de alimentos es un proceso altamente personalizado y controlado, donde la precisión en la medición de la radiación aplicada juega un papel importante en la consecución de los resultados deseados (Suárez, 2001).

Radapertización, Radicidación, Radurización y Picoirradiado

Interesantemente, en el año de 1964, un grupo internacional de microbiólogos propuso una terminología específica para describir las diferentes dosis de radiación ionizante aplicadas en los alimentos (Abril, 2018); a continuación, se aborda la terminología correspondiente para cada nivel de dosis, planteada por estos microbiólogos: la primera es la **Radapertización** que equivale a esterilización por radiación o lo que se conoce como "esterilidad comercial" en la industria de conservas enlatadas, y las dosis de radiación para este tipo de tratamiento suelen oscilar entre 30

y 40 kGy; la segunda es **Radición**, esta se refiere a la reducción significativa del número de microorganismos patógenos viables específicos, excluyendo los virus, para lograr este nivel de desinfección, se utilizan dosis de radiación entre 2,5 y 10 kGy; por tercero, tenemos a la **Radurización** que consiste en mejorar la conservación de un alimento mediante la reducción notable de microorganismos alterantes viables específicos, las dosis para este tratamiento generalmente varían entre 0,75 y 2,5 kGy; en cuarto y último lugar está el término **Picoirradiado**, y se usa para describir alimentos que han sido sometidos a una dosis muy baja de radiación ionizante (Suárez, 2001). Sin embargo, estas denominaciones “ya no son de uso común, por lo que en este momento el *Manual de buenas prácticas de irradiación* del OIEA clasifica los tipos de tratamiento simplemente a partir de las aplicaciones o fines de irradiación” (Abril, 2018, p. 9).

Radiación

Suárez (2001) menciona que “la radiación se puede definir como la emisión y propagación de energía a través del espacio o de un medio material” (p. 85).

La radiación es energía que transita en manera de ondas o partículas a una gran velocidad; además, la radiación puede ser proveniente de materiales y elementos naturales, sin embargo, también de algunos creados por el ser humano. Destacablemente, la radiación se caracteriza por la existencia de sus dos tipos: radiación no ionizante y radiación ionizante (MedlinePlus, n.d.). La radiación no ionizante es la de menor intensidad, ya que no es lo suficientemente energética para lograr arrancar electrones de los átomos o moléculas que conforman la materia o seres vivos. Sin embargo, si es lo necesariamente energética para lograr que esas moléculas vibren y por consecuencia generen calor; este tipo de radiación no es riesgoso en gran medida para la salud de la mayor parte de los seres humanos. A pesar de, existen trabajadores que en sus jornadas laborales se arriesgan de manera constante a fuentes de radiación no ionizante, por lo tanto, necesitan de equipos especializados para su protección, por ejemplo: protección para el calor que es generado por consecuencia de estas fuentes (Galindo, 2024).

Cabe destacar que, algunos tipos de radiación no ionizante están conformados por: ondas de radio, luz visible, microondas, etc. como se muestra en la **Figura 9**. En donde, la luz visible es una radiación que nuestros ojos poseen la capacidad de percibir; mientras que, las ondas de radio son no perceptibles a nuestros sentidos, no obstante, se puede y se decodifica esta radiación con receptores de radio tradicionales (Galindo, 2024).

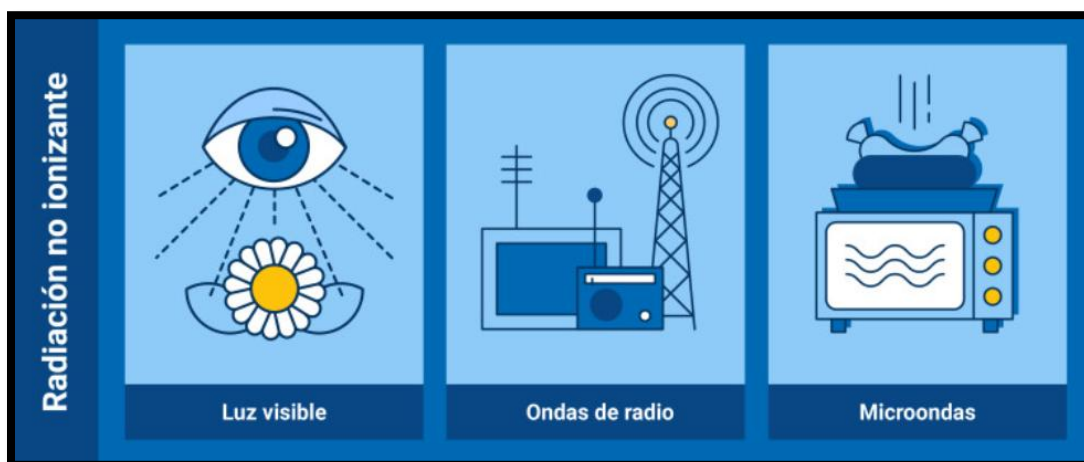


Figura 9: Ejemplos de Radiaciones no Ionizantes

Nota. Tomado de *¿Qué es la radiación?*, por Galindo (2024), en International Atomic Energy Agency.

<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion>

Radiación Ionizante

La radiación ionizante es una forma de radiación bastante energética, por ende, tiene la capacidad de arrancar los electrones de los átomos. Por tal razón, cuando la radiación ionizante interactúa con la materia se logra realizar cambios a un nivel atómico; estos cambios conllevan la creación de iones, donde cabe mencionar que, estos son átomos con una carga eléctrica (Galindo, 2024).

Este tipo de radiación a dosis muy altas posee la capacidad de dañar o alterar las células y órganos de un ser vivo, llegando incluso hasta el punto de ser mortífero. Cabe destacar que, a pesar de esta peligrosidad que tiene este tipo de radiación, si se utiliza de manera correcta a dosis apropiadas y con las debidas medidas de radioprotección, su uso es de gran provecho, por ejemplo: el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, como el cáncer; y otros ejemplares más, como se muestra en la **Figura 10** (Galindo, 2024).

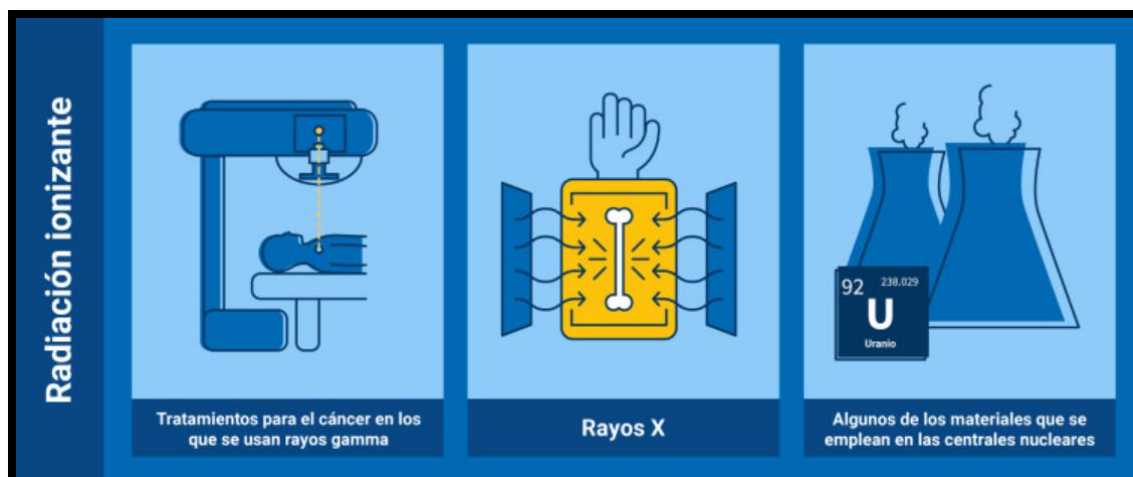


Figura 10: Ejemplos de Radiaciones Ionizantes y Algunos de sus Usos

Nota. Tomado de *¿Qué es la radiación?*, por Galindo (2024), en International Atomic Energy Agency.

<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion>

A pesar de que las leyes sobre el uso de las fuentes de radiación ionizante y su protección sobre ellas es responsabilidad de cada país; el OIEA brinda ayuda a legisladores y reguladores, por medio de un sistema de normas de seguridad internacional. La intención y objetivo de estas normas son la protección de trabajadores y pacientes, así como de las personas del común, sin embargo, también del medio ambiente; todo esto, es con respecto a la protección de los efectos nocivos que podría tener la radiación ionizante si no se rige o controla de manera correcta (Galindo, 2024).

Rayos Gamma

Los rayos gamma son una forma de radiación que se propaga como ondas electromagnéticas; dentro del espectro electromagnético, ocupan el rango de frecuencias más alto, desde 10^{19} hasta 10^{22} Hertz. Esto significa que son mucho más energéticos que otras formas de radiación como las ondas de radio, microondas, infrarrojo, luz visible, ultravioleta y rayos X (Fernández Martínez, 1991).

Los rayos gamma son una radiación electromagnética, la cual es parecida a los rayos X, pues, ambas poseen una longitud de onda muy corta. Sin embargo, los rayos gamma se emiten a partir de productos secundarios que son el resultado de la fisión atómica o de isotopos radiactivos que provienen de estos mismos productos; por lo tanto, es la forma más económica de conservar alimentos por radiación ionizante (Suárez, 2001). Cabe resaltar que, son considerablemente muy

penetrantes, ya que inclusive su longitud de onda resulta ser aproximadamente 20 veces menor que la de los rayos X. Además, como emisores de rayos gamma, se utilizan mayormente el cobalto-60 (Co-60) y el cesio-137 (Cs-137), donde el Co-60 es el más usado (Suárez, 2001).

Al igual que todas las ondas electromagnéticas, los rayos gamma están compuestos por campos eléctricos y magnéticos que oscilan perpendicularmente entre sí y se propagan en fase a la velocidad de la luz en el vacío que aproximado es 3×10^8 m/s (Fernández Martínez, 1991); es importante tener en cuenta que, el valor puede variar levemente al atravesar diferentes medios materiales, por ejemplo: el agua o el vidrio. Sin embargo, en el vacío la velocidad de la luz y, por ende, de los rayos gamma es siempre la misma.

Fernández Martínez (1991) indica que, los rayos gamma, como todo el espectro electromagnético, presentan una dualidad onda-partícula. Pues, si bien se propagan como ondas, también pueden comportarse como partículas discretas de energía llamadas fotones. En qué, la energía de un fotón está dada por la ecuación [1]:

$$E = hf \quad [1]$$

se debe tener en cuenta que, **E** es la energía del fotón, **h** es la constante de Planck y finalmente **f** es la frecuencia de la radiación; además, debido a la alta frecuencia de los rayos gamma, los fotones gamma poseen energías extremadamente altas, del orden de mega-electronvoltios (MeV) (Fernández Martínez, 1991).

Cobalto 60

El Cobalto 60 (Co-60) es un isótopo artificial. Este se prepara en un reactor nuclear cuando se bombardea con neutrones un isótopo natural y estable llamado Cobalto 59 (Co-59); cuando estos neutrones son absorbidos por el Co-59, este da lugar a la creación del Co-60 que posee un número atómico de $Z=27$ (número de protones) y un número másico de $N=33$ (número de protones más el número de neutrones) (Suárez, 2001). Cabe resaltar que, el núcleo de este isótopo artificial es “impar-impar” y que, en primera instancia, se emite radiación beta desde el núcleo del Cobalto 60, luego este se transforma en Níquel 60 (Ni-60) en un estado con mucha energía. Finalmente, este estado pierde energía rápidamente mediante la emisión de dos rayos gamma que dan lugar a Níquel 60 estable, proceso que se evidencia en la **Figura 11** (Galindo, 2024); el isótopo radiactivo Co-60

se desintegra de manera constante, por lo tanto, se debilita cada vez más con el pasar del tiempo (Suárez, 2001). Este isótopo posee un peso atómico de 60 y pierde gran parte de su radiactividad en un tiempo de semidesintegración de 5,27 años, aparte de ser aproximadamente 300 veces más poderoso que el elemento químico radio. Por tal razón, las fuentes de Co-60 normalmente son cambiadas al momento de llegar al periodo de semidesintegración con el motivo de mantener una adecuada potencia radiactiva; estas fuentes artificiales cuentan con notorias ventajas en comparativa a fuentes naturales como el Co-59, por ejemplo: tienen periodos de desintegración mucho más cortos, lo que las hace más intensas; no son emisoras de partículas alfa, pues, estas son no deseables; los electrones que son emitidos por estas fuentes artificiales son sencillos de detener con láminas de metal delgado y esto se logra sin disminuir de manera significativa la intensidad de la radiación gamma (Suárez, 2001).

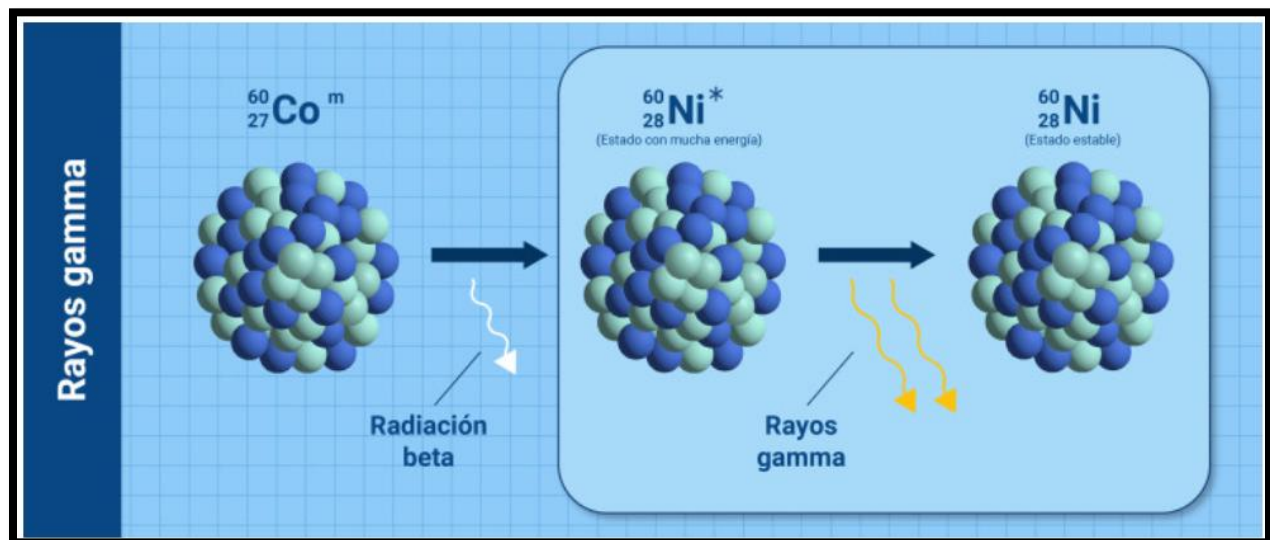


Figura 11: Proceso de Emisión de los Rayos Gamma en el Cobalto 60

Nota. Tomado de *¿Qué es la radiación?*, por Galindo (2024), en International Atomic Energy Agency.

<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion>

CAPÍTULO 4

En este capítulo se expone el enfoque crítico-social, el cual se caracteriza por la aplicación de conocimientos con el fin de intervenir en problemas de naturaleza práctica. Este enfoque no solo busca comprender la realidad, sino transformarla mediante la reflexión crítica y la acción consciente, orientándose hacia la toma de decisiones informadas y responsables. Asimismo, se profundiza en uno de sus tipos principales: la investigación-acción, cuyo propósito central es resolver problemas cotidianos y contribuir a la mejora de prácticas concretas dentro de una comunidad o en un contexto social específico.

Enfoque Crítico-Social

“Para Lev Vygotsky, el conocimiento es un proceso de interacción entre el sujeto y el medio, pero el medio entendido como algo social y cultural, no solamente físico” (Payer, 2019, p. 1). Para abordar de manera efectiva la enseñanza de fenómenos de radiación ionizante por medio de la irradiación de alimentos, es fundamental emplear un enfoque crítico-social del tipo investigación-acción, y un abordaje metodológico cualitativo.

