

**COMPRENDIENDO LA FENOMENOLOGÍA INVOLUCRADA EN LA  
INTERACCIÓN RADIACIÓN - MATERIA: ESTRATEGIA DIDÁCTICA  
ORIENTADA A LA FORMACIÓN TECNOLÓGICA EN LOS CAMPOS DE LA  
RADIOLOGÍA E IMÁGENES DIAGNÓSTICAS**

**FELIPE ARNOLDO CUARÁN ORDOÑEZ**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**BOGOTÁ D.C**

**2017**

**COMPRENDIENDO LA FENOMENOLOGÍA INVOLUCRADA EN LA  
INTERACCIÓN RADIACIÓN MATERIA: ESTRATEGIA DIDÁCTICA  
ORIENTADA A LA FORMACIÓN TECNOLÓGICA EN LOS CAMPOS DE LA  
RADIOLOGÍA E IMÁGENES DIAGNÓSTICAS**

**FELIPE ARNOLDO CUARÁN ORDOÑEZ**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE LICENCIADO EN FÍSICA**

**ASESORA:**

**PROFESORA CARMEN EUGENIA FONSECA**

**LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN: ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LAS  
CIENCIAS: ENFOQUES DIDÁCTICOS**


**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

**BOGOTÁ D.C**

**2017**

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>EDUCACIÓN AL SERVIDICIO</small>	<b>FORMATO</b>	
	<b>RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE</b>	
<b>Código: FOR020GIB</b>	<b>Versión: 01</b>	
<b>Fecha de Aprobación:</b>	<b>Página 1 de 6</b>	

<b>1. Información General</b>	
<b>Tipo de documento</b>	Trabajo de grado
<b>Acceso al documento</b>	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
<b>Título del documento</b>	Comprendiendo la fenomenología involucrada en la interacción radiación - materia: Estrategia didáctica orientada a la formación tecnológica en los campos de la radiología e imágenes diagnósticas.
<b>Autor(es)</b>	Cuarán Ordoñez, Felipe Arnoldo
<b>Director</b>	Fonseca Cuenca, Carmen Eugenia
<b>Publicación</b>	Bogotá. Universidad Pedagógica Nacional, 2017, 82p.
<b>Unidad Patrocinante</b>	Universidad Pedagógica Nacional
<b>Palabras Claves</b>	COMPENSIÓN, RADIACIÓN, IONIZACIÓN, CORPUSCULAR, ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS, ENERGÍA.

<b>2. Descripción</b>
<p>Los esfuerzos de esta investigación se orientan a optimizar las comprensiones relacionadas con la fenomenología involucrada en la interacción radiación-materia, a partir del tópico generativo denominado radiaciones ionizantes y no ionizantes. Este estudio involucra 27 estudiantes de Radiología e Imágenes Diagnósticas que cursan tercer trimestre del programa en el Centro de</p>

Formación de Talento Humano en Salud -CFTHS- del Servicio Nacional de Aprendizaje -SENA-.

A partir del tópico mencionado se planean 10 etapas de intervención, fundamentadas en el enfoque pedagógico de la Enseñanza para la Comprensión y situadas desde la cotidianidad del estudiante en su ejercicio académico-hospitalario y la interdisciplinariedad desde la Física, Química y Biología; áreas fundamentales para esta investigación.

### 3. Fuentes

*Aplicaciones de la física nuclear*. Recuperado de: [https://www.uv.es/~diazj/fna\\_tema6.pdf](https://www.uv.es/~diazj/fna_tema6.pdf)

Barrera, M. y León, P. (2014). *¿De qué manera se diferencia el marco de la enseñanza para la comprensión de un enfoque tradicional?* Ruta maestra, novena edición. Páginas 26-32.

Bohr, N. (1988). *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*. Madrid: Alianza.

Chamizo J & García A, J. &. (2010). *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales*. México.

Gallego, E. (2006). *Las radiaciones ionizantes: Una realidad cotidiana*. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

García M & De-Geus J, M. &. (2008). *Introducción a la física moderna*. Bogotá, Colombia: Unibiblos.

Hewitt, P. (2007). *Física conceptual*. México: Pearson educación.

Joiner M. & Kogel A. *Basic Clinical Radiobiology*. Hodder Arnold.

Kaplan, I. (1962). *Física nuclear*. Madrid, España: Aguilar

Mosterín, J. (1984). *Conceptos y teorías en la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.

Ortega A & Jorba B, J. &. (1994). *Radiaciones ionizantes utilización y riesgos*. Barcelona: Edicions UPC.

Perdigón, B.S., & Bautista, J. (2013). *Interacción: Radiación solar-materia y sus efectos en la salud*. Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional.

Perkins, D.(2001). *La escuela inteligente*.Barcelona, España: Gedisa.

Quintero, P. (2012). *Estudio in vitro de la supervivencia en células tumorales irradiadas con un acelerador lineal de uso clínico*. Bogotá, Universidad Nacional.

Ríos, E., & Solbes, J. (2007). *Las relaciones CTSA en la enseñanza de la tecnología y las ciencias: Una propuesta con resultados*. Revista electrónica de enseñanza de las ciencias. (6), p. 24.

Sociedad Española de Física Médica (2016). *Fundamentos de Física Médica, Radiobiología y principios de Oncología*. ADI servicios editoriales.

Stone, M. (1999). *La enseñanza para la comprensión*. Buenos Aires, Argentina: Paidós.

Universidad Pedagógica Nacional. (2014). *Plan de desarrollo institucional 2014-2019*.Recuperado de <http://www.pedagogica.edu.co/>

#### 4. Contenidos

Este documento está distribuido en cuatro capítulos descritos a continuación:

Capítulo primero: Está consolidado con el planteamiento del problema, justificación y objetivos, primeros eslabones desde donde parte esta investigación.

Capítulo segundo: Describe los elementos teóricos interdisciplinarios considerados en la investigación, a partir de la Física, Química y Biología. Además los elementos pedagógicos que orientaron el enfoque didáctico sobre la Enseñanza Para la Comprensión en cada intervención en el aula.