Según Gómez & Villalobos (2014), mencionan que el filósofo y sociólogo Habermas, dijo “el conocimiento no hace referencia a la simple reproducción de datos objetivos sobre la realidad, sino que, por el contrario, la realidad se construye a partir de la interacción cotidiana y el modo de conocerla surge de un interés determinado socioculturalmente” (p. 58). Este tipo de pensamiento ocasiona que él proponga una categorización sobre los intereses que manejan los procesos de conocimiento. Por ejemplo: “el técnico (busca predecir y controlar), el práctico (busca ubicar y orientar la praxis dentro del contexto histórico) y el emancipatorio (busca la liberación)” (p. 59); asimismo, estos se relacionan con tres enfoques o maneras de entender la realidad: el empírico-analítico, el histórico-hermenéutico y el crítico-social. Entonces, el enfoque de un estudio está establecido por las dos siguientes variables: el interés y la posición del investigador frente a la realidad.

Si el interés es predecir y controlar un fenómeno, el enfoque será empírico-analítico; si el propósito es comprender un fenómeno en ciertas condiciones sociales, culturales e históricas determinadas, el enfoque será histórico-hermenéutico; y si se pretende “develar

ataduras” y generar cambios sociales, el enfoque será crítico-social. (Gómez & Villalobos, 2014, p. 59)

Sin embargo, la investigación realizada en el marco de esta propuesta de trabajo de grado tiene un enfoque crítico-social; por lo tanto, se profundizará principalmente en él, ya que es el protagonista aquí.

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, entonces, ¿qué es exactamente un enfoque crítico-social? Este enfoque nace por el interés de librar al humano de todo poderío distinto a la razón y defender totalmente la autonomía, por ende, busca reconstruir por medio de un análisis crítico los procesos sociales; tiene un carácter aplicativo de conocimientos que intervienen a problemas que son prácticos, además, se orienta a la toma de decisiones, también al diseño de políticas, y finalmente, a la determinación de la eficiencia de los programas y organizaciones que existen (Gómez & Villalobos, 2014). Lleva a cabo una función importante, ya que posee una directa aplicación en el cambio y auto-reflexión, esta última queriendo ampliarla y fortalecerla. En este enfoque, la realidad se interpreta y percibe como una construcción meramente social, donde el investigador es un actor más que posee el papel de participar en la reconstrucción de esta, generando conciencia y empoderamiento. Por otra parte, su abordaje metodológico es cualitativo (Gómez & Villalobos, 2014).

Investigación-Acción

Gómez & Villalobos (2014), indican que el propósito del enfoque crítico-social del tipo investigación-acción, es:

Resolver problemas cotidianos y mejorar prácticas concretas en una comunidad o en una sociedad. Se centra en aportar información que sirva como guía para la toma de decisiones respecto a programas, procesos y reformas estructurales. Pretende transformar realidades y que los participantes tomen conciencia sobre su papel en este proceso. (p. 72)

En pocas palabras, al mismo tiempo se investiga y se interviene. Además, tiene un desarrollo que está fundamentado en los siguientes aspectos a considerar:

a) los participantes que experimentan el problema son las personas indicadas para abordarlo en un entorno naturalista, b) la conducta de los participantes es producto del contexto en el que interactúan, y c) la metodología cualitativa es la que más se adapta al estudio de los entornos naturales. (pp. 72-73)

Cabe resaltar que, normalmente se utilizan técnicas como la entrevista, la observación y grupos focales para la recolección de los datos, “a partir del análisis de los datos se elabora un diagnóstico, se presenta a los participantes para validar la información y se elabora un plan para solucionar el problema o generar cambios” (Gómez & Villalobos, 2014, p. 73).

Propuestas de Enseñanza e Investigación

A partir de lo anterior, se propone desglosar la fase general del proyecto de trabajo de grado en cuatro sub-fases claramente delimitadas: investigación, planeación y creación, análisis, y conclusiones. Estas sub-etapas, interrelacionadas entre sí, buscan estructurar de manera rigurosa y coherente el desarrollo del trabajo, garantizando que cada una aporte de forma sistemática y reflexiva al avance integral del proyecto. Finalmente, se contempla dos fases de implementación y evaluación, en la cual se aplicarán los talleres diseñados y se medirán, mediante instrumentos cuantitativos y cualitativos, tanto el grado de apropiación conceptual de los contenidos físicos como el desarrollo de habilidades prácticas en los estudiantes. Cada una de estas etapas estará acompañada de un proceso sistemático de recolección de datos (encuestas, actividades participativas, juegos y registros de observación) que garantizará la rigurosidad académica y la pertinencia social del trabajo de grado.

Las fases de implementación de los dos talleres serán desarrollados e impartidos en el espacio curricular de “Física” para los estudiantes de décimo grado (curso 1003, jornada mañana) de la Institución Educativa Distrital (IED) Alfonso López Michelsen (ver **Figura 12 y 13**). Cabe aclarar que, el Taller 1 se realizó con la participación de 31 estudiantes, mientras que el Taller 2 contó con la intervención de 26 de esos mismos jóvenes. La institución se encuentra ubicada en la localidad de Bosa, barrio El Recreo, un sector caracterizado por un estrato socioeconómico 2.

Durante el desarrollo de estos talleres, se planificó un itinerario pedagógico que incluyó actividades prácticas, materiales manipulativos y dinámicas colaborativas, con el propósito de acercar a los estudiantes a la comprensión de conceptos físicos fundamentales. Es importante mencionar que, todos los alumnos que asistieron al segundo taller formaban parte del grupo inicial, lo que aseguró la continuidad pedagógica sin dificultades, y permitió evaluar el progreso de manera coherente.



Figura 12: *Colegio Alfonso López Michelsen*

Nota. Adaptado de *Colegio Alfonso López Michelsen*, por Colegio Alfonso López Michelsen (n.d.), en Primaria tarde Alfonso López IED. <https://primariatardealfonsolopezied.jimdofree.com/contacto-directo-y-sugerencias/>



Figura 13: *Escudo Colegio Alfonso López Michelsen*

Nota. Adaptado de *IED Alfonso López Michelsen*, por Colegio Alfonso López Michelsen (n.d.), en Alfonso López Michelsen. <https://alfonsolopezmichelsen.wordpress.com/>

Considerando lo expuesto anteriormente, se presentan a continuación las fases propuestas en la **Tabla 7**, las cuales describen de manera detallada el desarrollo de este proyecto de trabajo de grado:

Tabla 7

Fases Realizadas en la Construcción del Proyecto de Trabajo de Grado

<p>Fase General <i>Investigación, planeación, creación, análisis y conclusiones</i></p>	<p>Llevar a cabo una investigación continua sobre la irradiación de alimentos para estar al tanto de las actualizaciones sobre la temática. Además, elaborar las planificaciones y diseñar las encuestas, juegos didácticos y actividades participativas para cada</p>
--	--

	etapa de la unidad didáctica, asimismo analizar las observaciones y resultados obtenidos en cada fase.
<p style="text-align: center;">Sub-Fase General 1 <i>Investigación</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Investigar, analizar y comparar la efectividad de las distintas fuentes de radiaciones ionizantes utilizadas para la irradiación de alimentos y centrarse en los “rayos gamma” emitidos por el isótopo radiactivo Cobalto 60, por medio de artículos, libros y tesis. ▪ Investigar detalladamente el proceso de la muerte de los microorganismos en la irradiación de alimentos no solo desde la física, sino también desde la química y microbiología para tener un conocimiento más completo, por medio de artículos, libros y tesis. ▪ Investigar continuamente artículos, libros y tesis más recientes sobre irradiación de alimentos para estar siempre actualizado con respecto a nuevos descubrimientos o hallazgos. ▪ Asistir a cursos y conferencias de expertos en irradiación de alimentos para aprender cada vez más del tema y su problemática. Además, realizar una visita guiada, privada y planeada en la sede CAN del SGC con el señor Jormagn Israel Abril, y entrevistarlo para conocer el reactor nuclear “IAN-R1”, la planta de irradiación “Planta Gamma”, y más sobre los alimentos irradiados. ▪ Comenzar a redactar la monografía.
<p style="text-align: center;">Sub-Fase General 2 <i>Planeación y Creación</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Diseñar las planificaciones, encuestas, juegos didácticos y actividades participativas, basados en evidenciar los beneficios, riesgos reales y fenómeno de radiación ionizante (ionización) en la irradiación de alimentos para cada correspondiente fase metodológica de trabajo en el aula de clases; haciendo uso de experimentos reales y con analogías, recursos multimedia, canciones, juegos, etc.
<p style="text-align: center;">Sub-Fase General 3 <i>Análisis</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analizar las observaciones y resultados obtenidos en cada fase de trabajo en el aula, por medio de instrumentos de evaluación formativa como encuestas, juegos didácticos y actividades participativas, para destacar las reflexiones y evidenciar la comprensión, análisis y argumentación justificada de los estudiantes sobre los temas vistos.

Sub-Fase General 4 <i>Conclusiones</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Concluir por medio de las observaciones, hallazgos y resultados recopilados a lo largo del proyecto, los aspectos clave identificados durante las distintas etapas del proceso para brindar las conclusiones y evidenciar el cumplimiento de todos los objetivos propuestos en el proyecto, si es el caso. ▪ Terminar de redactar la monografía.
Fase 1 <i>Sesión 1</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación del taller 1 “Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto”.
Fase 2 <i>Sesión 2 y Sesión 3</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación del taller 2 “Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierto”.

Nota. Tabla creada por el autor.

A continuación, se presentan las **Tablas 8 y 9**, que permiten comprender, contextualizar y evidenciar las dinámicas desarrolladas en el aula durante las tres sesiones de implementación de los talleres, correspondientes a las fases 1 y 2. Estas tablas introducen cada taller, detallan sus objetivos de enseñanza y aprendizaje, y explican las actividades realizadas, incluyendo su propósito y el tiempo destinado para su ejecución.

Tabla 8

Taller 1- Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto

Nombre del taller	Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto
Introducción	Este primer taller está orientado a la construcción de la idea sobre irradiación de alimentos; comenzando por familiarizar a los estudiantes con la conservación de alimentos, luego adentrarlos a la idea de radiación y como está interactúa con la materia, y finalmente dar un primer acercamiento a lo que es la irradiación de alimentos, funcionamiento y beneficios.
Objetivo de enseñanza	Explicar y construir la idea sobre irradiación de alimentos, utilizando diferentes actividades interactivas para familiarizar a los estudiantes con conceptos previos y necesarios para la construcción y comprensión de la irradiación de alimentos.

<p>Objetivo de aprendizaje</p>	<p>El estudiante podrá describir que es la conservación de alimentos y algunas de sus técnicas más utilizadas; entender que es la radiación y su distinción entre ionizante y no ionizante, así como algunas de las fuentes que las emiten; comprender el término “irradiación de alimentos”, su funcionamiento, efectos a una escala macroscópica y beneficios.</p>
<p>Actividad 1</p> <p>Nombre <i>Desafío Cerebral: Preguntas que te Harán Pensar</i></p> <p>Objetivo <i>Buscar reconocer y familiarizar al estudiante con la conservación de alimentos, por medio de los distintos pasos planteadas en la actividad 1.</i></p> <p>Tiempo <i>30 minutos</i></p>	<p>La primera actividad se desarrolló en tres fases: una encuesta inicial para conocer la percepción de los estudiantes sobre el consumo de alimentos irradiados; un juego en equipos que incentivó la reflexión sobre métodos de conservación de alimentos; y una charla introductoria que abordó causas del deterioro alimenticio y técnicas tradicionales de conservación, dejando planteada la irradiación como tema a explorar más adelante.</p>
<p>Actividad 2</p> <p>Nombre <i>Acercamiento a la Interacción de la Radiación con la Materia</i></p> <p>Objetivo <i>Proporcionar un acercamiento al estudiante sobre la interacción de la radiación con la materia, mediante los pasos propuestos en la actividad 2.</i></p> <p>Tiempo <i>40 minutos</i></p>	<p>En esta segunda actividad, se introdujo el concepto de radiación, diferenciando entre ionizante y no ionizante mediante una explicación inicial apoyada en un cuadro comparativo. Posteriormente, se identificaron tipos de radiación no ionizante, con énfasis en la radiación ultravioleta y sus tres espectros, destacando sus aplicaciones y niveles de riesgo. Luego, se presentó un experimento con una fuente de rayos UV-A en una caja cerrada, donde los estudiantes observaron efectos de fluorescencia en objetos cotidianos, como un billete y una hoja rayada con marcador fluorescente. Finalmente, se realizó una retroalimentación guiada con preguntas que fomentaron la reflexión y comprensión del fenómeno físico observado y su relación con la interacción entre materia y radiación.</p>

<p>Actividad 3</p> <p>Nombre <i>Acercamiento a la Irradiación de Alimentos</i></p> <p>Objetivo <i>Acercar al estudiante a la idea de irradiación de alimentos por medio de los distintos pasos propuestas en la actividad 3.</i></p> <p>Tiempo <i>30 minutos</i></p>	<p>En esta última actividad se abordaron las radiaciones ionizantes, enfocándose especialmente en los rayos gamma: su naturaleza, origen y aplicaciones. A través de una experiencia experimental guiada, los estudiantes imaginaron una fuente de rayos gamma en el montaje utilizado previamente, en el que se introdujo una manzana con puntos fluorescentes representando microorganismos. Tras “irradiarla” simbólicamente, observaron la desaparición de dichos puntos, simulando la eliminación de patógenos mediante radiación ionizante. Esta actividad sirvió como base para introducir el concepto de irradiación de alimentos, destacando su función en la conservación y desinfección. La reflexión posterior permitió discutir los beneficios del proceso, reforzados a través del juego “Cartas Beneficiosas”, donde los estudiantes relacionaron preguntas y respuestas sobre las ventajas de esta técnica. Finalmente, se aplicó la misma encuesta inicial de la actividad 1, para evaluar cambios en la percepción del grupo, y luego, se concluye con un agradecimiento por su participación.</p>
--	--

Nota. Tabla creada por el autor.

Tabla 9

Taller 2 - Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierta

Nombre del taller	Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierta
Introducción	Este es el segundo taller realizado, el cual es complementario y posterior al taller 1 “Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierta”. En este segundo taller se abordan temas relevantes sobre la sensibilización, información y disciplinares de la irradiación de alimentos, como: el símbolo de Radura, el “artículo 9. <i>Irradiación de alimentos</i> ” de la “Resolución Número 2652 de 2004”, alimentos irradiados llegados a Colombia, unidades de medida de la radiación ionizante, algunos tipos de microorganismos patógenos, variables a considerar en la irradiación de alimentos e ionización.
Objetivo de enseñanza	Enseñar el proceso de ionización, por medio de la irradiación de alimentos y clarificar todo lo relacionado frente a estas, utilizando recursos audiovisuales y actividades prácticas.
Objetivo de aprendizaje	El estudiante podrá describir el proceso de ionización desde el modelo atómico de Bohr; encontrar la carga iónica neta de un ion; comprender la

	<p>problemática actual de la irradiación de alimentos, adquirir una postura crítica frente a estos y variables a considerar; reconocer el nombre de algunos microorganismos patógenos y en que alimentos habitan principalmente.</p>
<p>Actividad 1</p> <p>Nombre <i>La Irradiación de Alimentos y los Microorganismos Patógenos</i></p> <p>Objetivo <i>Sensibilizar y profundizar sobre los alimentos irradiados y las variables a considerar al irradiarlos; además, reconocer algunos microorganismos patógenos y en que alimentos frecuentan.</i></p> <p>Tiempo <i>50 minutos</i></p>	<p>En esta actividad se profundizó y recordó el concepto de irradiación de alimentos, aclarando que consiste en la aplicación de radiación ionizante para eliminar microorganismos patógenos. La actividad incluyó la visualización de videos informativos, tanto institucionales como didácticos, y la presentación del símbolo internacional “Radura” como distintivo obligatorio en productos irradiados. Se abordó el caso colombiano, evidenciando la existencia de infraestructura nuclear, aunque sin uso actual para alimentos, y se discutió la normativa vigente, como la Resolución 2652 de 2004. Además, se presentó un caso real de un producto irradiado disponible en el país. La jornada culminó con el juego “Microorganismos al Descubierto”, donde los estudiantes, organizados en equipos y utilizando la técnica de los seis sombreros para pensar, simularon el proceso de irradiación de frutas contaminadas simbólicamente, reflexionaron sobre las variables implicadas y consolidaron su aprendizaje mediante actividades experimentales, audiovisuales y colaborativas.</p>
<p>Actividad 2</p> <p>Nombre <i>Comprendiendo la Ionización</i></p> <p>Objetivo <i>Explicar el proceso de la ionización y como obtener la carga iónica neta de un ion.</i></p> <p>Tiempo <i>50 minutos</i></p>	<p>En esta última etapa del taller se abordó el concepto de ionización como punto de partida del proceso mediante el cual se eliminan microorganismos patógenos en la irradiación de alimentos. A través del modelo atómico de Bohr y materiales visuales elaborados por el docente, se explicaron las partes del átomo, la formación de iones (aniones y cationes) y la forma de calcular la carga iónica neta. Para reforzar el aprendizaje, se utilizó una canción didáctica generada con inteligencia artificial, y luego se aplicó una actividad individual en la que los estudiantes identificaron la carga de un ion tras la exposición a radiación gamma y representaron gráficamente el proceso. Finalmente, se ofreció una retroalimentación con apoyo audiovisual para vincular la ionización con la irradiación de alimentos, mencionando el efecto Compton de forma introductoria para motivar la curiosidad científica, concluyendo el taller con un mensaje didáctico y humorístico en video.</p>

Nota. Tabla creada por el autor.

Para quienes deseen profundizar en el desarrollo de los dos talleres propuestos en esta investigación, se recomienda consultar los **Anexos 2 y 3**, donde se encuentra detallado, paso a paso, el diseño y la secuencia de actividades de cada uno. Estos anexos permiten comprender con mayor claridad la estructura metodológica planteada, así como los objetivos específicos que guían cada momento del proceso pedagógico. Por otro lado, si el interés se centra en conocer los recursos visuales utilizados como imágenes, esquemas y material audiovisual, así como los experimentos, dinámicas y juegos diseñados para enriquecer la experiencia de aprendizaje, se sugiere revisar los **Anexos 4 y 5**. En estos se recopilan, muestran y describen de manera secuencial los materiales didácticos empleados, los cuales fueron cuidadosamente elaborados para facilitar la apropiación conceptual por parte de los estudiantes y fomentar su participación activa a lo largo del desarrollo de ambos talleres. En última instancia, quienes deseen examinar la sistematización de las evidencias de cada taller deberán remitirse a los **Anexos 6 y 7**.

CAPÍTULO 5

Por último, en este capítulo se analizan y presentan los resultados obtenidos en las diferentes etapas de la implementación realizada con la población seleccionada, conformada por estudiantes de grado décimo (curso 1003, jornada mañana) del Colegio Alfonso López Michelsen, ubicado en la localidad de Bosa, barrio El Recreo. En particular, se detalla que el primer taller fue aplicado a un grupo de 31 estudiantes, mientras que el segundo taller fue implementado con 26 de ellos, todos los cuales habían participado previamente en el primer taller. Este seguimiento permitió establecer una continuidad en el proceso de intervención, facilitando el análisis comparativo y la evaluación del impacto generado a lo largo de la experiencia pedagógica.

Resultados y Análisis

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo de grado. Cada uno de ellos ha sido cuidadosamente analizado y contrastado con los objetivos planteados inicialmente. El propósito de esta sección es mostrar de manera clara los hallazgos más relevantes, así como evidenciar el proceso mediante el cual se alcanzaron. De esta forma, se busca no solo exponer los datos obtenidos, sino también ofrecer una comprensión más profunda de su significado dentro del contexto del proyecto.

Análisis de Resultados – Taller 1

En seguida, se muestran los resultados obtenidos de la **primera encuesta** (ver **Figura 14**) correspondiente a la primera parte de la **actividad 1** realizada en el “*Taller 1: Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto*”. Los resultados se evidencian en la **Gráfica 1**.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

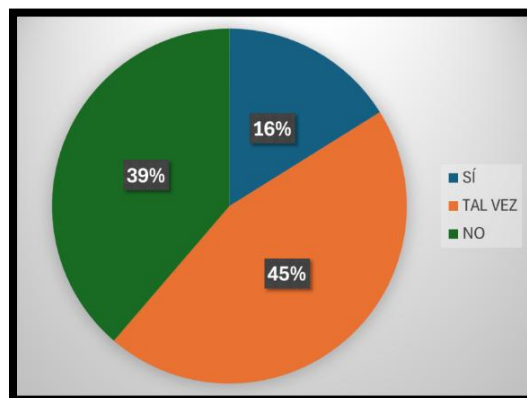
¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Figura 14: Encuesta de Percepción Estudiantil (Formato)

Nota. Imagen creada por el autor.



Gráfica 1: Frecuencia Relativa (%) de Opciones de Respuesta Cerradas – Primera Encuesta

Nota. Imagen creada por el autor.

En los resultados de la encuesta 1, se puede evidenciar como la mayoría de los estudiantes (45%) optan por responder que “tal vez” consumirían un alimento irradiado, dejando en evidencia su falta de confianza con estos alimentos al escucharlos por primera vez. Por otro lado, un porcentaje también alto de estudiantes (39%) tomó una decisión más radical al decir que “no” consumirían alimentos irradiados, dejando en claro que no habría ninguna posibilidad mínima de llegarlos a comer, mostrando una desconfianza inclusive mayor a los anteriores estudiantes. Sin embargo, un pequeño porcentaje de 16% de los alumnos manifestó que “sí” los consumirían, demostrando una primera percepción no tan mala frente a estos.

A continuación, se evidencian los porcentajes de las respuestas argumentativas dadas por los estudiantes, independientemente cual haya sido la opción elegida por cada uno de ellos. Para esto, se agruparon las respuestas parecidas o con una argumentación similar en cuatro grupos distintos como se puede ver seguidamente en la **Tabla 10**.

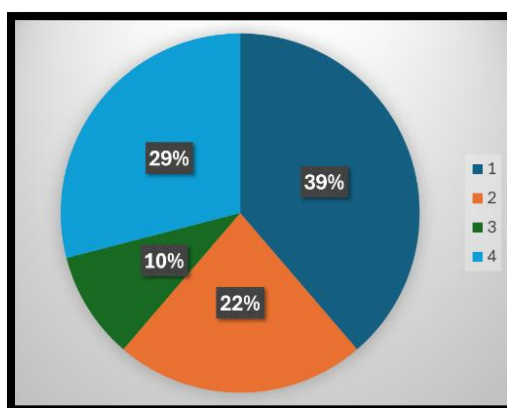
Tabla 10

Grupos de Respuestas Argumentativas de Opción Abierta de la Primera Encuesta

Grupos	Respuestas
1	✓ Considero que son alimentos dañinos, tóxicos y perjudiciales; incluso pienso que pueden ser cancerígenos, ya que contienen radiación y representan un riesgo para la salud humana.
2	✓ Seguramente los he consumido antes sin saberlo, pero la verdad me daría igual hacerlo nuevamente, e incluso me genera curiosidad probarlos con más consciencia.
3	✓ Son alimentos modificados, procesados y contienen químicos.
4	✓ No sé exactamente qué son, siento que necesito aprender más sobre ellos, y la verdad me lo pensaría bastante antes de decidir si consumirlos o no.

Nota. Tabla creada por el autor.

Teniendo en cuenta lo anterior mencionado, en la **Gráfica 2** se observan los resultados obtenidos:

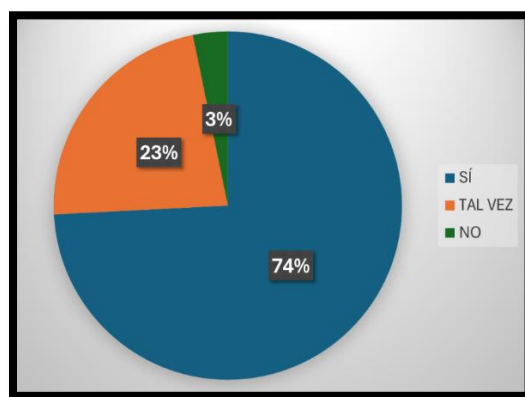


Gráfica 2: Frecuencia Relativa (%) de Respuestas Argumentativas – Primera Encuesta

Nota. Imagen creada por el autor.

En esta última gráfica presentada, se puede observar como el porcentaje mayor de estudiantes equivalente a 39%, relaciona el consumo de los alimentos irradiados con algo dañino, tóxico, malo, cancerígeno, y peligroso para el ser humano. Esto, debido al relacionar directamente el termino de “radiación” con algo totalmente negativo, dejando en evidencia una mala, desagradable y temerosa percepción de estos alimentos por parte de los estudiantes. Ahora, un 29% de los estudiantes manifiesta el no saber que son, el necesitar conocer más sobre estos, y el pensarse bastante si consumirlos o no. Esto demuestra que, el educando al no relacionar los alimentos irradiados con algo totalmente negativo, si los relaciona con algo totalmente desconocido y nuevo. Por otro lado, un 22% de estudiantes creen que ya los han consumido antes sin saberlo, y piensan que son algo que les daría igual o curiosidad comer cuando se les presente la oportunidad de probarlos. Aquí, se puede ver como los educandos relacionan este tipo de alimentos con algo del común, tanto hasta el punto de pensar que ya han comido estos en el pasado, además de causarles una gran curiosidad el poder probarlos, pero también en algunos casos la indiferencia de darles igual sí los consumen o no. Por último, un 10% de estudiantes cree que son alimentos modificados, procesados o con químicos. Esto manifiesta una negatividad hacia estos alimentos, pero orientada o vinculada a los “extras” que podría tener demás un alimento irradiado.

Ahora, se muestran los resultados obtenidos de la **segunda encuesta** realizada en la última parte de la **actividad 3** del “*Taller 1: Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto*”, como se evidencia en la **Gráfica 3**. Es importante señalar que la segunda encuesta conserva el mismo formato que la encuesta inicial (ver **Figura 14**), manteniendo idénticas las preguntas, las opciones de respuesta, así como su estructura y diseño.



Gráfica 3: Frecuencia Relativa (%) de Opciones de Respuesta Cerradas – Segunda Encuesta

Nota. Imagen creada por el autor.

En la segunda y última encuesta, se puede evidenciar un cambio drástico en las respuestas elegidas por los estudiantes, donde un 74% manifiesta que “sí” consumirían alimentos irradiados. Esto demuestra un excelente resultado con respecto al taller, ya que la mayoría de los estudiantes cambió su perspectiva sobre el consumo de alimentos irradiados, demostrando mayor confianza frente a estos. Sin embargo, una cantidad considerable de educandos equivalente a 23%, aún responden “tal vez” y un 3% “no”. Esto muestra que, a pesar de las herramientas y actividades utilizadas en el taller para un primer acercamiento a la irradiación de alimentos, los estudiantes dudan aún si consumirlos o no, y muy pocos todavía se niegan a probarlos.

Seguidamente, se muestran los porcentajes de las respuestas argumentativas dadas por los estudiantes, independientemente cual haya sido la opción elegida por cada uno de ellos. Para esto, se agruparon las respuestas parecidas o con una argumentación similar en cuatro grupos distintos como se puede ver de seguido en la **Tabla 11**.

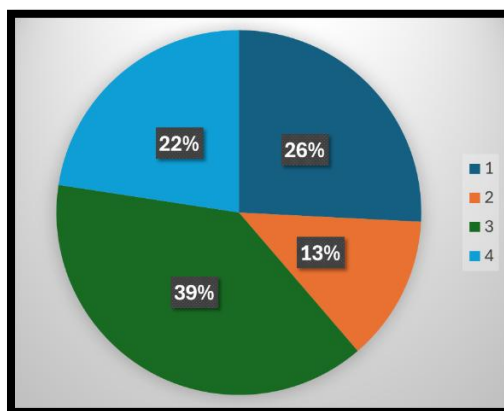
Tabla 11

Grupos de Respuestas Argumentativas de Opción Abierta de la Segunda Encuesta

Grupos	Respuestas
1	✓ La irradiación de alimentos es un proceso que permite desinfectar los alimentos de microorganismos patógenos y plagas peligrosas sin necesidad de utilizar aditivos químicos, y además ayuda a conservarlos por más tiempo. Cuando los alimentos son irradiados, las bacterias son eliminadas mediante la acción de los rayos gamma, sin que esto represente un riesgo para el consumo humano.
2	✓ El término “radiación” no es necesariamente algo malo, ya que, dependiendo del tipo, algunas formas de radiación pueden incluso limpiar y eliminar bacterias de los alimentos. La radiación, bien utilizada, puede tener un propósito beneficioso, como en el caso de la irradiación de alimentos.
3	✓ La irradiación de alimentos no tiene efectos secundarios, ya que se trata de alimentos que no resultan dañinos ni peligrosos para la salud. Además, su sabor no presenta alteraciones notorias, lo que permite consumirlos con total tranquilidad.
4	✓ Los alimentos irradiados pueden no causar daño a corto plazo; sin embargo, creo que a largo plazo podrían tener algún efecto. Además, dependiendo del nivel de irradiación al que haya sido expuesto el alimento, decidiría si consumirlo o no. Siento que la comida no queda completamente limpia, y solo la comería si se ve realmente apetecible.

Nota. Tabla creada por el autor.

Teniendo en cuenta lo anterior mencionado, en la **Gráfica 4** se observan los resultados obtenidos:



Gráfica 4: *Frecuencia Relativa (%) de Respuestas Argumentativas – Segunda Encuesta*

Nota. Imagen creada por el autor

En los argumentos evidenciados en esta última encuesta se puede observar que, un 39% vincula los alimentos irradiados con no tener efectos secundarios, no ser dañinos, no ser peligrosos, y ser alimentos sin notorias alteraciones en su sabor. Esto evidencia como el primer taller logra que los estudiantes construyan argumentos más orientados al porque sí consumir este tipo de alimentos. Entre tanto, un 26% también manifiesta argumentos positivos sobre los alimentos irradiados como los anteriores estudiantes, pero además logran una construcción de argumentos más rigurosa al aclarar que la irradiación de alimentos es un proceso para desinfectar los alimentos de microorganismos y plagas peligrosas sin la utilización de aditivos químicos, y que conserva los alimentos por mayor tiempo. Asimismo, consiguiendo relacionar que cuando se irradian los alimentos se eliminan las bacterias que los rayos gamma expulsa, sin que llegue a ser peligroso el consumo del alimento. Por otro lado, un 22% aún sigue creyendo que puede no hacerles daño a corto plazo, pero a largo plazo sí, además mencionan que dependiendo del nivel de irradiación al que haya sido expuesto el alimento decidirían si consumirlo o no; según ellos la comida no queda del todo limpia y quizás la consumirían solo si se ve apetecible. Aquí, se puede ver como los estudiantes siguen percibiendo los alimentos irradiados de forma negativa, pero, los argumentos

datos son mejor construidos e interesantes que los de la primera encuesta, siendo esto de igual manera una gran ganancia por lograr que los alumnos sean críticos al momento del consumo de estos alimentos, a pesar de sus múltiples beneficios comprobados. Por último, 13% de las respuestas argumentadas se orientan a que el término "radiación" no es malo, y dependiendo del tipo de radiación algunas pueden limpiar y quitar bacterias de los alimentos; también, indican que la radiación se puede utilizar con un buen fin, como para la irradiación de alimentos. Con esto, se puede ver una argumentación más sólida relacionada a la radiación y como logran su distinción directa o indirecta sobre la radiación ionizante y no ionizante, y lo que logra al interactuar con los alimentos la ionizante. Además, se observa un punto de vista más positivo frente a el término “radiación”.

Análisis de Resultados - Taller 2

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la pregunta formulada a seis equipos de estudiantes durante el desarrollo del juego didáctico “Microorganismos al Descubierto”, el cual hizo parte de la primera actividad del “**Taller 2: Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierto**”. La pregunta planteada fue: “¿Qué variables consideran que se deben tener en cuenta al irradiar un alimento?”. Los resultados se recogen en la **Tabla 12**, donde se evidencia, de manera resumida, cómo cada grupo identificó y relacionó las variables que, a su juicio, deben ser consideradas en el proceso de irradiación de alimentos. Esta información permite comprender la forma en que los estudiantes interpretan y articulan los conocimientos adquiridos en torno a este procedimiento tecnológico.

Tabla 12

Variables para la Irradiación de Alimentos, Según los Equipos de Estudiantes

EQUIPO	RESPUESTAS
1	Dosis de irradiación y tipo de alimento.
2	Tipo de alimento, dosis de irradiación, objetivo del proceso, estado del alimento, tipo de radiación y no afectación de la calidad del alimento.
3	Cantidad de radiación, tiempo de exposición del alimento, tipo de alimento, superficie limpia antes de irradiar, y no exposición de las personas.