Capítulo tercero: En este capítulo se expone la estrategia que se diseñó a lo largo de esta investigación y se describe el proceso de implementación durante las diferentes intervenciones en el aula.

Capítulo cuarto: Se presentan los resultados obtenidos en los diferentes momentos de implementación de la estrategia, con su respectivo análisis; este incluye una descripción del software Atlas-ti, herramienta que se utilizó en el análisis de datos. Los resultados obtenidos, se presentan en primera instancia a través de las gráficas de los diversos datos recolectados,

acompañadas de los respectivos análisis obtenidos del programa, los cuales dan cuenta de la transición conceptual ocurrida en el estudiante, a propósito del tópico de las radiaciones ionizantes.

## **5. Metodología**

La metodología sobre la que se fundamenta esta investigación es de carácter cualitativa de tipo descriptiva. La estrategia implementada para la recolección de la información comprende tres situaciones que invitan a reflexionar a la población involucrada en este estudio, sobre concepciones respecto a la naturaleza de la radiación, uso controlado de las radiaciones ionizantes, mecanismos de interacción de la radiación, medidas de protección radiológica y efectos causados por la exposición a la radiación. Además, se consideran cuestiones que surgen de cada situación asociada con el contexto hospitalario en procedimientos diagnósticos que utilizan aparatos que generan radiación ionizante, para identificar transiciones conceptuales a propósito de este tipo de radiación.

Una vez se recolectó la información se optó por implementar la séptima versión de Atlas.ti (software facilitador del análisis de datos cualitativos) para gestionar la información respectiva y configurar un modelo referencial de transiciones en la concepciones descritas por los estudiantes en torno a la fenomenología involucrada en la interacción radiación-materia.

## **6. Conclusiones**

Los resultados de la presente investigación, permiten afirmar que una mejor comprensión de los fenómenos asociados a la radiación ionizante –y no ionizante-, conlleva un mejor desempeño en la actividad laboral y vida profesional de los estudiantes que participaron activamente en su desarrollo. Especialmente se resalta la mayor responsabilidad con que se asume la práctica relacionada con el manejo de equipos y fuentes de radiación, ya sea en procedimientos de diagnóstico o terapéuticos. Esta responsabilidad a que se hace referencia, fue manifiesta en diferentes etapas del proceso de implementación, tanto respecto a la protección del operario que labora cotidianamente con equipos de radiación, como respecto a los pacientes y público en

general.

Este trabajo muestra también que el estudio de la fenomenología involucrada en la interacción radiación materia a partir de situaciones de la cotidianidad, asociadas a las experiencias personales, académicas y laborales de los estudiantes, permean de forma representativa las concepciones preestablecidas, disminuyendo la dispersión conceptual, para reorganizarlas y focalizarlas en concepciones propias de las áreas de Física, Química y Biología.

El análisis de la información recolectada, pone de manifiesto que las concepciones entorno a la radiación ionizante, dejan entrever que en la población involucrada se consolidó un imaginario colectivo sustentado en el uso responsable de la radiación ionizante para los procedimientos diagnósticos y terapéuticos que es hacia donde apuntan todos los esfuerzos académicos del Centro de Formación de Talento Humano en Salud – SENA.

La estrategia didáctica permitió al docente en formación, permear desde el ámbito disciplinar y pedagógico, diversas concepciones de los estudiantes, en torno a las radiaciones ionizantes, en diferentes espacios académicos del programa Tecnológico de Radiología e Imágenes Diagnósticas.

Se muestra que el enfoque pedagógico *Enseñanza para la Comprensión*, que considera la interdisciplinariedad como parte esencial de su desarrollo, aporta elementos teóricos-prácticos dinamizadores de las concepciones en cada estudiante alrededor de la radiación ionizante y no ionizante, optimizando sus habilidades para la práctica hospitalaria.

La estrategia didáctica produjo una transición de concepciones en la población, para asignar una identidad a la naturaleza de la radiación, concibiéndola como energía que se emite y puede penetrar y modificar la materia. En este caso focalizando las concepciones en tres categorías: electromagnética, corpuscular y la dualidad corpuscular-electromagnética.

De acuerdo a los resultados de la investigación, se muestra que a pesar del incremento en perspectivas que le asocian una doble naturaleza a la radiación –corpuscular y electromagnética– persiste una distorsión conceptual que tiende a describirla ya sea como corpúsculo o como onda electromagnética, exclusivamente.

Fue evidente la relevancia que le asignan los estudiantes a uno de los tópicos abordados en las

intervenciones, la interacción de las partículas cargadas con la materia, es decir a la radiación directamente ionizante que al final asocian con la naturaleza de la radiación. Además, este tópico incentivó al estudiante a proponer un lenguaje coherente con lo disciplinar para describir su accionar en respuesta a cada situación de la Prueba Preliminar (PP) y de la Prueba Final (PF), en torno a mecanismos específicos que se le asocian a la radiación como son los procesos de excitación e ionización.

A pesar de las diversas concepciones manifiestas, se encuentra como elemento concluyente que la población participe de esta investigación, relaciona la causa de la radiación con un proceso de alteración atómica que conlleva a la emisión de radiación; sin embargo, a pesar de las modificaciones y transiciones conceptuales que se observan, tienden a fundamentarse en la hipótesis atómica y en la concepción de ondas electromagnéticas sin dejar entrever directamente su relación.

Finalmente, es de resaltar que con esta investigación se da inicio a un proceso de colaboración interinstitucional entre la Universidad Pedagógica Nacional -en particular el Departamento de Física- y el SENA. Colaboración que fortalece el futuro desempeño profesional, tanto de los maestros en formación que participan del proceso, como de los estudiantes de los diferentes programas de tecnología a los que se dirige la práctica pedagógica.