4	Tiempo de exposición del alimento, cantidad de irradiación, tipo de irradiación, lugar del proceso, tipo de alimento, procedencia y origen del alimento.
5	Tipos de microorganismos patógenos, tipo de enfermedad que produce el patógeno, y tipo de alimento.
6	Tiempo de exposición del alimento.

Nota. Tabla creada por el autor.

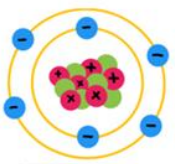
En los argumentos planteados por cada uno de los grupos se puede afirmar que, la mayoría de los equipos llegaba a la misma relación con respecto a algunas variables que consideraban se debían tener en cuenta al momento de irradiar los alimentos, por ejemplo: los equipos 1, 2, 3, 4 y 5, tuvieron en común en su razonamiento que una variable indispensable era el “tipo de alimento a irradiar”, demostrando en su lógica que, dependiendo que alimento se irradie se debía exponer a unas dosis de radiación ionizante específicas, ya que no todos los alimentos son iguales y no tienen los mismos componentes. Ahora, también los grupos 3, 4 y 6, comparten la iniciativa de considerar como variable el “tiempo de exposición del alimento”, mostrando en sus argumentos como realmente el tiempo puede influir para que un alimento quede correctamente irradiado, y de esa manera no este subirradiado o sobreirradiado. Finalmente, es importante destacar que algunas variables solo fueron consideradas por algunos grupos y otros no, como la variable razonada por el equipo 2, la de “objetivo del proceso”, mostrando en su razonamiento que, dependiendo de los objetivos buscados al irradiar un alimento, de eso dependerá y se desprenderán otras muchas variables para lograr cumplir estos objetivos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del ejercicio final propuesto (ver **Figura 15**), específicamente del numeral 1. Ejercicio implementado en la última parte de la segunda actividad del “**Taller 2: Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierta**”. Los resultados se exhiben en la **Gráfica 5**.

ACTIVIDAD

1. Un átomo es ionizado al ser expuesto a rayos gamma, ¿cuál es la **carga iónica neta** del átomo al convertirse en un ion?:

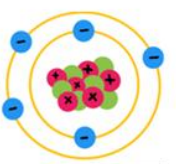
Átomo sin ionizar



Neutrones: 5
Protones: 5
Electrones: 5

→

Átomo ionizado (ion)

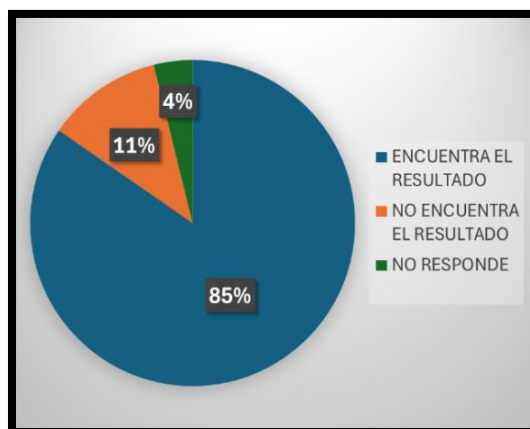


Neutrones: 5
Protones: 5
Electrones: 4

2. Realizar un dibujo que represente como te imaginas que se ioniza el átomo cuando se expone a radiación ionizante, como rayos gamma.

Figura 15: *Ejercicio Final Propuesto (Formato)*

Nota. Imagen creada por el autor.



Gráfica 5: *Frecuencia Relativa (%) de Resultados – Ejercicio Final Parte 1*

Nota. Gráfica creada por el autor.

En la gráfica mostrada previamente, se puede observar como la mayoría de los 26 estudiantes logra hallar la carga iónica neta del átomo al convertirse en un ion, siendo equivalente a un 85% de estudiantes los que lograron encontrar el resultado correcto. Esto demuestra que, la efectividad

del taller fue lo suficientemente eficiente para lograr que gran parte de los educandos entendieran el cómo hallar la carga iónica neta, y entendiesen el porqué. Por otro lado, un 11% no encontró la respuesta correcta, pero además un 4% no respondió absolutamente nada. Esto indica que, hay que seguir mejorando las estrategias de enseñanza para que más estudiantes logren comprender los temas propuestos.

En seguida se muestran dibujos creados por algunos estudiantes, elaborados con intención de mostrar como ellos interpretan que se ioniza el átomo al exponerse a radiación ionizante, como rayos gamma (ver **Figuras 16, 17, 18 y 19**). Esta actividad tenía el objetivo de evidenciar como los estudiantes visualizan la interacción que ocurre entre el átomo y la radiación ionizante para causar la ionización; intervención propuesta en el numeral 2 de este mismo ejercicio final presentado (revisar nuevamente la **Figura 15**).

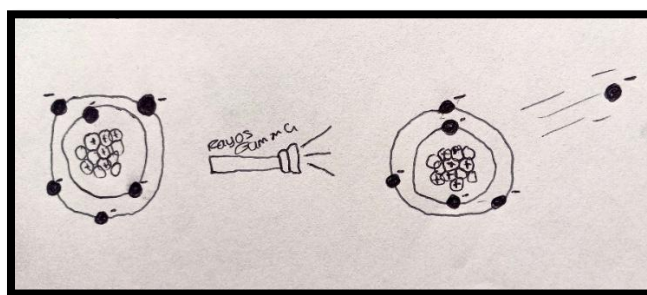


Figura 16: Interpretación Estudiantil n.º 1 de la Ionización del Átomo por Rayos Gamma

Nota. Imagen tomada por el autor.

En la imagen se observa una representación esquemática elaborada por un estudiante, en la cual se ilustra cómo percibe la interacción entre un átomo y la radiación ionizante, particularmente los rayos gamma. El estudiante conserva correctamente la asociación convencional entre la carga negativa de los electrones y la carga positiva de los protones, ubicando ambos componentes en sus respectivas regiones: los electrones girando en órbitas alrededor del núcleo y los protones formando parte del mismo. Además, se representa una fuente de radiación ionizante que emite rayos gamma en dirección al átomo. La interacción con la radiación provoca la expulsión de uno de los electrones de la capa más externa del átomo, lo cual está correctamente ilustrado por el movimiento del electrón fuera de su órbita. Este fenómeno corresponde a una concepción adecuada del proceso de ionización, ya que es precisamente lo que ocurre cuando un átomo es sometido a

este tipo de radiación. En particular, este proceso puede asociarse con el efecto Compton, en el cual la radiación gamma transfiere parte de su energía a un electrón, provocando su liberación.

Este dibujo evidencia no solo una comprensión general de los componentes del átomo, sino también una apropiación inicial y significativa del concepto de ionización, lo cual refleja un avance importante en el aprendizaje del estudiante en torno a los efectos de la radiación ionizante sobre los microorganismos patógenos presentes en los alimentos.

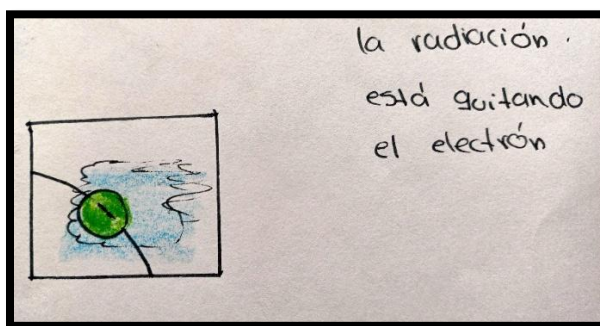


Figura 17: Interpretación Estudiantil n.º 2 de la Ionización del Átomo por Rayos Gamma

Nota. Imagen tomada por el autor.

Esta imagen resulta especialmente interesante, ya que el estudiante representa visualmente la acción de la radiación ionizante identificada como rayos gamma, mediante un trazo que recuerda a un fluido en movimiento. Aunque no es posible saber con certeza si esta elección fue intencional o intuitiva, dicha representación sugiere una comprensión dinámica del fenómeno, en la que la radiación se percibe como algo que "fluye" y actúa sobre el átomo.

En el centro del dibujo se observa un electrón representado en color verde, el cual parece desprenderse como consecuencia directa de la interacción con la radiación. Esta acción está acompañada del enunciado "la radiación está quitando el electrón", lo cual refuerza la idea de que el estudiante ha comprendido que el resultado principal del proceso de ionización es la expulsión de un electrón del átomo. Aunque el dibujo es simple en términos estructurales, refleja una apropiación conceptual básica pero acertada del proceso de ionización, destacando la función activa de la radiación y el papel del electrón como partícula afectada. Este tipo de representación visual es valioso para comprender cómo los estudiantes interpretan fenómenos abstractos desde su propio lenguaje simbólico y creativo.

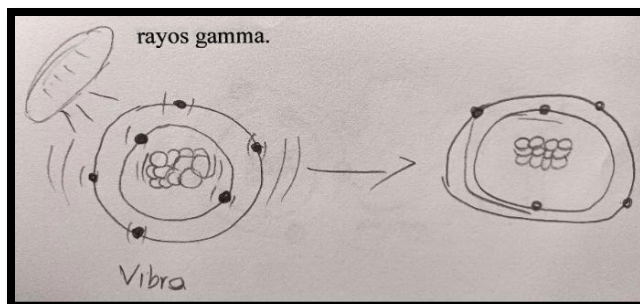


Figura 18: Interpretación Estudiantil n.º 3 de la Ionización del Átomo por Rayos Gamma

Nota. Imagen tomada por el autor.

En esta imagen se observa una representación creativa e interesante, en la cual el estudiante representa al átomo antes de la interacción con una estructura bien definida: un núcleo central rodeado de electrones distribuidos en distintas órbitas. La palabra “vibra” escrita en la parte inferior del dibujo sugiere que, en su concepción, la radiación gamma provoca una especie de perturbación o vibración en el átomo como mecanismo previo a la ionización. Esta idea, aunque no se alinea completamente con la explicación científica del fenómeno, resulta muy valiosa desde el punto de vista formativo, ya que evidencia cómo el estudiante busca interpretar y darle sentido físico a un proceso abstracto. El dibujo también muestra, tras una flecha indicativa del cambio, un átomo al que le falta un electrón en su capa más externa, lo cual representa correctamente el resultado de la ionización.

En suma, esta imagen revela que el estudiante asocia la acción de la radiación con un efecto dinámico y energético sobre la estructura atómica, lo que evidencia una comprensión inicial del concepto de ionización. Este tipo de representación es clave para identificar cómo los estudiantes construyen sus propios modelos mentales a partir de sus intuiciones, conocimientos previos y observaciones, lo cual ofrece una valiosa base para seguir desarrollando sus aprendizajes.

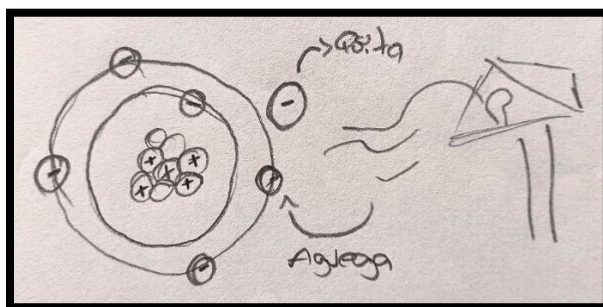


Figura 19: Interpretación Estudiantil n.º 4 de la Ionización del Átomo por Rayos Gamma

Nota. Imagen tomada por el autor.

En esta imagen se observa cómo el estudiante con su dibujo ilustra un átomo con su núcleo central, conformado por neutrones (representados sin signo) y por protones (identificados con signos “+”), y una capa externa de electrones (indicados con signos “-”). A la derecha de la imagen, se incluye una fuente emisora de radiación posiblemente una lámpara o aparato generador de rayos gamma que emite una onda dirigida hacia el átomo.

Lo interesante de esta representación es que el estudiante sugiere dos tipos de interacciones: por un lado, el desprendimiento de un electrón de la capa más externa del átomo (marcado con la palabra “quita”), lo cual es coherente con el fenómeno de ionización causado por radiación gamma; por otro lado, se incluye una flecha que indica un proceso opuesto, rotulada con la palabra “agrega”, insinuando que la radiación también podría añadir un electrón al átomo. Este último detalle revela una concepción alternativa que, aunque no se ajusta al comportamiento físico real de la radiación gamma, la cual ioniza eliminando electrones, y no agregándolos, es valioso desde una perspectiva didáctica. Sugiere que el estudiante está explorando múltiples posibilidades sobre los efectos de la radiación ionizante, lo cual indica un proceso activo de razonamiento y construcción de sentido. En conclusión, esta representación muestra tanto una comprensión acertada de la ionización como un intento de ampliar su interpretación, lo cual constituye una oportunidad pedagógica para afianzar el concepto correcto a través del diálogo y la reflexión guiada.

Conclusiones

Las conclusiones redactadas a continuación evidencian el alcance de los objetivos planteados, además brindan respuesta a la pregunta problema abordada en el marco de esta investigación **“¿Cómo las actividades experimentales enriquecen el aprendizaje de los fenómenos de radiación ionizante, especialmente la irradiación de alimentos, en estudiantes de educación media?”**, por lo tanto, se concluye que:

- Las actividades experimentales centradas en la irradiación de alimentos enriquecen el aprendizaje de los estudiantes sobre el fenómeno de radiación ionizante (ionización) de manera significativa, ya que la utilización de experimentos para la construcción del conocimiento de los estudiantes sobre el fenómeno abordado permitió la enseñanza de estas temáticas de una manera más llamativa, interesante, reflexiva y significativa para los estudiantes, provocando interés en el aprendizaje continuo del educando, porque “Construir experiencia es llenar de sentido una actividad en la que la práctica es un medio de constante reflexión sobre el fenómeno abordado” (García, 2009, p. 34).
- Según los análisis de resultados se evidenció que, las estrategias educativas, actividades experimentales y recursos didácticos implementados tuvieron un impacto positivo en la percepción de los estudiantes sobre los alimentos irradiados, y en su construcción de los conocimientos sobre el fenómeno de radiación ionizante, como la ionización. Ya que, a medida que se brindaba más información precisa y confiable, las percepciones erróneas disminuían y los estudiantes adoptaban una postura más informada, crítica y reflexiva frente a estas temáticas.
- Como señalan Sendra et al. (2001), la irradiación de alimentos suele generar desconfianza debido a la falta de información sobre esta, lo que se corroboró en las percepciones iniciales de los estudiantes en el primer taller. Sin embargo, al finalizarlo los jóvenes mostraron una mayor claridad sobre el proceso, reconociendo sus beneficios y asumiendo una postura más informada, argumentativa, crítica y reflexiva, como se evidenció en las últimas encuestas.

Finalmente, aún persistía desconfianza sobre el consumo de los alimentos irradiados por parte de algunos alumnos, lo que indica el deber de seguir buscando nuevas estrategias.

- A pesar de que en el primer taller se registró un avance significativo en la comprensión del tema, los resultados de la encuesta final revelaron que algunos estudiantes continuaban experimentando dudas y preocupaciones respecto a la irradiación de alimentos. No obstante, tras la realización del segundo taller, dichas inquietudes disminuyeron considerablemente. Esta segunda intervención, al profundizar en los aspectos técnicos y contextuales de la irradiación de alimentos (tal como se evidenció en la **Tabla 9**), brindó a los estudiantes la oportunidad de explorar con mayor detalle el proceso y sus implicaciones. En consecuencia, la mayoría de las dudas y desconfianzas iniciales se disiparon, lo que subraya la relevancia de articular ambos talleres de manera complementaria. Así, la secuencia propuesta en este trabajo de grado demostró ser fundamental para consolidar un aprendizaje más sólido y reflexivo sobre la irradiación de alimentos.
- En términos generales, los resultados obtenidos en ambos talleres fueron altamente satisfactorios, como se evidenció en el Capítulo 6 de este documento. La mayoría de los estudiantes logró alcanzar los objetivos de aprendizaje propuestos, lo que demuestra la efectividad de la propuesta didáctica implementada en el aula. Esta experiencia no solo facilitó la comprensión del fenómeno de la ionización asociado a la radiación ionizante, sino que también permitió una apropiación más informada del concepto de irradiación de alimentos. No obstante, una pequeña minoría de estudiantes no logró cumplir con los objetivos establecidos, lo cual también quedó reflejado en los mismos resultados. Este hecho resalta la necesidad de seguir fortaleciendo y refinando las estrategias pedagógicas utilizadas, con el fin de garantizar que un mayor número de estudiantes logre comprender adecuadamente los contenidos propuestos. Así, este trabajo de grado no solo evidencia un impacto positivo, sino que también abre el camino para futuras mejoras en la enseñanza de temas complejos como la irradiación y la radiación ionizante en el contexto educativo.
- A modo de reflexión y conclusión final, es fundamental destacar que, la experimentación no es el único medio mediante el cual las personas interactúan con la física; de hecho, esta interacción ocurre constantemente, desde el momento en que alguien se levanta de su cama

hasta que finaliza su jornada y regresa a ella. En otras palabras, los seres humanos están en contacto permanente con fenómenos físicos a lo largo de su vida cotidiana, aunque muchas veces de manera inconsciente. Es precisamente en este punto donde la experimentación en el aula cobra un valor pedagógico significativo. Sin embargo, no se trata de cualquier tipo de experimentación, sino de aquella que logra establecer un vínculo directo con el contexto y la cotidianidad del estudiante. Este tipo de experiencias no genera la interacción con la física, porque dicha interacción ya existe, sino que tiene el poder de visibilizarla, haciéndola comprensible y cercana. Por tanto, la función más relevante de la experimentación en el entorno educativo no es introducir al estudiante en el mundo de la física, sino ayudarlo a reconocer, comprender y reflexionar sobre esa interacción que ya forma parte de su realidad diaria. En este sentido, la experimentación contextualizada se convierte en una herramienta clave para transformar la percepción del estudiante, haciéndolo más consciente de su entorno y del papel fundamental que ya desempeña la física en su vida.

REFERENCIAS

[1] Bohórquez Guevara, V. (2024). Desafíos en la Enseñanza de la Física: Análisis a partir de una Revisión Bibliográfica. *Revista Ciencia Latina*, 8(1), 8702-8715.

<https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/10202>

[2] Colegio Alfonso López Michelsen. (n.d.). Colegio Alfonso López Michelsen Primaria Jornada Tarde. Primaria Tarde Alfonso López IED.

<https://primariatardealfonsolopezied.jimdofree.com/contacto-directo-y-sugerencias/>

[3] Colegio Alfonso López Michelsen. (n.d.). Escudo Colegio Alfonso López Michelsen. IED Alfonso López Michelsen. <https://alfonsolopezmichelsen.wordpress.com/>

[4] Cahuana Páez, C. (2006). Aplicación de Radiación Gama para la Purificación Microbiológica de Aguas Contaminadas con Bacterias Coliformes (E. Coli). Uniandes.

<http://hdl.handle.net/1992/25345>

[5] Carrascosa, J., Pérez, D., Vilches, A., & Valdés, P. (2006). Papel de la actividad experimental en la educación científica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 23(2), 157-181.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5166022>

[6] Casco, M. (2021). Aplicación de Irradiación Gamma, Ultrasonido y Antimicrobianos Naturales para el Aseguramiento de la Calidad Integral e Inocuidad de Bebidas a Base de Frutas y Verduras. Universidad de Buenos Aires.

<http://bibliotecadigital.fi.uba.ar/items/show/18276>

[7] CNEA. (n.d.). Irradiación de alimentos. <https://www.argentina.gob.ar/cnea/Tecnologia-nuclear/irradiacion-gamma/irradiacion-de-alimentos>

[8] Éxito. (n.d.). Pasabocas DORITOS Flamin Hot (175 gr). <https://www.exito.com/pasabocas-flamin-hot-doritos-175-gr-200948/p>

- [9] Fernández de Bobadilla, V. (2020). Alimentos Irradiados, la Protección Desconocida. *Revista Alfa*, 1(43), 20-25. *407f2161-47d8-4937-0053-f1825e4fa39f (csn.es)
- [10] FDA. (2016). La Irradiación de Alimentos: Lo que Usted Debe Saber. <https://www.fda.gov/media/81266/download>
- [11] Fernández Martínez, A. (1991). Mecanismos Físicos y Biológicos de la Irradiación de Alimentos. *Revista Ciencia y Sociedad*, 16(4), 376-389. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7473275>
- [12] Abril, J. (2018). Introducción a la Irradiación Gamma de Alimentos y Desarrollo Tecnológico en Colombia. *Revista de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, 1(2), 5-14. <https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.2.2018.49>
- [13] Galindo, A. (2024). ¿Qué es la Radiación? International Atomic Energy Agency. <https://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-radiacion>
- [14] Gómez, Y. & Villalobos, F. (2014). *Competencias para la Formulación de un Proyecto de Investigación*. Editorial Investic. https://www.academia.edu/28504011/Competencias_para_la_formulaci%C3%B3n_de_un_proyecto_de_investigaci%C3%B3n_Proyecto_Maestro_Investigic
- [15] Ministerio de la Protección Social. (2004). Resolución Número 2652 de 2004. https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/RESOLUCI%C3%93N%202652%20DE%202004.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [16] OIEA. (n.d.). Irradiación de Alimentos. <https://www.iaea.org/es/temas/irradiacion-de-alimentos>

[17] Olímpica. (n.d.). PBOCA DORITOS DINAMITA FLAMIN HOT 200g. <https://www.olimpica.com/pboca-doritos-dinamita-flamin-hot-200g/p>

[18] Payer, M. (2019). Teoría del Constructivismo Social de Lev Vygotsky en Comparación con la Teoría Jean Piaget. Docencia Digital. <https://www.docenciadigital.unam.mx/material/15858/teoria-del-constructivismo-social-de-lev-vygotsky-en>

[19] Romero, A. & Amelines, P. (2017). La Experimentación en el Aula. Aportes de la Naturaleza de las Ciencias. En A. Romero (Ed.), *La Experimentación en la Clase de Ciencias: Aportes a una Enseñanza de las Ciencias Contextualizada con Reflexiones Metacientíficas* (pp. 15-30). Editorial Universidad de Antioquia. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/7034>

[20] SGC. (2023). El Único Reactor Nuclear que Hay en Colombia. <https://www2.sgc.gov.co/Noticias/tpaginas/Hoja-informativa-Reactor-Nuclear-SGC.pdf>

[21] Sendra, E., Capellas, M., & Guamis, B. (2001). Alimentos irradiados. *Revista Arbor*, 168(661), 129–153. <https://doi.org/10.3989/arbor.2001.i661.826>

[22] Suárez, R. (2001). Conservación de Alimentos por Irradiación. *Revista Invenio*, 4(6), 85-124. <https://www.redalyc.org/pdf/877/87740608.pdf>

[23] Vargas, L. (1994). Sobre el Concepto de Percepción. *Revista Alteridades*, 8(4), 47-53. <https://www.redalyc.org/pdf/747/74711353004.pdf>

[24] Viviescas, A., & Sacristán, Y. (2020). La Experimentación en las Ciencias Naturales y su Importancia en la Formación de los Estudiantes de Básica Primaria. *Revista Bio-grafía*, 13(24). <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.12.num24-10361>

ANEXOS

Anexo 1

Entrevista con Jormagn Israel Abril, Operador de Planta de Irradiación del SGC

Entrevistado: Jormagn Israel Abril

Entrevistador: Dunkan Stwar Estrada Francis

Enlace entrevista completa: [Entrevista con Jormagn Israel Abril, Operador de Planta de Irradiación del SGC.m4a](#)

Entrevista:

Dunkan Estrada: ¡Buenas tardes, señor Jormagn! Gracias por la oportunidad de brindarme el espacio de la entrevista, me gustaría que te presentaras.

Jormagn Abril: Bueno, Dunkan, gracias por la oportunidad de hacer esta entrevista. Para mí siempre va a ser un placer poder colaborarles a todos los compañeros, estudiantes, académicos que estén interesados en el tema, incluso creo que nos falta desarrollar mucho más este tema a nivel académico de investigación en el país, es por eso que pues empecemos digamos a fortalecer esta comunidad. Mi nombre es Jormagn Abril, soy ingeniero químico y tengo una especialización en ciencia y tecnología de los alimentos. He trabajado en irradiación de alimentos específicamente en un proyecto en la época que hice la especialización en 2015, lo publicamos en 2017, que fue la irradiación de semillas de Sacha Inchi. Es un producto de interés nacional para la reincorporación de agentes, digamos, que hacían parte de guerrillas en el país. Entonces esta esta semilla tenía unos riesgos, digamos, de contaminación al igual que muchas semillas como el maní por su alto contenido de omegas en los aceites esenciales y el estudio, digamos, de esta semilla por sus características de o de susceptibilidad a la oxidación de los aceites esenciales pues nos permitió averiguar de una manera acertada que la radiación gamma es un procedimiento eficiente y válido para tratar estos materiales con fines de conservación comercial y para asegurar este alimento frente a la salubridad de los consumidores. También he tenido experiencia en otros proyectos que me han invitado, en irradiación, digamos, de papa y de semillas de arroz para mejoramiento genético. En eso

participé en la dosimetría de esos proyectos con el profesor Luis Quevedo de la Universidad Distrital, algún día podremos tener la oportunidad de presentarte con el señor Luis Quevedo. De los tantos científicos que quedaron del Instituto de Asuntos Nucleares, pues este profesor quedó como docente de la Universidad Distrital y pues otros expertos en el tema pues ya no están vigentes, están pensionados, están en otro país, se han ido a otras empresas desde la liquidación del antiguo Instituto de Asuntos Nucleares a lo que venimos ahorita llamándolo Dirección de Asuntos Nucleares del Servicio Geológico Colombiano, porque pues varios de ellos venían desde esa época y hubo como un hueco ahí en el que no hubo una renovación generacional para la continuidad del conocimiento. Entonces, somos varios jóvenes que venimos trabajando ya hace 15, 20 años en estas instalaciones, y que hemos adquirido una experiencia empírica, una experiencia también académica gracias al convenio que el país tiene con el Organismo Internacional de Energía Atómica. Sin el Organismo Internacional de Energía Atómica, estas capacidades se hubieran muerto literalmente, porque la única oportunidad que tenemos para aprender cosas nuevas, participar en cursos en el extranjero, donde la tecnología sí se lleva a cabo hace años atrás de una manera casi industrial es esa.

Dunkan Estrada: Gracias, señor Jormagn. La primera pregunta dice lo siguiente: ¿cómo es el proceso físico, químico y biológico que se da para acabar con los microorganismos patógenos presentes en los alimentos al momento de irradiarlos?

Jormagn Abril: Listo, gracias. Debería de pronto hacer una pequeña introducción al tema de irradiación de alimentos. Los alimentos se irradian con fuentes o con máquinas aceleradoras de electrones para producir electrones, haces de electrones o rayos x, con el fin de conservar y con el fin de esterilizar o descontaminar. Nosotros sabemos que estos organismos patógenos están presentes en todo material biológico y en particular en los alimentos pueden afectar su calidad y pueden afectar su salubridad. Entonces, estos tipos de microorganismos, tanto los patógenos como los que ayudan o aportan al deterioro de la calidad de los alimentos, pueden ser tratados con radiación gamma. En principio, físicamente hablando, la radiación gama ataca de dos maneras, la radiación gama al impactar, digamos, con las moléculas del alimento o las del germen o el patógeno que estemos tratando, va a generar una interacción que podemos llamar directa o que podemos llamar de manera indirecta. Entonces, cuando la radiación ataca

de manera directa, podemos hablar, por ejemplo, cuando hablamos de haces de electrones, ¿por qué? Porque estos elementos, estos electrones son partículas con carga y con masa, e interactúan químicamente hablando con estos enlaces y de manera directa pueden generar un rompimiento de estos enlaces por la producción de radicales libres y de estos iones que hacen parte de, digamos, de toda esa cadena de reacciones químicas que se dan en el elemento o en el alimento. Pero a nivel físico lo primero que pasa es una interacción directa o indirecta que se da de esta manera, entonces si yo hablo de una interacción directa como el caso de los electrones, entonces directamente vamos a romper los enlaces fosfatos del ADN, que son los que tienen unidas las cadenas y que permiten conservar la información para la reproducción y la supervivencia de estas especies. Pero si hablamos de un daño indirecto es cuando entra la radiación, el fotón gamma, por ejemplo, que no tiene ni masa ni carga, y dada su energía ionizante puede interactuar con los electrones del medio, los iones y radicales libres que ya estén presentes en ese alimento y ponerlos en movimiento. Al ponerlos en movimiento, ellos empiezan a interactuar con una alta energía, con otras moléculas de ese de lo que queremos atacar, y van a hacer el rompimiento. Entonces, ustedes me preguntaron, bueno, pero, ¿por qué el rompimiento ya a nivel químico se da en el ADN de manera selectiva y no se da en las moléculas del alimento como tal? Entonces, ahí tenemos que ver un poquito de la radio sensibilidad química de los elementos. Entonces, cuando tenemos enlaces de fosfato, son enlaces que son más radiosensibles que unos enlaces de carbohidrato, por ejemplo, que tienen unas uniones diferentes, entonces por lo mismo por la misma naturaleza biológica del ADN su radio sensibilidad es mayor que una molécula de alimento que también hace, que podrá ser parte de nuestro cuerpo más adelante como aminoácidos, carbohidratos, grasas, triglicéridos, y todos los elementos menores que tienen que ver con vitaminas y demás. Claramente sí hay una afectación en el alimento, no todo es perfecto, pero de esto vamos a hablar también de que la radiación es un método muy eficaz comparado con otros que son, digamos, tratamientos que se usan a otras escalas, como por ejemplo la cocción de alimentos que la venimos usando desde la prehistoria. Y a nivel biológico, ya es lo que estamos hablando, digamos, acá, que es el rompimiento ya directamente del ADN, y cómo el ADN que está roto no puede replicar la información necesaria para la reproducción y la conservación de la vida. Esos tres eventos suceden en diferentes tiempos, la interacción física es de nanosegundos o de angstromsegundos, o sea, son de picosegundos o nanosegundos. La interacción química puede ser del

orden de 1 por 10 a la menos 6, 1 por 10 a la menos 4, dependiendo de la molécula, dependiendo de la energía, la interacción, si hay blindajes o autoblandajes, etcétera. Y a nivel biológico los efectos, dependiendo si la vida es más o menos compleja, su estado, digamos, el estado de la fruta en el que se va a irradiar o el estado del germen en el que se encuentra. Si estamos hablando de un esporulado, las dosis de radiación tienen que ser distintas o superiores a un germen que esté en su estado viable. Entonces, ahí hay unas diferencias que por lo por lo que no podemos simplemente aplicar esa tecnología con lo que sabemos, sino que dependiendo del alimento o de lo que queremos irradiar, tenemos que investigar ese elemento en específico para saber cómo se comporta frente a la radiación y desde el punto de vista físico, químico y biológico.

Dunkan Estrada: Muchas gracias. Te quería preguntar, ¿digamos que se podría decir que todo inicia desde la ionización del átomo?

Jormagn Abril: Primero que todo, digamos que sí, a nivel del alimento, cuando hablamos, porque ya estamos entrando en el tema de las dosis de radiación, entonces si yo digo, yo le impartí una dosis de radiación a este material, esa dosis de radiación entra a interactuar con las capas superiores, normalmente superiores de los átomos, ¿cierto? ¿Por qué hablo de superiores? Porque con cobalto 60 tenemos ese efecto Compton, ahí tocaría investigar un poquito porque hay tres efectos de interacción con la materia. A bajas energías y números atómicos pequeños tenemos ese efecto fotoeléctrico. Si tenemos números atómicos intermedios y unas energías superiores, estamos hablando ya del orden de kiloelectronvoltios, megaelectronvoltios, pues ya tenemos ese efecto Compton, y el efecto Compton es muy parecido a la física de choque de partículas. Entonces, entra una partícula, choca, y si la energía es lo suficiente, pues entonces arranca los electrones de capas superiores, pero el efecto fotoeléctrico interactúa directamente con las capas inferiores del átomo, entonces es diferente el efecto fotoeléctrico y su interacción al del Compton. Y posterior ya tenemos lo que es la producción de pares, que es ya cuando tenemos eventos de activación de la materia y con la energía del cobalto, y la mayoría de elementos que tratamos no se da, o la probabilidad de que se dé la producción de pares es inferior a un 0.1, creo.