<b>Elaborado por:</b>	Felipe Arnoldo Cuarán Ordoñez
<b>Revisado por:</b>	Carmen Eugenia Fonseca Cuenca

<b>Fecha de elaboración del Resumen:</b>	5	11	2017
--	---	----	------



## Tabla de contenido

### Capítulo I: Elementos orientadores de la investigación

Introducción.....	1
Planteamiento del problema .....	3
Objetivos.....	6
Objetivo General .....	6
Objetivos específicos.....	6
Justificación .....	7
Antecedentes.....	9

### Capítulo II: A propósito del marco teórico

Sobre el fenómeno y los modelos.....	11
La percepción humana, fenómeno y modelización .....	11
Acerca de la hipótesis atómica y consolidación de la materia.....	12
Modelos atómicos, estructura y estabilidad de la materia.....	14
Modelo atómico de Thomson .....	14
Modelo atómico de Rutherford .....	14
Modelo atómico de Bohr .....	16
Correcciones al modelo de Bohr y otras propuestas para la estructura atómica.....	17
Interacción Radiación – Materia.....	18
Mecanismos para la degradación de energía de las partículas cargadas .....	18
Excitación .....	19
Ionización .....	19
Radiación de frenado .....	20
Mecanismos para la degradación de energía del fotón.....	21
Efecto fotoeléctrico.....	21
Efecto Compton .....	22
Producción de pares.....	23
Efectos de la radiación ionizante en los tejidos, aproximación desde la Radiobiología .....	23

Fase física .....	28
Fase físico-química .....	28
Fase química.....	29
Fase biológica .....	29
<b>Capítulo III: Sobre la estrategia didáctica</b>	
A propósito de la estrategia didáctica.....	31
Momentos reflexivos que le dan sentido a la Enseñanza para la Comprensión.....	32
A propósito de las situaciones uno, dos y tres .....	41
Situación 1 .....	41
Situación 2 .....	44
Situación 3 .....	48
<b>Capítulo IV: Análisis de datos y resultados</b>	
Conclusiones.....	54
Bibliografía.....	57
Anexos .....	59

## Introducción

Para el desarrollo de este trabajo, se propuso una serie de elementos interdisciplinarios, a partir de las áreas de Física, Química y Biología; además fundamentos pedagógicos consolidados desde el enfoque didáctico denominado Enseñanza Para la Comprensión<sup>1</sup> que, en cierta medida, facilitaron una gama de concepciones a propósito de la fenomenología involucrada en la interacción radiación-materia en estudiantes del programa de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas del Centro de Formación de Talento Humano en Salud-SENA. Se definió un tópico generativo en torno a las radiaciones, eje central de esta investigación. Además, en torno a este tópico, se propuso reflexionar sobre el espectro electromagnético para diferenciar la naturaleza de la radiación en términos de su energía y longitud de onda, buscando esclarecer la diferencia entre los tipos de radiación no ionizante y ionizante. Se hizo énfasis en las radiaciones ionizantes como fenómeno de interés para los estudiantes –en particular sobre los rayos x- y, los modelos como facilitadores de una organización representativa para su comprensión, modelos atómicos, interacciones tanto de las partículas cargadas como de los fotones con la materia y finalmente describir algunas de las aplicaciones tecnológicas en las que se hace uso de la radiación -ionizante y no ionizante- en procesos de tipo diagnóstico o terapéutico.

Este documento está distribuido en cuatro capítulos descritos a continuación:

Capítulo primero: Está consolidado con el planteamiento del problema, justificación y objetivos, primeros eslabones desde donde parte esta investigación.

Capítulo segundo: Describe los elementos teóricos interdisciplinarios considerados en la investigación, a partir de la Física, Química y Biología. Además los elementos pedagógicos que orientaron el enfoque didáctico sobre la Enseñanza Para la Comprensión en cada intervención en el aula.

---

<sup>1</sup> Es la habilidad de pensar y actuar con flexibilidad a partir de lo que uno sabe, corta definición por David Perkins. Stone M. (1999, pág. 4). *La Enseñanza para la Comprensión*. Buenos Aires. PAIDOS.

Capítulo tercero: En este capítulo se expone la estrategia que se diseñó a lo largo de esta investigación y se describe el proceso de implementación durante las diferentes intervenciones en el aula.

Capítulo cuarto: Se presentan los resultados obtenidos en los diferentes momentos de implementación de la estrategia, con su respectivo análisis; este incluye una descripción del software Atlas-ti, herramienta que se utilizó en el análisis de datos. Los resultados obtenidos, se presentan en primera instancia a través de las gráficas de los diversos datos recolectados, acompañadas de los respectivos análisis obtenidos del programa, los cuales dan cuenta de la transición conceptual ocurrida en el estudiante, a propósito del tópico de las radiaciones ionizantes.

## **Capítulo I**

### **Elementos orientadores de la investigación**

#### **Planteamiento del problema**

El problema que se quiere tratar en esta investigación, emerge desde diferentes ámbitos, relacionados con la experiencia laboral, trayectoria académica y práctica pedagógica del autor de esta propuesta.

Desde lo personal, la pregunta de investigación se gesta considerando el carácter disciplinar asociado y el contexto desde donde surge, luego de varios años de desempeño en espacios hospitalarios -extrauniversitarios- en el campo de la Radioterapia; labor que gira en torno a las radiaciones ionizantes como herramienta fundamental para garantizar en cada tratamiento, la precisión en la incidencia del haz de radiación hacia un volumen blanco de tejido, buscando así, mejorar el estilo de vida de las personas que padecen cáncer, enfermedad que afecta de forma significativa la sociedad.