Dunkan Estrada: Muchas gracias nuevamente por tu respuesta, la siguiente pregunta es la siguiente: ¿qué mitos existen alrededor de la irradiación de alimentos y cómo se pueden desmentir desde un punto de vista científico?

Jormagn Abril: De acuerdo. Bueno, en este tema, hay dos mitos que siempre son recurrentes. El primero es si los alimentos son contaminados con material radioactivo. Técnicamente hablando es imposible que se dé eso porque nuestras fuentes son selladas. Esa tecnología usa fuentes selladas, y es de doble encapsulado, entonces lo que significa es que la interacción se limita a los fotones y es muy parecido a tomar una radiografía. Entonces los fotones salen de la máquina, no tienen masa, no tienen carga e interactúan con la materia, entonces no hay forma de que haya un aumento de materiales, una contaminación cruzada con material radioactivo en nuestro proceso, no hay posibilidad. La siguiente que hablan mucho es si los alimentos pueden quedar activados, los alimentos no quedan activados por lo que acabo de explicar ahorita, el cobalto 60, que es el radio núcleo que se utiliza para la aplicación, la energía promedio que emana, digamos, de su decaimiento es 1.3 megaelectron-volts, redondeando. Ese 1.3 megaelectron-volts, cuando usted va por allá a unos datos, a unas gráficas que ya se han hecho al respecto, no da una probabilidad de activación, que es el siguiente fenómeno que explicaba ahorita, que es el de producción de pares. Entonces, como no hay producción de pares para los elementos que estamos tratando, ¿y qué elementos estamos tratando en alimentos? Carbono principalmente, oxígeno o los carbohidratos, hidrógeno. Carbono, oxígeno, hidrógeno es lo que más consumimos nosotros, después nitrógeno, entonces tenemos 4 elementos y esos 4 elementos tienen un número atómico muy bajo, entonces la interacción con el núcleo es muy baja, porque también tenemos que entrar en teoría de lo que es la probabilidad de interacción con el núcleo que tiene que ver con la sección eficaz del núcleo. Entonces, la sección eficaz de núcleos tan pequeños es muy baja, entonces no vamos a tener interacción con el núcleo, que es lo que nos preocupa en la activación. Si nosotros irradiáramos aquí uranio, por ejemplo, vamos a exagerar, vamos a irradiar uranio, tendríamos que hacer un estudio de activación probablemente, porque el uranio tiene una sección eficaz, que es una probabilidad de activación mucho más alta a esas energías. Pero eso depende del elemento y para eso hay tablas y gráficas que nos da, digamos, la literatura científica. Entonces eso no se va a dar y nunca se ha dado en una planta gama. Tampoco se da con electrones, que

es la otra tecnología, porque los electrones pueden manejar energías superiores a 1.3 megaelectron-volts. Vamos a hablar de energías de los electrones de hasta 10 megaelectron-volts, y la FAO, el Organismo Internacional de Energía Atómica, y la OMS, que son las 3 organizaciones de la ONU que tienen que ver con este tema, han sacado algo que se llama el CODEX alimentarius y han definido que estas dosis de radiación a esas energías de 10 megaelectron-volts son seguras para los alimentos, para la mayoría de alimentos. Si tienen trazas de plomo, tienen trazas de otros elementos y demás, podría ser que se dé ese problema, pero todo eso normalmente se está controlando y el acelerador de electrones ellos también controlan la activación más que todo de las piezas del del irradiador, entonces por ese lado tampoco.

Dunkan Estrada: Muchas gracias, señor Jormagn. Agradezco el espacio, tiempo y conocimiento brindado el día de hoy.

Anexo 2

Taller 1 (Paso a Paso) - Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto

Nombre del taller	Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto
<p>Introducción</p>	<p>Este primer taller está orientado a la construcción de la idea sobre irradiación de alimentos; comenzando por familiarizar a los estudiantes con la conservación de alimentos, luego adentrarlos a la idea de radiación y como está interactúa con la materia, y finalmente dar un primer acercamiento a lo que es la irradiación de alimentos, funcionamiento y beneficios.</p>
<p>Objetivo de enseñanza</p>	<p>Explicar y construir la idea sobre irradiación de alimentos, utilizando diferentes actividades interactivas para familiarizar a los estudiantes con conceptos previos y necesarios para la construcción y comprensión de la irradiación de alimentos.</p>
<p>Objetivo de aprendizaje</p>	<p>El estudiante podrá describir que es la conservación de alimentos y algunas de sus técnicas más utilizadas; entender que es la radiación y su distinción entre ionizante y no ionizante, así como algunas de las fuentes que las emiten; comprender el término “irradiación de alimentos”, su funcionamiento, efectos a una escala macroscópica y beneficios.</p>
<p>Actividad 1</p> <p>Nombre <i>Desafío Cerebral:</i> <i>Preguntas que te Harán Pensar</i></p> <p>Objetivo <i>Buscar reconocer y familiarizar al estudiante con la conservación de alimentos, por medio de los distintos pasos planteadas en la actividad 1.</i></p> <p>Tiempo <i>30 minutos</i></p>	<p>Paso 1: Realizar y entregar a los estudiantes una encuesta impresa de una sola pregunta creada con la aplicación “Canva” con la opción múltiple de respuesta “Sí”, “Tal vez” o “No”, además de contener una casilla para escribir el “¿Por qué?” de su respuesta. La interrogante introductoria es la siguiente: “¿Comerías un alimento irradiado?”.</p> <p>Paso 2: Organizar un juego llamado “Preguntas Alimenticias” en el que los estudiantes se dividan en máximo seis equipos. Cada equipo toma turnos para hacer girar una ruleta que, al detenerse, selecciona al azar un número del 1 al 6. Cada número está asociado a una pregunta específica sobre la conservación de alimentos en situaciones cotidianas. Los equipos deben discutir y elaborar una respuesta basada en la pregunta que obtuvieron. Una vez que tengan su respuesta, un representante de cada equipo, elegido por sus compañeros, la presenta al resto de la clase.</p> <p>Paso 3: Ofrecer una introducción detallada mediante una charla sobre la conservación de alimentos, por parte del docente, centrándose en los factores que contribuyen a su deterioro como los microorganismos patógenos. Así mismo, mencionar algunos otros métodos de conservación</p>

	<p>como el térmico y el de adición de conservantes químicos, además dejando en abrebocas uno que es por “Irradiación”, sin profundizar nada por el momento en este.</p>
<p style="text-align: center;">Actividad 2</p> <p style="text-align: center;">Nombre <i>Acercamiento a la Interacción de la Radiación con la Materia</i></p> <p style="text-align: center;">Objetivo <i>Proporcionar un acercamiento al estudiante sobre la interacción de la radiación con la materia, mediante los pasos propuestos en la actividad 2.</i></p> <p style="text-align: center;">Tiempo <i>40 minutos</i></p>	<p>Paso 1: Explicar “¿qué es la radiación?”, y cómo esta se divide entre radiación ionizante y no ionizante; luego, para ayudar a comprender sus características fundamentales y diferencias clave, se proporciona un cuadro comparativo.</p> <p>Paso 2: Identificar algunas formas de radiación clasificadas como no ionizantes, como la luz visible, infrarroja y ultravioleta. Se enfatiza en la radiación ultravioleta, posteriormente, se aborda los tres espectros de la radiación ultravioleta, destacando sus aplicaciones cotidianas y diferencias; entre estas, la longitud de onda y los niveles de riesgo asociados.</p> <p>Paso 3: Presentar el montaje experimental, que consiste en una fuente de rayos UV-A ubicada dentro de una caja negra cerrada, equipada con una pequeña puerta retráctil para introducir y retirar objetos; también incluye una ventana de observación para que los estudiantes puedan ver lo que ocurre dentro de la caja. Se explica qué tipo de rayos UV se están utilizando en esta demostración. A continuación, se introduce un billete para verificar su autenticidad, ilustrando un uso común de los rayos UV-A, y una hoja negra con trazos realizados con marcador fluorescente. Los estudiantes observan a través del tubo de visualización para ver cómo estos objetos se comportan cuando están expuestos a la radiación ultravioleta, notando los efectos visibles de la fluorescencia.</p> <p>Paso 4: Realizar una retroalimentación de la experiencia planteando preguntas a los estudiantes, como: ¿Qué observaron?, y ¿por qué creen que sucede esto? Tras escuchar sus respuestas y reflexiones, se ofrece una breve explicación sobre el fenómeno físico que se observa durante el experimento y como esto también demuestra la interacción de la materia con la radiación.</p>
<p style="text-align: center;">Actividad 3</p> <p style="text-align: center;">Nombre <i>Acercamiento a la Irradiación de Alimentos</i></p>	<p>Paso 1: Nombrar algunas radiaciones clasificadas como ionizantes (Rayos x, Rayos Gamma, Partículas subatómicas, Etc.), y se profundiza en los Rayos Gamma. Luego, se habla sobre ¿qué son?, ¿qué los emite?, y ¿cuáles son sus usos?</p> <p>Paso 2: Llevar a cabo una nueva experiencia con el mismo montaje anterior, pero con algunos factores diferentes. Se les pide a los estudiantes que usen su imaginación, ya que se plantea una situación en la que el</p>

<p>Objetivo</p> <p><i>Acercar al estudiante a la idea de irradiación de alimentos por medio de los distintos pasos propuestas en la actividad 3.</i></p> <p>Tiempo</p> <p><i>30 minutos</i></p>	<p>montaje ya no es una fuente de rayos UV-A, sino una fuente de rayos gamma. Se procede a tomar una manzana marcada con varios puntos de marcador fluorescente en toda su superficie y se coloca dentro del montaje. Posteriormente, se les solicita a los estudiantes que observen a través de la ventana del montaje. Verán que los puntos fluorescentes de la manzana brillan bajo la luz UV, y se les sugiere que piensen en esos puntos como si fueran microorganismos patógenos en la superficie del alimento. Luego, se retira la manzana para limpiarla con agua y alcohol, borrando los puntos fluorescentes, y nuevamente se introduce en el montaje, pero invitando a los estudiantes a imaginar que nunca fue retirada. Finalmente, se les propone que miren nuevamente por el tubo, donde verán que ya no hay puntos brillantes, simbolizando que los microorganismos patógenos han sido eliminados. Esta experiencia busca ilustrar cómo las radiaciones ionizantes pueden ayudar a la conservación de los alimentos, eliminando los microorganismos perjudiciales.</p> <p>Paso 3: Reflexionar sobre la actividad experimental realizada anteriormente, se plantean preguntas como: ¿qué observaron?, ¿por qué creen que desaparecieron los microorganismos?, y ¿consideran seguro consumir un alimento que ha sido tratado con rayos gamma? Tras escuchar las respuestas de los estudiantes, se explica que el proceso de aplicación de rayos gamma a los alimentos, con intención de acabar con los microorganismos patógenos presentes en este, se le conoce como “irradiación de alimentos”. Se aclara que este término se refiere simplemente al proceso de aplicar radiación ionizante a los alimentos con intención de desinfectarlos o esterilizarlos de todo microorganismo presente en el alimento que sea peligroso para el consumidor. Después, para concluir la reflexión, se discuten los beneficios asociados con el uso de la irradiación de alimentos, como su efectividad para eliminar microorganismos y prolongar la vida útil de los alimentos. Finalmente, con los mismos seis equipos formados previamente, se lleva a cabo un juego llamado “Cartas Beneficiosas” que consiste en encontrar parejas de cartas relacionadas entre sí. Las cartas están diseñadas de modo que una carta contiene una pregunta sobre un beneficio de la irradiación de alimentos, y la carta correspondiente tiene la respuesta a esa pregunta. Todas las cartas se colocan boca abajo y los equipos se turnan para voltear dos cartas, buscando hacer coincidir la pregunta con su respuesta correspondiente. Si un equipo encuentra un par coincidente, se lo queda y</p>
---	--

recibe un turno adicional. Si las cartas no coinciden, se vuelven a poner boca abajo y el turno pasa al siguiente equipo. El juego termina cuando se han encontrado todas las parejas, y el equipo que haya obtenido más pares es el ganador. Cabe resaltar que, todas las parejas de cartas tienen un dibujo representativo de un alimento, esto para que sea mucho más fácil recordar o reconocer las preguntas con sus respuestas correspondientes.

Paso 4: Evaluar a los estudiantes con otra encuesta impresa creada en Canva que contenga la misma pregunta realizada al principio de la actividad 1, con las mismas tres opciones de respuesta, así como su casilla de “¿Por qué?”.

Paso 5: Finalización del taller con los agradecimientos por la participación de todos los estudiantes.

Anexo 3

Taller 2 (Paso a Paso) - Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierta

Nombre del taller	Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierta
<p align="center">Introducción</p>	<p>Este es el segundo taller realizado, el cual es complementario y posterior al taller 1 “Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierta”. En este segundo taller se abordan temas relevantes sobre la sensibilización, información y disciplinares de la irradiación de alimentos, como: el símbolo de Radura, el “artículo 9. <i>Irradiación de alimentos</i>” de la “Resolución Número 2652 de 2004”, alimentos irradiados llegados a Colombia, unidades de medida de la radiación ionizante, algunos tipos de microorganismos patógenos, variables a considerar en la irradiación de alimentos e ionización.</p>
<p align="center">Objetivo de enseñanza</p>	<p>Enseñar el proceso de ionización, por medio de la irradiación de alimentos y clarificar todo lo relacionado frente a estas, utilizando recursos audiovisuales y actividades prácticas.</p>
<p align="center">Objetivo de aprendizaje</p>	<p>El estudiante podrá describir el proceso de ionización desde el modelo atómico de Bohr; encontrar la carga iónica neta de un ion; comprender la problemática actual de la irradiación de alimentos, adquirir una postura crítica frente a estos y variables a considerar; reconocer el nombre de algunos microorganismos patógenos y en que alimentos habitan principalmente.</p>
<p align="center">Actividad 1</p> <p align="center">Nombre</p> <p align="center"><i>La Irradiación de Alimentos y los Microorganismos Patógenos</i></p> <p align="center">Objetivo</p> <p align="center"><i>Sensibilizar y profundizar sobre los alimentos irradiados y las variables a considerar al irradiarlos; además, reconocer algunos microorganismos patógenos y en que alimentos frecuentan.</i></p>	<p>Paso 1: Recordatorio o aclaración del término técnico de “Irradiación de Alimentos” que en palabras simples significa “Acción de aplicar radiación ionizante a los alimentos”.</p> <p>Paso 2: Observación de un video sobre sensibilización e información con respecto a la Irradiación de alimentos, llamado “Tecnología nuclear: irradiación de alimentos” publicado en la plataforma de YouTube por la Comisión Nacional de Energía Atómica.</p> <p>Paso 3: Muestra y explicación sobre el símbolo internacional de “Radura” que es obligatorio para todo alimento irradiado para identificarlos.</p> <p>Paso 4: Explicación y muestra del reactor nuclear y planta de irradiación que existe en Colombia, por medio de imágenes; aclarando que a pesar de tener estos, acá en Colombia no se irradian alimentos, sin embargo, se deja la inquietud de que el hecho de que no se irradian en el territorio, no significa que no lleguen alimentos irradiados de otro país.</p>

<p style="text-align: center;">Tiempo <i>50 minutos</i></p>	<p>Paso 5: Información y explicación de la “Resolución Número 2652 de 2004” sobre el “artículo 9. <i>Irradiación de alimentos</i>” del Ministerio de la Protección Social.</p> <p>Paso 6: Evidencia sobre un ejemplo de un alimento irradiado en Colombia (Doritos Flamin Hot) que medio cumple con la normativa y regulación internacional, pero sí cumple la normativa colombiana.</p> <p>Paso 7: Reproducción de un video didáctico creado con inteligencia artificial, donde Cristiano Ronaldo menciona y destaca algunos aspectos positivos de la irradiación de alimentos.</p> <p>Paso 8: Explicación y profundización sobre lo dicho por Cristiano Ronaldo, además de la mención de las unidades de medida de la radiación ionizante.</p> <p>Paso 9: Realización del juego llamado “Microorganismos al Descubierto”, donde:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Agrupación de los estudiantes en 6 equipos distintos.2. El docente entrega una hoja a cada grupo con la siguiente pregunta escrita allí: “¿Qué variables consideran que se deben tener en cuenta al irradiar un alimento?”.3. Asignación de un rol a cada miembro del equipo, utilizando la técnica de Los Seis Sombreros para Pensar, propuesta por Edward de Bono.4. Entrega de una fruta y papel con contenido de la siguiente información: nombre de un microorganismo patógeno, descripción del microorganismo, alimentos en los que se le asocia, supuesta dosis de radiación ionizante y tiempo de exposición para acabar con el microorganismo.5. Explicación sobre las figuras representativas de cada microorganismo patógeno que se encuentran dibujadas en las distintas frutas entregadas a cada grupo, ya que cada fruta posee un dibujo característico que representa el microorganismo dado junto con el papel; este dibujo solo se puede observar al exponerlo a la lámpara de luz UV-A.6. Utilización del modelo experimental por turnos en cada equipo, con intención de esterilizar el alimento al exponerlo en las dosis y tiempo necesario indicadas en los documentos; se considera imaginar que el montaje es un irradiador de alimentos dotado con una fuente de rayos gamma.
--	--