Por otra parte, si bien los esfuerzos académicos del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional a lo largo de la historia han sido orientados a formar licenciados en Física, con la capacidad de desenvolverse en las diferentes modalidades del Sistema Educativo Colombiano y teniendo en cuenta la diversidad que existe en la población, es evidente que se perciben grandes vacíos y dificultades en la comprensión de múltiples fenómenos que atañen desde diferentes ángulos la vida cotidiana. Con relación a esta percepción hay varios criterios a tener en cuenta y es que formar personas implica considerar sus contextos, experiencias y saberes previos, elementos que inciden directamente en la construcción de conocimiento y que constituyen el soporte en las comprensiones alcanzadas, dotando al maestro en formación de valiosas herramientas para su futura labor como guía en los procesos de enseñanza y aprendizaje en el área de Física.

Dado que la Física -a través de sus diferentes modelos y teorías- nos dota de herramientas para poder comprender el mundo natural y sus interacciones, la enseñanza de la Física en las diferentes poblaciones (básica, media y superior) tiene como uno de sus propósitos, facilitar la comprensión del mundo que nos rodea, contribuyendo a la

formación de ciudadanos críticos. Este elemento se considera necesario para un óptimo desempeño docente, y como tal se plantea que un Licenciado en Física, debe contar con sólidas herramientas que le permitan alcanzar un buen nivel comprensivo sobre diversas fenomenologías, es decir, situaciones que tienen que ver con el mundo natural y que son objeto de estudio; las radiaciones ionizantes son un ejemplo de ello.

Es innegable que frente a las representaciones sociales que construyen las personas para tratar de comprender ciertos fenómenos, puede haber distorsiones y prevenciones que se manifiestan de diversas maneras. En el caso particular de las Radiaciones Ionizantes, en la población en general -incluyendo la comunidad académica- se ha generalizado un prejuicio que le da una connotación negativa, pues a pesar del enorme desconocimiento en torno a esta temática, hay un imaginario colectivo frente a los peligros asociados a la radiación.

Otro factor a tener en cuenta, es el relacionado con algunos espacios académicos del programa de la Licenciatura en Física y el tiempo asignado a cada uno de ellos, que muchas veces resulta insuficiente si se quiere profundizar en el análisis de fenómenos asociados a los diversos tópicos estudiados, especialmente cuando se trata de analizar los diferentes sistemas a la luz de la Física Cuántica y, más aún si se hace referencia a la componente experimental, pues en este caso no solo el tiempo asignado, sino también los recursos físicos disponibles suelen resultar insuficientes. En resumen, hay diferentes motivos que limitan la comprensión de ciertos fenómenos, entre ellos los relacionados con la radiación, por eso mismo se considera pertinente su abordaje.

Finalmente, es de resaltar que las Prácticas Pedagógicas II, III y IV se realizaron en el Centro de Formación de Talento Humano en Salud-CFTHS del Servicio Nacional de Aprendizaje-SENA con estudiantes del programa de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas, cuyo proceso formativo giraba en torno al uso controlado de las radiaciones ionizantes - rayos x y gamma- y no ionizantes -ondas de radio- y la implementación de estas en procedimientos diagnósticos o terapéuticos. Aquí, es necesario poner de manifiesto que, aunque este colectivo de estudiantes en su formación teórico-práctica está cotidianamente relacionado con fenómenos asociados a la radiación, hay un desconocimiento total acerca de los mecanismos físicos involucrados, en particular sobre los procesos de degradación de energía de la radiación en la materia,

que es en últimas el proceso que consolida una imagen radiográfica para un diagnóstico óptimo y determina los efectos sobre el tejido vivo del personal ocupacional y del público en general.

La fenomenología involucrada en la producción e interacción de rayos x con diferentes materiales o tejido biológico, junto con sus aplicaciones diagnósticas, siempre se hicieron relevantes y marcaron la pauta en el desarrollo de las intervenciones realizadas; respecto a este punto, se notó un desconocimiento absoluto de conceptos, relaciones y principios sobre la radiación ionizante. La participación en este espacio puso de relieve que, como maestros en formación y posteriormente como Licenciados en Física, hay mucho que decir y que aportar en la construcción de conocimiento de esta población en particular y en este campo tecnológico en general, pues a través de los diferentes momentos de la intervención, se identificaron aspectos que permiten concluir que la construcción de conocimiento y las comprensiones alcanzadas, les permitirá dar mayor sentido a las actividades que realizan, tanto en su etapa formativa como en su futura vida laboral.

Teniendo en cuenta las diferentes problemáticas mencionadas, se planteó la siguiente pregunta, como guía de esta investigación:

***¿Cómo aproximar a los estudiantes de Radiología e Imágenes Diagnósticas del Centro de Formación de Talento Humano en Salud a la comprensión de algunos fenómenos asociados a las radiaciones ionizantes, sus mecanismos de acción sobre la materia y la forma en que estas trascienden a otros contextos sociales?***

## Objetivos

### Objetivo General

Proponer una estrategia didáctica que facilite a los estudiantes de Radiología e Imágenes Diagnósticas del Centro de Formación de Talento Humano en Salud, la comprensión de fenómenos asociados con la interacción radiación-materia y sus mecanismos de acción, haciendo énfasis en el impacto social, ambiental y tecnológico de esta fenomenología.

### Objetivos específicos

- Realizar una revisión de los elementos teóricos involucrados en esta temática, para consolidar interpretaciones desde lo disciplinar y lo pedagógico.
- Indagar sobre las nociones y concepciones previas que tienen los estudiantes sobre la fenomenología asociada con las radiaciones ionizantes.
- Introducir a los estudiantes en el uso de modelos y el proceso de interpretar y representar los fenómenos a través de situaciones cotidianas orientativas.
- Diseñar e implementar una estrategia didáctica, considerando el enfoque pedagógico *Enseñanza Para la Comprensión*, que posibilite en los estudiantes reconfiguraciones conceptuales a partir del tópico generativo *Radiaciones Ionizantes*.
- Analizar la información recolectada y evaluar la asertividad de la estrategia implementada.



## Justificación

Este trabajo denominado, *Comprendiendo la fenomenología involucrada en la interacción radiación-materia: Estrategia didáctica orientada a la formación tecnológica en los campos de la radiología e imágenes diagnósticas* pensado y propuesto para facilitar la comprensión de la fenomenología asociada con la interacción radiación-materia, a estudiantes de programas tecnológicos en el campo de la radiología e imágenes diagnósticas, es importante porque:

- Permea de forma significativa las ideas preliminares que subyacen en la población –a la que se orientó la investigación- en torno a la radiación ionizante y no ionizante y, a partir de estas, permite reconfigurar unas nuevas posturas acerca de los rayos x, tópico de estudio de gran relevancia, en aras de potenciar habilidades para las prácticas en escenarios hospitalarios de formación estudiantil, en el área de Radiología e Imágenes Diagnósticas.
- Desencadena una variedad de transiciones de las distintas concepciones que optimizan el proceso formativo teórico-práctico en torno a la naturaleza de la radiación, mecanismos de interacción de la radiación-materia, consecuencias de implementaciones adecuadas e inadecuadas de la radiación y principios de protección radiológica.
- Brinda un panorama adicional a los docentes en formación de la Licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional, referente al escenario de práctica pedagógica, orientada en este caso, a niveles educativos de formación tecnológica.
- Es coherente con el Plan de Desarrollo Institucional de la Universidad Pedagógica Nacional (2014-2019), donde se establece que:  
“Orienta su proceso a la formación de maestros y profesionales de la educación en todos los niveles y modalidades del sistema educativo para las diferentes poblaciones que conforman la nación colombiana”, es decir, las implicaciones

docentes deben trascender a todos los niveles donde esté involucrado el proceso de enseñanza.

“Pretende transformar las realidades sociales, reactivando el campo investigativo de la educación y la pedagogía, en conjunción de lo internacional con lo nacional, destacando el compromiso de la sustentabilidad de la vida y el planeta” Con base en esta aspiración educativa, la formación del Licenciado en Física de la Universidad Pedagógica Nacional debe generar otros campos de acción o herramientas que permitan contemplar bajo la óptica de la investigación, las necesidades sociales y ambientales del país.

- Es coherente con la Misión del Departamento de Física: “Formar maestros con sólidos conocimientos en Física, comprometidos con el proceso educativo del país y formar investigadores en el campo de la enseñanza de la Física y de las Ciencias”. A partir de este planteamiento, la formación del futuro licenciado requiere que los niveles de comprensión alcanzados le permitan desenvolverse de forma óptima en los diferentes espacios académicos (variedad de exigencias disciplinares y pedagógicas), en términos educativos e investigativos.
- Orienta el proceso de enseñanza de las radiaciones ionizantes, al fortalecimiento de espacios académicos dedicados a la solución de problemáticas inherentes a esta fenomenología.
- Evidencia un tratamiento interdisciplinar desde la Física, Química, Biología y Pedagogía para una óptima comprensión de la sucesión de eventos asociados al proceso de degradación de energía, durante la interacción radiación-materia, extendiendo las comprensiones consolidadas por el docente en formación, más allá de interacciones físicas.

## **Antecedentes**

Se realiza una revisión de investigaciones recientes bajo criterios de búsqueda que involucra palabras como: Radiación, materia, ionización, mecanismos de interacción radiación-materia, entre otros, pretendiendo indagar sobre las distintas ideas y conceptos que plantean otros autores a nivel local, nacional e internacional, relacionados con el tópico de interés de esta investigación, sobre la radiación ionizante y no ionizante.

### **Antecedente Local**

**Perdigón, B.S., & Bautista, J. (2013). Interacción: Radiación solar-materia y sus efectos en la salud. Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional. Trabajo de grado para optar por el título de Licenciatura en Física.**

Este trabajo, es una investigación de la interacción de la radiación solar con el tejido epitelial, con la intención de que los estudiantes reconozcan los efectos que tiene la radiación ultravioleta e infrarroja sobre la materia. Es una investigación de tipo mixta (cualitativa-cuantitativa); la cual se enfocó en estudiantes de grado 11 y recurrió a la experimentación para concientizarlos acerca de la importancia de conocer los efectos de la radiación solar en el tejido epitelial luego de su exposición a este tipo de radiación. Este referente genera nociones sobre el concepto de radiación, y de cómo esta genera un cambio sobre la materia con la que interactúa.

### **Antecedente Nacional**

**Quintero, P. (2012). Estudio in vitro de la supervivencia en células tumorales irradiadas con un acelerador lineal de uso clínico. Bogotá, Universidad Nacional. Trabajo para optar por el título de Magister en Física Médica.**

Este trabajo permite contextualizar la investigación con relación al proceso que se lleva a cabo para el estudio de los efectos que genera la radiación ionizante (rayos x-electrones) sobre la materia, en este caso, células cancerígenas cultivadas; bajo ciertas condiciones de hipoxia o normoxia (Quintero,2012). Lo anterior permite una aproximación al investigador y al lector a la comprensión de la interacción radiación materia, en un ambiente celular, mecanismos de acción y sus efectos en función del tipo de las condiciones de cultivo y en particular de algunas nociones en torno a la

configuración del cometa observado que facilita una descripción del daño que genera el haz de radiación ionizante en la célula.

### **Antecedente Internacional**

**Gallego, E. (2006). Las radiaciones ionizantes: Una realidad cotidiana. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.**

Este estudio permite concebir que la radiación ionizante está presente en nuestra cotidianidad y que puede ser producida natural o artificialmente; También pone de relieve diversas aplicaciones y el beneficio que estas pueden aportar a la sociedad.

## Capítulo II

### A propósito del marco teórico

Para el desarrollo de la presente investigación, buscando optimizar la comprensión en los estudiantes de radiología a propósito de las radiaciones ionizantes y en particular de los rayos x, se resalta la necesidad de interrelacionar una variedad de concepciones disciplinares, bajo la óptica de la Química, Biología, Física y Pedagogía, orientadas por el enfoque pedagógico *Enseñanza Para la Comprensión* (Stone, 1999) áreas desde donde emerge la interdisciplinariedad de este trabajo para articular y reorganizar las construcciones conceptuales que se dan durante el proceso formativo. Dado que el estudio de la naturaleza de la radiación pone de manifiesto la necesidad de recurrir a estrategias que nos aproximen a concebir aquello que se escapa a la percepción de nuestras facultades sensibles, se establece una ruta desde las particularidades hasta las generalidades de la materia, interrelacionando con la estrategia didáctica como propiciadora de momentos reflexivos para el docente en formación y la población involucrada en el desarrollo de la investigación.