	<ol style="list-style-type: none"> 7. Socialización en cada grupo sobre la pregunta inicialmente planteada y entrega de la respuesta en una hoja por grupo, al docente. 8. Reproducción del video de Homero Simpson creado con inteligencia artificial, nombrando las variables a considerar, y explicación del docente sobre la pregunta planteada para finalizar la primera actividad.
<p style="text-align: center;">Actividad 2</p> <p style="text-align: center;">Nombre <i>Comprendiendo la Ionización</i></p> <p style="text-align: center;">Objetivo <i>Explicar el proceso de la ionización y como obtener la carga iónica neta de un ion.</i></p> <p style="text-align: center;">Tiempo <i>50 minutos</i></p>	<p>Paso 1: Mención sobre el hecho de que el proceso para acabar con los microorganismos patógenos inicia desde algo llamado “ionización”.</p> <p>Paso 2: Explicación de la estructura y partes del modelo atómico de Bohr, por medio de una imagen representativa.</p> <p>Paso 3: Aclaración de que son los iones y tipos de estos “anión y catión”, así como sus características distintivas.</p> <p>Paso 4: Explicación del proceso de la ionización desde el modelo atómico propuesto por Bohr, por medio de dibujos digitales creados por el docente.</p> <p>Paso 5: Esclarecimiento de cómo obtener o saber la carga iónica neta de un ion, por medio de dibujos digitales representativos creados por el profesor.</p> <p>Paso 6: Reproducción de una canción llamada “Recuerda...” creada con inteligencia artificial y entrega a los estudiantes de una hoja con la letra de la canción, donde se explica como es el proceso de la ionización, esto con intención de completar y repasar lo ya dicho anteriormente para despejar cualquier duda posible.</p> <p>Paso 7: Se propone una actividad con intención de evaluar y reforzar el aprendizaje sobre la ionización:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Solicitud a los estudiantes para que se realice la actividad individualmente. 2. Entrega de una hoja a cada estudiante con una actividad a resolver; primero, con la imagen representativa de un ion se propone el siguiente ejercicio: “Un átomo es ionizado al ser expuesto a rayos gamma, ¿cuál es la carga iónica neta del átomo al convertirse en un ion?”. Luego, se propone realizar un dibujo que represente como se imaginan que se ioniza el átomo cuando se expone a radiación ionizante, como rayos gamma. 3. Retroalimentación al realizar una relación del proceso de la irradiación de alimentos con la ionización, utilizando una animación o video para mostrar como interactúa la radiación




ionizante con los átomos para ionizarlos, por medio del efecto Compton para enseñar como una partícula energética proveniente de los rayos gamma logra arrancar un electrón del átomo para así ionizarlo y crear un Cation (no se profundiza en el efecto Compton, sino que se deja como abre bocas para que ellos investiguen más sobre este, ya que la finalidad del taller es la enseñanza del proceso de ionización).

Paso 8: Agradecimientos y finalización del taller con un video didáctico de Dominic Toretto, mencionando que: “Recuerden chicos la familia es primero, pero la irradiación de alimentos también”.

Anexo 4

Secuencia Taller 1 - Recursos Visuales, Experimentos, Actividades y Juegos

<p>Taller 1: Irradiación de Alimentos: Verdades al Descubierto</p>	
	<p>Portada del taller.</p>
	<p>Portada de la primera actividad a realizar.</p>
	<p>Encuesta de percepción estudiantil inicial (formato).</p>
	<p>Portada del juego que hace parte de la actividad 1.</p>

<p style="text-align: center;">La Ruleta Aleatoria</p> 	<p>Ruleta utilizada para el juego, proveniente de la página PiliApp.</p> <p style="text-align: center;">Enlace:</p> <p style="text-align: center;">https://es.piliapp.com/random/wheel/</p>
 <p>1 ¿Alguna vez han notado que algunos alimentos duran más que otros cuándo están en el congelador o en la nevera? ¿Por qué creen que sucede esto?</p> <p>2 ¿Qué hacen en casa para conservar los alimentos frescos por más tiempo? Mencionen, ¿qué?, y ¿por qué?</p> <p>3 ¿Alguna vez han tenido que desechar alimentos que se echaron a perder antes de que pudieran consumirlos? ¿Qué creen que fue la causa de que el alimento se dañara?</p> <p>4 ¿Han experimentado alguna vez con métodos caseros para conservar alimentos? ¿Cuáles?, ¿y por qué?</p> <p>5 ¿Qué medidas toman para evitar el desperdicio de alimentos en su hogar? Mencionen, ¿cuáles?, ¿y por qué?</p> <p>6 ¿Por qué creen que es importante seguir medidas de higiene y limpieza al manipular y almacenar alimentos?</p>	<p>Recurso visual de las preguntas propuestas en el juego al azar para cada grupo.</p>
	<p>Estudiantes socializando y discutiendo sus respectivas preguntas por grupos.</p>

 <p>¿Qué es la conservación de alimentos?</p>	<p>Recurso visual de pregunta planteada después de la realización del juego, para comenzar a hablar sobre la conservación de alimentos por parte del docente.</p>
 <p>Refrigeración y congelación: Disminuir la temperatura para ralentizar la actividad microbiana y los procesos de deterioro.</p> <p>Adición de conservantes: Incorporar sustancias químicas que impiden el crecimiento microbiano o retardan el deterioro.</p> <p>AUMENTO DE TEMPERATURA Es un proceso que al aumentar la temperatura elimina todos los microorganismos vivos.</p>	<p>Recurso visual utilizado para la explicación de algunos métodos o técnicas para la conservación de alimentos.</p>
 <p>¿Irradiación?</p>	<p>Recurso visual utilizado como abre bocas inicial para introducir el pensar que existe un método de conservación de alimentos llamado “irradiación”, sin profundizar en nada aún.</p>
 <p>ACTIVIDAD 2: ACERCAMIENTO A LA INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA</p>	<p>Portada de la segunda actividad a realizar.</p>
 <p>¿Radiación?</p>	<p>Recurso visual para la explicación de la radiación.</p>

A diagram with the word 'RADIACIÓN' in blue on the left. Two pink arrows point from it to the words 'NO IONIZANTE' (top) and 'IONIZANTE' (bottom) in red.

Recurso visual para explicar la diferencia entre la radiación ionizante y no ionizante.

	IONIZANTE	NO IONIZANTE
ENERGÍA Y EFECTOS	Suficiente energía para alterar el ADN.	Poca energía para lograr alterar el ADN, pero la suficiente para calentar.
APLICACIONES	Se utiliza en campos como la medicina, industria de alimentos e industria nuclear, etc. Además, se necesita una gestión cuidadosa debido a sus posibles efectos nocivos.	Se utiliza en comunicaciones, tecnología doméstica y medicina, sin grandes riesgos para la salud.

Cuadro comparativo utilizado para reforzar la diferenciación entre radiación ionizante y no ionizante de manera sencilla, abordado desde la energía, efectos y sus aplicaciones.

RADIACIÓN NO IONIZANTE

LUZ VISIBLE, ONDAS DE RADIO, RAYOS INFRARROJOS, RAYOS ULTRAVIOLETA, ETC.

Recurso visual para la explicación de algunas radiaciones clasificadas como NO ionizantes.

A diagram with 'RAYOS UV' in blue on the left, surrounded by yellow sunburst lines. Three pink arrows point from it to 'RAYOS UV-A', 'RAYOS UV-B', and 'RAYOS UV-C' in red.

Recurso visual para la explicación de la clasificación de los rayos UV.

An illustration of the sun on the left emitting three rays of light labeled 'UV-C', 'UV-B', and 'UV-A' towards the Earth. A blue ring labeled 'CAPA DE OZONO' surrounds the Earth. The text 'TIPOS DE RAYOS ULTRAVIOLETA' is at the bottom left, and 'UNI FOR THE TECHNIUS' is at the top right.

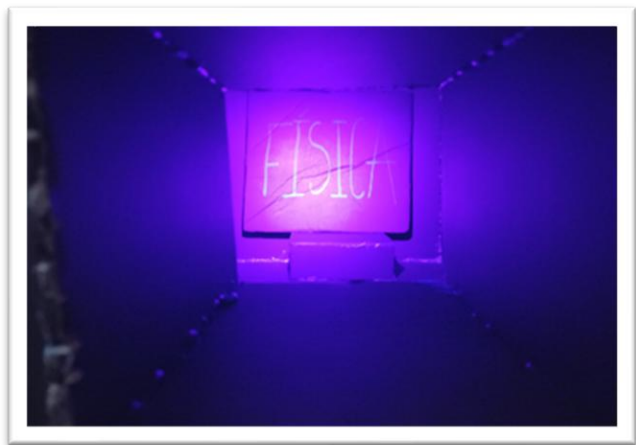
Recurso visual para relacionar como los rayos UV pueden influir en un contexto real.




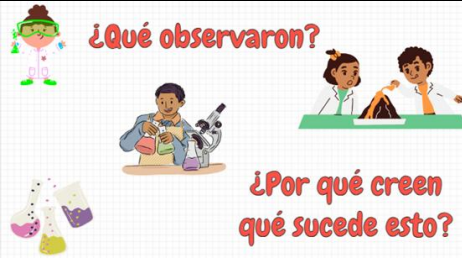



Recurso visual para comenzar a experimentar.



Montaje experimental utilizado para la primera experiencia.



Visualización de lo observado por los estudiantes en la primera experiencia.

	<p>Estudiante procediendo con la experiencia propuesta.</p>
	<p>Recurso visual para el planteamiento de preguntas dirigidas a los estudiantes al finalizar la experiencia.</p>
	<p>Portada de la tercera actividad del taller.</p>
	<p>Recurso visual para explicar algunas radiaciones clasificadas como ionizantes.</p>
	<p>Recurso visual para explicar y profundizar en los rayos gamma.</p>



Montaje experimental utilizado nuevamente para la segunda experiencia.



Manzana con puntos fluorescentes utilizada para la experiencia.



Visualización de lo observado por los estudiantes en la segunda experiencia.


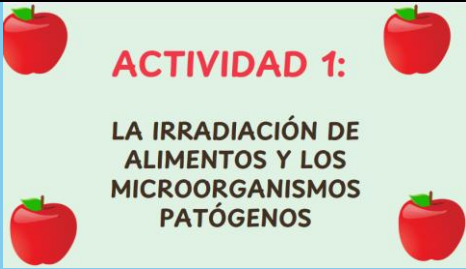
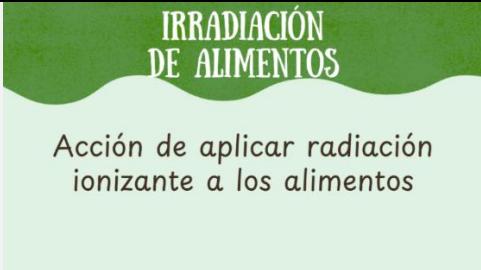



Visualización de lo observado por los estudiantes en la segunda experiencia, después de limpiar la manzana e introducirla nuevamente.

									
	<p style="text-align: center;">Encuesta</p> <p style="text-align: center;">RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:</p> <p style="text-align: center;">¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"><thead><tr><th>SÍ</th><th>TAL VEZ</th><th>NO</th></tr></thead><tbody><tr><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td><td><input type="checkbox"/></td></tr></tbody></table> <p style="text-align: center;">¿POR QUÉ?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 60px; width: 100%;"></div>	SÍ	TAL VEZ	NO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<p style="text-align: center;">Encuesta de percepción estudiantil final (formato).</p>
SÍ	TAL VEZ	NO							
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							

Anexo 5

Secuencia Taller 2 - Recursos Visuales, Experimentos, Actividades y Juegos

<p>Taller 2: Irradiación de Alimentos: Ionización al Descubierta</p>	
	<p>Portada del segundo taller implementado.</p>
	<p>Portada de la primera actividad del taller.</p>
	<p>Recurso visual utilizado para recordar el termino de irradiación de alimentos.</p>
	<p>Video utilizado para la sensibilización y acercamiento de los alimentos irradiados.</p> <p>Enlace video: https://youtu.be/IvNgAXCSg7U?si=pZNomxWTAqaA-2Q0</p>

 <p>En el país, solo se cuenta con el reactor nuclear IAN-R1 y la planta de irradiación Gamma (piloto) del Servicio Geológico Colombiano (SGC).</p>	<p>Recurso visual para la explicación del símbolo internacional de los alimentos irradiados (Símbolo de Radura).</p>
<p>¿Y COLOMBIA?</p> 	<p>Recurso visual para la explicación y evidencia del reactor nuclear y planta de irradiación del Servicio Geológico Colombiano.</p>
<p>“RESOLUCIÓN NÚMERO 2652 DE 2004” DEL MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL</p> 	<p>Recurso visual para brindar la información y explicación de la “Resolución Número 2652 de 2004” sobre el “artículo 9. Irradiación de alimentos” del Ministerio de la Protección Social.</p>
<p>¿HAY ALIMENTOS IRRADIADOS EN COLOMBIA?</p> 	<p>Recurso visual para la explicación y evidencia de algunos de los alimentos irradiados llegados a Colombia.</p>
	<p>Video creado con inteligencia artificial para la explicación y repaso de los beneficios de los alimentos irradiados, así como para llamar la atención de los estudiantes.</p> <p>Enlace video: Cristiano Ronaldo.mp4</p>

<p>Gray (Gy): Absorción de un julio de energía de radiación ionizante por cada kilogramo de materia.</p> <p>1 Kilogray (KGy): equivale a 1000 Grays (Gy)</p> <p>(LOS KGy SE UTILIZAN MÁS EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS, PORQUE SE TRABAJAN CON RADIACIONES MÁS ALTAS)</p>	<p>Recurso visual utilizado para la explicación de las unidades de medida de la radiación ionizante.</p>
 <p>JUEGO: MICROORGANISMOS AL DESCUBIERTO</p>	<p>Portada del juego propuesto para la primera actividad.</p>
<p>1. Responde la siguiente pregunta: ¿Qué variables consideran que se deben tener en cuenta al irradiar un alimento?</p> 	<p>Recurso visual para el planteamiento de la pregunta central del juego. Además, documento impreso con esta misma pregunta para recolectar las respuestas de los estudiantes.</p>
 <p>Perspectiva objetiva Información y hechos</p> <p>Intuición Emoción y sentimientos</p> <p>Voz del juicio Análisis crítico</p> <p>Lógica positiva Beneficios y ventajas</p> <p>Creatividad Alternativas y propuestas</p> <p>Visión global Director de orquesta</p>	<p>Recurso visual empleado para explicar la técnica de los seis sombreros de colores, con el fin de que cada estudiante asuma un rol dentro de su grupo y aborde la pregunta desde esa perspectiva. Finalmente, se busca que compartan sus conclusiones con los demás compañeros, considerando los distintos roles asignados para dar una conclusión final de manera grupal.</p>

E. COLI (ESCHERICHIA COLI)

01 Descripción: Bacterio que puede causar diversas enfermedades, desde diarrea leve hasta infecciones más graves como la colitis hemorrágica. Algunas cepas, como la E. coli O157H7, producen toxinas que pueden dañar los riñones.

Alimentos asociados: Carne de res poco cocida, productos lácteos no pasteurizados, vegetales crudos contaminados con heces de animales.

02 Supongamos que: Dosis para matar al microorganismo: 10 kilograys (10kGy). Tiempo para matar al microorganismo: 4 segundos (s).

SALMONELLA

01 Descripción: Bacterio que puede provocar salmonelosis, una enfermedad que causa diarrea, fiebre y cólicos abdominales.