### Sobre el fenómeno y los modelos

La ciencia es una actividad que considera fundamentalmente la transformación representacional y material del mundo (Chamizo J & García A, 2010). La Física es una forma de comprender el mundo, un lenguaje particular, que nos permite conocer el mundo a partir de modelos, representaciones y teorías que se constituyen de las impresiones que tenemos de los eventos naturales, para poder estudiarlos.

### La percepción humana, fenómeno y modelización

En la naturaleza ocurren una variedad de fenómenos relacionados con la radiación ionizante y no ionizante. Nuestro sistema sensorial selecciona la información para luego procesarla y configurar una comprensión en torno a lo percibido, por ejemplo la luz; pero, con relación a lo imperceptible -desde nuestra facultad humana-: rayos x, rayos gamma, ondas de radio, el espectro invisible ¿Cuál sería la estrategia para lograr una comprensión de la fenomenología involucrada en estos tipos de radiación, si somos

incapaces de percibir las de forma natural?, si de acuerdo a lo mencionado por Mosterín en su libro conceptos y teorías en la ciencia “el mundo percibido es la resultante de al menos dos factores: nuestro aparato sensorial y el mundo exterior”. Lo perceptible por nuestros sentidos, vendría siendo la manifestación de la interacción o el efecto, mas no la esencia de los elementos que interactúan. Frente a las manifestaciones que llaman nuestra atención - por ejemplo, la emisión de luz-, consecuentemente se labran estrategias que involucran representaciones u organizaciones a partir de lo percibido, que facilitan la comprensión, no solo de la manifestación, sino de la causa esencial de esta. La estrategia trata de encontrar relaciones entre los múltiples aspectos de nuestras experiencias a propósito de la esencia de las cosas.

La Física -a través de sus diferentes modelos y teorías- nos dota de herramientas para poder comprender el mundo natural y sus interacciones, así pues, se hace necesario para el propósito del autor de esta propuesta, la consolidación de los elementos que se han venido considerando hasta nuestros días para aproximarnos a la comprensión sobre diversas fenomenologías, es decir, situaciones que tienen que ver con el mundo natural y que son objeto de estudio; las radiaciones son un ejemplo de ello.

### **Acerca de la hipótesis atómica y consolidación de la materia**

La filosofía marcó las primeras pautas a la hora de proponer una concepción para la estructura de la materia. Respecto a la obra previamente mencionada de Mosterín “fue Aristóteles quien en esencia propuso que hay cuerpos simples inalterables, ingenerables e indestructibles, sean estos los que sea”. Además, se resalta que “el énfasis de este filósofo para la explicación sobre la materia, se fundamentaba en la disposición estructural en conjunto con los elementos que él consideraba la constituía; que contrastaba con otros filósofos cuyo énfasis giraba en torno a las propiedades y funcionamiento del sistema compuesto de la materia”

En el siglo XVII la connotación del concepto de materia se modificaría una vez, a partir de la consolidación de la Ciencia Física, dado que la interpretación de algunos fenómenos relacionados con el comportamiento de la materia no se adaptaba al modelo propuesto, “Newton propone considerar la materia en forma de partículas sólidas, masivas, duras, impenetrables y móviles, con tales tamaños y figuras, con tales otras

propiedades y en proporción tal al espacio que resulten lo más apropiadas al fin para el que fueron creadas” en los escritos de Mosterín. Referente a la concepción de cuerpo, Aristóteles, lo describía como una categoría continua circunscrita por la línea o la superficie, los imitantes, la forma. Para Léukippos y Demókritos tenía relación con lo vital (soma) (Mosterín, 2008). Ahora bien, a partir de la reflexión acerca de los conceptos de cuerpo y materia y la coexistencia de estos, se avanza en la consolidación del atomismo, hipótesis científica, propuesta desde la química. El atomismo, posibilitó la formulación de la ley de Proust o ley de proporcionalidad que dice que “todos los compuestos tienen unas proporciones definidas y fijas de sus elementos componente” (Mosterín, 2008), es decir que independientemente de la proporción del peso seleccionada de un elemento –A- para ser mezclada con otro elemento-B-, el producto de la mezcla sería el mismo, tendría solo una manera para obtener un elemento C.

John Dalton, también apoyado en la hipótesis atómica propone una modificación a la ley de Proust: Los mismos elementos químicos pueden combinarse de más de una manera, dando lugar a sustancias diferentes, no necesariamente una (Mosterín, 2008). Esta generalización por parte de Dalton lo llevó a consolidar su ley de las proporciones múltiples, fundamentada a partir de la hipótesis atómica; supuesto que facilitaría la explicación de las leyes cuantitativas de la química.

A partir del descubrimiento de los rayos x en 1895 y de la radiactividad 1896, se fue develando que las concepciones atomistas carecían de modelos o teorías para la comprensión de estos fenómenos.

En consecuencia Thompson y Rutherford proponen algunos modelos atómicos para la descripción de la materia y su estabilidad. El infructuoso logro con el que acarrearían estos procesos de modelización llevaría a Bohr a forjar los primeros eslabones, cruciales, para un cambio de paradigma, respecto las teorías y modelos propuestos hasta ese momento por la física clásica.

## Modelos atómicos, estructura y estabilidad de la materia

### Modelo atómico de Thomson

Luego de que en 1897 Thomson descubriera el electrón, algunos años después propone una teoría sobre la estructura atómica de la materia, en la cual el componente fundamental constituye una esfera de materia con carga positiva distribuida uniformemente y, dentro de esta se encuentran los electrones -corpúsculos- distribuidos en todo su volumen, en la misma proporción que las cargas positivas, dando cuenta de la neutralidad atómica (figura1).

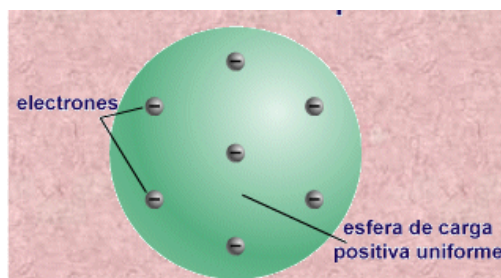


Figura 1 Modelo atómico de Thomson. Recuperada de:  
<http://s4.thingpic.com/images/Eu/kARSrGKgnbypSd4sTc4c5m8t.gif>.

Años después, este modelo encuentra los primeros problemas, al no poder explicar efectos como los observados por Mardsen y Geiger –estudiantes de Rutherford- en su experimento de dispersión de partículas alfa ( $\alpha$ ). Lo novedoso en este experimento, fue observar que algunas de las partículas alfa incidentes, eran desviadas significativamente, lo cual solo podría ser explicado por un fuerte campo eléctrico repulsivo generado dentro del átomo.

Con una lámina delgada de oro –de espesor casi despreciable-, según este modelo, las partículas incidentes no serían desviadas significativamente respecto a su trayectoria incidente, sin embargo la evidencia experimental mostró algo diferente, lo que llevó a que años más tarde Rutherford propusiera una modificación sustancial al modelo.

### Modelo atómico de Rutherford

En vista de la imposibilidad del anterior modelo para justificar la presencia de un campo eléctrico significativo causante de las desviaciones registradas, en el experimento



de dispersión de partículas  $\alpha$ , Rutherford propone un nuevo modelo (figura 2) para explicar la estructura de la materia.

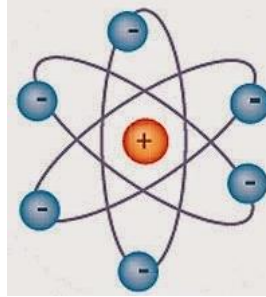


Figura 2 Modelo atómico de Rutherford: Recuperado de: <http://1.bp.blogspot.com/-0DCC53fljh8/U1HeTYpIBrI/AAAAAAAAAC4/LxbRR-Z4AQs/s1600/rutherford+atomo.jpg>.

La diferencia fundamental de este modelo, respecto al modelo de Thomson, radicaba en la distribución de la carga positiva del átomo, que en este nuevo modelo se consideraba concentrada, en lo que se conoce hoy como el núcleo atómico. Con base en esto, surge la idea de un fuerte campo eléctrico producido por dicha concentración de cargas. Ahora bien, considerando que la partícula alfa tiene carga positiva, hay una fuerza de repulsión sobre esta que dependerá de que tan cerca se dé la incidencia respecto a la superficie del núcleo, lo que se traduce en la desviación observada.

Desde el surgimiento de este modelo se presentaron las primeras dificultades, pues la teoría electromagnética predice que cualquier carga eléctrica acelerada emite radiación, es decir, cede energía al medio, con lo cual, los electrones perderían energía de forma continua, ocasionándose un cambio en el radio de su órbita, con la respectiva modificación hacia trayectorias en forma de espiral (figura 3). Dado esto, la distancia de los electrones al centro atómico disminuiría con el paso del tiempo, hasta confluir en el núcleo, generando una desintegración atómica.

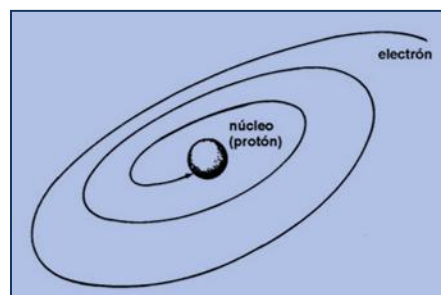


Figura 3 Modelo atómico inestable -E. Rutherford. Recuperada de: Acosta V., Cowan C. y Graham B. p 126.

El problema que presentó este modelo, tiene que ver con la falta de coherencia respecto a la evidencia experimental, en la que se resalta la estabilidad de la materia en contraposición a las desintegraciones esperadas de acuerdo a la pérdida de energía de los electrones en su trayectoria. Por otra parte, esta representación describe el espectro de la radiación emitida por un átomo de forma continua, contrario a lo que establece la espectroscopia, donde se evidencia su naturaleza discreta.

En consecuencia, el modelo atómico de Rutherford no explica la estabilidad de la materia ni la existencia de los espectros atómicos discretos, a pesar de haber establecido la existencia del núcleo atómico (García M & De-Geus J, 2008).

### Modelo atómico de Bohr

Bajo la óptica de la Física Clásica, se buscaba explicar el modelo atómico de Rutherford y comprender por qué este fallaba frente a la comprensión de la estabilidad de la materia y el comportamiento discreto que esta manifestaba. En 1913, Niels Bohr propone un nuevo modelo, que toma como fundamento las ideas de Max Planck, en particular sobre la cuantización de la energía: “un oscilador sólo emite energía cuando pasa de un estado mayor de energía a otro de menor energía” (García, M. y De-Geus, J. 2003), (figura 4).