Alimentos asociados: Carne de pollo, huevos, productos lácteos no pasteurizados, frutas y verduras crudas contaminadas.

02 Supongamos que: Dosis para matar al microorganismo: 8 kilograys (8kGy). Tiempo para matar al microorganismo: 8 segundos (s).

LISTERIA MONOCYTOGENES

01 Descripción: Bacterio que puede causar una enfermedad llamada listeriosis, sobrevivir en condiciones frías y multiplicarse en alimentos refrigerados. Es peligroso para mujeres embarazadas, recién nacidos, adultos mayores y personas con sistemas inmunológicos debilitados.

Alimentos asociados: Carnes frías, queso blando, leche no pasteurizada, vegetales listos para consumir.

02 Supongamos que: Dosis para matar al microorganismo: 8 kilograys (8kGy). Tiempo para matar al microorganismo: 4 segundos (s).

CAMPYLOBACTER

01 Descripción: Bacterio que causa gastroenteritis, una enfermedad caracterizada por diarrea, fiebre y dolor abdominal.

Alimentos asociados: Carne de pollo cruda o poco cocida, leche no pasteurizada, agua contaminada.

02 Supongamos que: Dosis para matar al microorganismo: 2 kilograys (2kGy). Tiempo para matar al microorganismo: 4 segundos (s).

Impresión entregada a los estudiantes con contenido del nombre de un microorganismo patógeno, descripción del microorganismo, alimentos en los que se le asocia, supuesta dosis de radiación ionizante y tiempo de exposición para acabar con el microorganismo.



Montaje experimental nuevamente utilizado para el juego propuesto.



Estudiantes socializando la pregunta abordada.



Video creado con inteligencia artificial para la explicación y mención de las variables a considerar al irradiar un alimento.

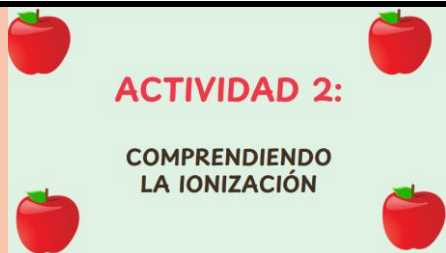
Enlace video:

[Homero Simpson.mp4](#)

VARIABLES A CONSIDERAR

1. Dosis de irradiación aplicada y tiempo expuesto.
2. El tipo de microorganismo.
3. Concentración y cantidad de microorganismos presentes en el alimento.
4. El tipo de alimento.
5. Condiciones ambientales.
6. Equipo de irradiación.

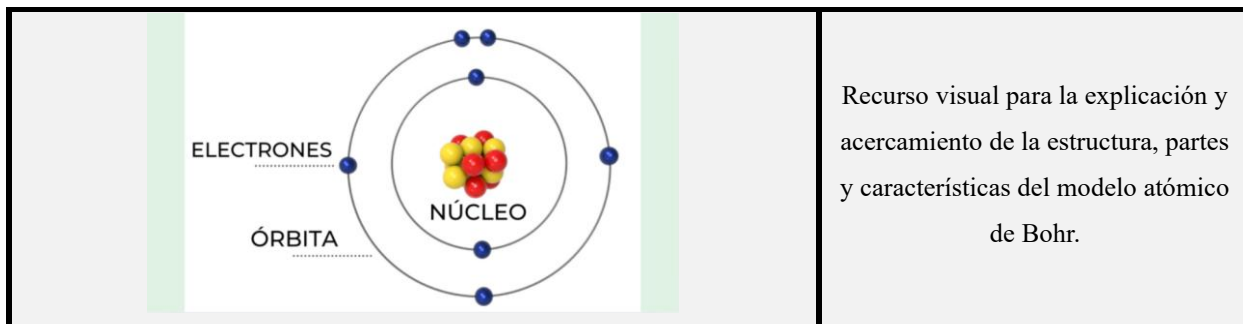
Recurso visual para la explicación de las variables a considerar mencionadas por Homero Simpson.



Portada de la segunda actividad propuesta en el taller.



Recurso visual para brindar el abrebocas sobre que todo el proceso para acabar con los microorganismos patógenos comienza desde algo nombrado "Ionización".



Recurso visual para la explicación y acercamiento de la estructura, partes y características del modelo atómico de Bohr.

IÓN	IÓN
<p>Es un átomo que ha ganado o perdido electrones y se ha cargado eléctricamente.</p>	<p>Anión: Átomo que ha ganado electrones</p> <p>Catión: Átomo que ha perdido electrones</p>

Recurso visual para la explicación de los iones.

IONIZACIÓN	
IONIZACIÓN	

Recurso visual para la explicación del proceso de ionización desde el modelo atómico de Bohr.

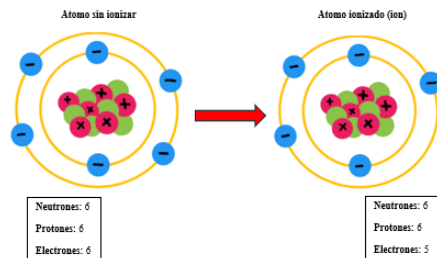
IONIZACIÓN	
------------	--

Recurso visual para la explicación de como encontrar la carga iónica neta de un átomo y un ion.

<h2 style="text-align: center;">IONIZACIÓN</h2> 	
	<p>Canción educativa sobre el proceso de la ionización:</p> <p>Título: Recuerda...</p> <p>Autor: Dunkan Stwar Estrada Francis</p> <p>Enlace canción: https://suno.com/s/YNnQ7FF0wwV3 gPPH</p>
<h2 style="text-align: center;">ACTIVIDAD</h2> 	<p>Recurso visual para iniciar la actividad final.</p>

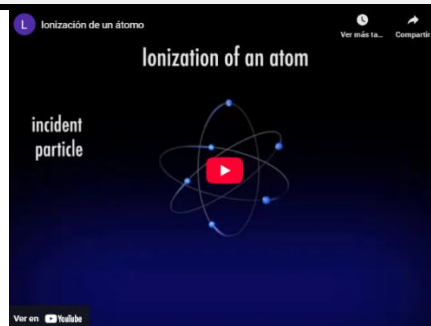
ACTIVIDAD

1. Un átomo es ionizado al ser expuesto a rayos gamma, ¿cuál es la carga iónica neta del átomo al convertirse en un ion?:



2. Realizar un dibujo que represente como te imaginas que se ioniza el átomo cuando se expone a radiación ionizante, como rayos gamma.

Ejercicio final propuesto (formato).



Video propuesto para evidenciar la interacción de la radiación ionizante con los electrones del átomo.

Enlace video:

<https://youtu.be/OwGG5x-Bxro?si=2KsfoWQdZacJi1XN>



Video creado con inteligencia artificial para la finalización del taller de una manera llamativa e interesante para los estudiantes.

Enlace video:

[Dominic Toretto.mp4](#)

Anexo 6
Sistematización de Evidencias - Taller 1

ENCUESTA 1 (INICIAL)

Evidencia de algunas
respuestas de las
encuestas iniciales
aplicadas a los
estudiantes

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

*Si me presentan algún que no por que de lo que he lo grado
ver o escuchar cosas dando se tiene relación con la irradiación
ps, termina en afectaciones mayormente cansa o otros enid
malos ps, me basaría a probar.*

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

*No comería porque nose que es un alimento irradiado
y siento o creo ya que un alimento irradiado es
como irradiativo y que me va a causar o hacerme
sentir mal*

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

no lo comería porque el nombre no da una buena impresión y parece como si fuera tóxica para el ser humano o estuviera dañado

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Es porque la verdad yo creo que irradiado es un alimento que tiene químicos y pues los alimentos con químicos son algo dañinos pero los como algunas veces o de pendiente de que sea.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

porque no conozco que es un alimento irradiado, si no lo conozco no siento que el nombre indica a un alimento dañado.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Si lo comiera por que podría ser algo bueno y que que los voy hacer comiendo antes y no lo voy comer o que y como así mas a la mano

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Porque principalmente no sé que es, si es verdad o no y si lo supiera me daría igual o un poco de curiosidad

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Realmente no se que es, si es a radiacion, pero puede ser un alimento que solo haya pasado por un proceso

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Por que: tal vez la verdad nose si sea malo o bueno pero como que pues el profe nos va a explicar mediante a eso tal vez cambie de decision y ya.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

NO estoy segura de si un alimento irradiado sea algo malo o bueno así que me lo pensaré para comerlo o no.

ENCUESTA 2 (FINAL)

Evidencia de algunas
respuestas de las
encuestas finales
aplicadas a los
estudiantes

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Alora conozco que la irradiación de alimentos es un proceso para desinfectar los alimentos de aquellos microorganismos o plagas que estos puedan tener, siendo esta una técnica fuera del uso de químicos.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Porque al ser el alimento irradiado se eliminan las bacterias que el rango gamma expulsa sin que la radiación llegue al alimento y eso hace que el alimento este libre de las bacterias pero resta ser digerido.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Al ya entender el tema ya estoy dispuesto a comer un alimento irradiado, al entender el proceso y los beneficios que tiene.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Si por que despues de el taller que no el parte aprendi que toda la radiacion o el termino no es malo como en pocas palabras si comeria un alimento irradiado por que lo que esa radiacion fue limpiarlo quitarle esos partuculos y bacterias tambien dependiendo al tipo de radiacion pero en este caso si lo comeria.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Si por que la radiacion sirve como para mejorar mas el alimento y esos alimentos con irradiacion estan en mejor calidad y son mas comestibles y es mas cuando es irradiado por que el alimento porras; decirlo lo limpien.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Si porque al tener el alimento irradiado y libre de bacterias pues es un alimento que se pueda elegir tranquilamente y sin algun riesgo de infección o bacterias.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Porque indica lo contrario de que me como un alimento libre de patógenos (bacterias) pero por un proceso de irradiación, sería un alimento limpio, procesado y sin alteraciones en su sabor.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Por que si un alimento comiera por que es lo mismo ya sea dicho así ya procesado y limpio, que por el sabor, ya que la irradiación nos protege de muchos cosas y no produce ningún efecto como si comiera.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Entiendo a veces porque no se si sea seguro a largo plazo eso está tal vez no nos haga daño en un corto tiempo de tiempo, pero quizás a un largo tiempo sí.
Lo comería pero con muchas dudas o tal vez ni le de un mordisco.

Encuesta

RESPONDE LA SIGUIENTE PREGUNTA:

¿COMERÍAS UN ALIMENTO IRRADIADO?

SÍ	TAL VEZ	NO
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

¿POR QUÉ?

Si lo comería depende de que tan toxico sea ya que ahí algunos alimentos que teniendo un cierto nivel de irradiado no llegan a ser tóxicos para la salud humana y ahí algunos que sí llegan a ser tóxicos.

Anexo 7

Sistematización de Evidencias - Taller 2

ACTIVIDAD INICIAL

Evidencia de las respuestas sobre las variables consideradas en la irradiación de alimentos, según los equipos de estudiantes

1. Responde la siguiente pregunta:

¿Qué variables consideran que se deben tener en cuenta al irradiar un alimento?

Perspectiva: Eliminar los microorganismos patógenos que se encuentran en los alimentos para poder ser consumidos sin tanto riesgo
Objetiva: tiempo, cantidad, tipo de irradiación.

Influencia: El lugar donde se hace el proceso, el tipo de alimento

Voz del juicio: No exceder el tiempo de radiación

lógica: Mejor consumo, evitar enfermedades
positiva: Aumento de la calidad de vida

Creatividad: Debería tenerse en cuenta cuánto tiempo se irradia el alimento y que se elimina totalmente la bacteria

Vision: El lugar donde proviene el alimento y a donde se manda
Global: El tiempo y la cantidad de cada alimento.



Conclusion:
 Para aplicar la irradiación hay que tener varias cosas en cuenta entre ellas el tiempo, el tipo de irradiación, el alimento, el lugar de origen etc.

1. Responde la siguiente pregunta:

¿Qué variables consideran que se deben tener en cuenta al irradiar un alimento?

Ay que tener cuenta que cada alimento tiene su propia dosis de irradiación y por eso mismo puede ser más fácil que un alimento sobre irradiado o desirradiado y por ende el alimento pueda quedar con bacterias que afectan al ser humano o pueden dañarse.

1. Responde la siguiente pregunta:

¿Qué variables consideran qué se deben tener en cuenta al irradiar un alimento?

Se debe tener en cuenta el tipo de alimento, la dosis, el objetivo del proceso, el estado del alimento, el tipo de radiación y que no afecte su calidad.

1. Responde la siguiente pregunta:

¿Qué variables consideran qué se deben tener en cuenta al irradiar un alimento?

La cantidad de la radiación, el tiempo expuesto. Que alimento se va a irradiar, que este limpie la superficie donde se va a irradiar. Que no esponje a las personas que estén cerca.

1. Responde la siguiente pregunta:

¿Qué variables consideran qué se deben tener en cuenta al irradiar un alimento?

Entre las variables tenemos que tener en cuenta el tipo de patógenos al que se enfrenta la irradiación, el tipo de alimento y erradicar la enfermedad que produce el patógeno, pero podemos decir que la irradiación de alimentos extermina plagas de patógenos.

1. Responde la siguiente pregunta:

¿Qué variables consideran qué se deben tener en cuenta al irradiar un alimento?

El tiempo en el cual el alimento está en radiación para que se pueda eliminar todas las bacterias pero no tanto para que se pueda degradar.

ACTIVIDAD FINAL (PARTE 1)

Evidencia de algunas respuestas sobre el valor de la carga iónica neta del átomo al convertirse en un ion, encontrada por cada estudiante

1. Un átomo es ionizado al ser expuesto a rayos gamma, ¿cuál es la **carga iónica neta** del átomo al convertirse en un ion?:

Neutrones: 6
Protones: 6
Electrones: 6

Neutrones: 6
Protones: 6
Electrones: 5

$+6 - 5 = +1$
carga iónica neta +1

1. Un átomo es ionizado al ser expuesto a rayos gamma, ¿cuál es la **carga iónica neta** del átomo al convertirse en un ion?:

Neutrones: 6
Protones: 6
Electrones: 6

Neutrones: 6
Protones: 6
Electrones: 5

carga neta
 $+6 - 5 = 1$

1. Un átomo es ionizado al ser expuesto a rayos gamma, ¿cuál es la **carga iónica neta** del átomo al convertirse en un ion?:

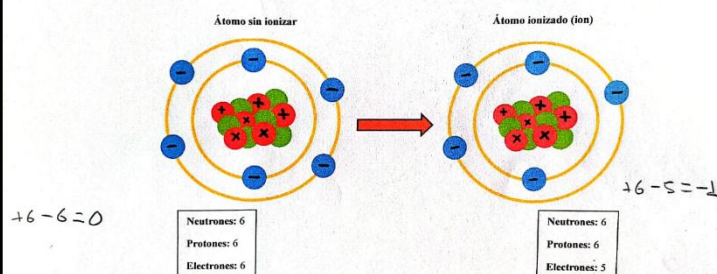
Neutrones: 6
Protones: 6
Electrones: 6

Neutrones: 6
Protones: 6
Electrones: 5

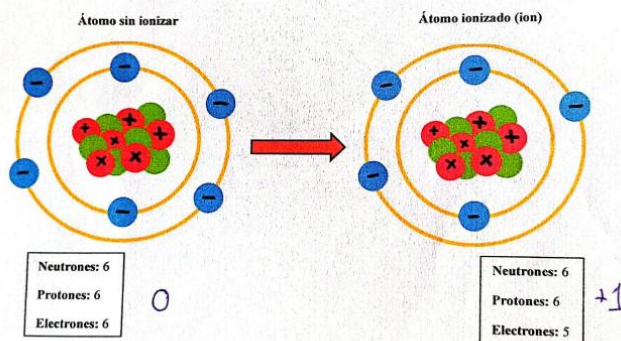
$+6 - 6 = 0$

$+6 - 5 = 1$

1. Un átomo es ionizado al ser expuesto a rayos gamma, ¿cuál es la **carga iónica neta** del átomo al convertirse en un ion?:



1. Un átomo es ionizado al ser expuesto a rayos gamma, ¿cuál es la **carga iónica neta** del átomo al convertirse en un ion?:



ACTIVIDAD FINAL (PARTE 2)

Evidencia de algunas respuestas sobre como los estudiantes visualizan la interacción que ocurre entre el átomo y la radiación ionizante para causar la ionización