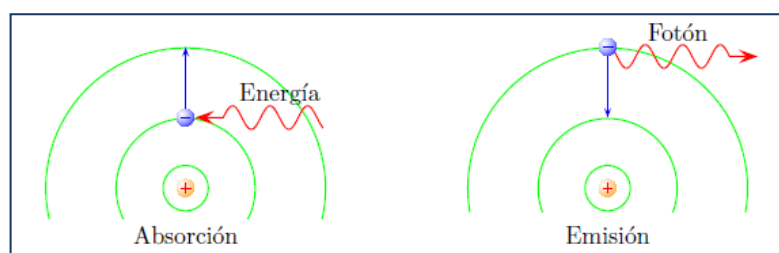


Figura 4 Modelo atómico de Bohr. Recuperado de: [https://sites.google.com/site/jfmelero/\\_/rsrc/1448654592533/1-Bachillerato-Fisica-y-quimica/modelos-atomicos/bohr.png](https://sites.google.com/site/jfmelero/_/rsrc/1448654592533/1-Bachillerato-Fisica-y-quimica/modelos-atomicos/bohr.png)

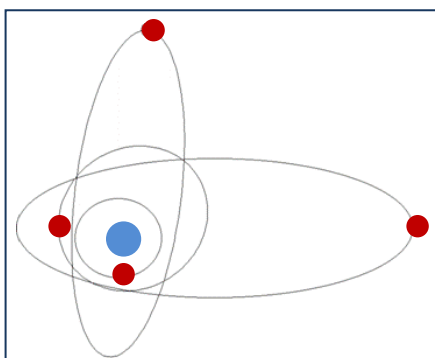
Bohr entendía que el movimiento del electrón describía una trayectoria circular en torno al núcleo atómico, en consecuencia, la emisión de radiación electromagnética era causada luego de las transiciones de los electrones desde un estado de mayor energía a uno de menor energía; con base en este planteamiento, dedujo la existencia de estados estacionarios, caracterizados por órbitas y energías permitidas. Adicionalmente,

introdujo el concepto de emisión o absorción de radiación electromagnética en el átomo, para lo cual se consideran los estados en lo que se da la transición.

El problema central de este modelo tenía que ver con la caracterización de la energía emitida por el electrón. Pues, planteaba que si un electrón describiera transiciones en todas las orbitas posibles, emitiría toda la energía luminosa, lo cual no es cierto, y claramente estaría en contra de la concepción de emisión discreta que identifica cada elemento.

### **Correcciones al modelo de Bohr y otras propuestas para la estructura atómica**

Hacia 1916 el físico Alemán Arnold Sommerfeld, retomó elementos de la teoría de la relatividad, de Albert Einstein, modificando el modelo de Bohr en lo que corresponde a niveles energéticos y proponiendo una corrección relativista en las velocidades de los electrones (figura 5).



*Figura 5* Modelo atómico de Sommerfeld. Recuperado de:  
<http://navarrof.orgfree.com/Docencia/Quimica/UT1D/bohrsommerfeld.gi>

Sommerfeld, reconfiguró la idea de Bohr respecto a los niveles energéticos, planteando que en un nivel energético puede haber subniveles que corresponden a diferentes características. Esto se explica con una modificación de las órbitas que describen los electrones, permitiendo órbitas elípticas, lo que implica la asignación de un nuevo número cuántico -el número azimutal-. La forma elíptica hizo necesario fundamentar el postulado a partir de un semieje mayor y menor asociado a un número cuántico principal y secundario respectivamente. Convencionalmente, el número

cuántico principal, representado por la letra  $n$ , se asocia al valor del semieje mayor y el número cuántico secundario, representado por la letra  $l$ , fija el valor del semieje menor.

Posteriormente y a la luz de la teoría cuántica, en 1924 Erwin Schrödinger planteó un modelo ondulatorio, considerando los electrones como ondas de materia distribuidas en el espacio y asociando los orbitales a la probabilidad de encontrar electrones en una determinada región alrededor del núcleo. Es un modelo cuántico no relativista y para su interpretación, a cada electrón se le asocia un conjunto de números cuánticos: principal ( $n$ ) que corresponde al nivel energético, secundario ( $l$ ) que se asocia con los sub-niveles de energía, magnético ( $m$ ) que define la orientación del orbital frente a campos magnéticos externos y de espín ( $s$ ) que representa el sentido de rotación del electrón.

En 1928 Paul Dirac, introduce correcciones relativistas a la interpretación cuántica de la estructura atómica, poniendo de relieve lo que hoy se conoce como Mecánica Cuántica Relativista.

Finalmente, es necesario resaltar que la evidencia experimental condujo a modificaciones sustanciales en los modelos atómicos descritos en este apartado. En 1918, a partir de uno de los experimentos de Rutherford, se propuso la existencia de partículas con carga positiva –Protón- y, en 1932 a partir de los trabajos experimentales de Chadwick, se concluyó la existencia del neutrón.

### **Interacción Radiación – Materia**

La radiación, ya sea de naturaleza corpuscular o electromagnética, se caracteriza por tener la capacidad de penetrar la materia e interactuar con los átomos que la constituyen, a través de distintos mecanismos de interacción de tipo elástico o inelástico. En estos mecanismos, la radiación cede parte o toda su energía, la cual es absorbida por el medio material que está atravesando. Los mecanismos que se manifiestan en la interacción radiación-materia, dependen del tipo de radiación y de las propiedades del medio.

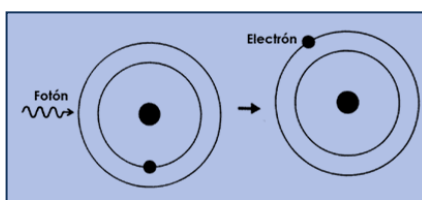
### **Mecanismos para la degradación de energía de las partículas cargadas**

Las partículas cargadas interactúan con los átomos del medio -degradando su energía cinética-, colisionando de forma elástica o inelástica con el átomo. En consecuencia, hay

una transferencia energética -parcial o total- de la partícula que incide a la estructura atómica. La pérdida de energía es sucedida por la interacción electromagnética entre la partícula incidente y los electrones atómicos, estas interacciones pueden ser de tipo elástico, donde la partícula cargada sufre deflexión angular, o inelástico, caso en que la energía incidente es absorbida por el átomo, excitándolo o ionizándolo. Las partículas también pueden interactuar con los núcleos atómicos. En general, la interacción de las partículas cargadas con el átomo, se considera de tipo culombiano. La pérdida de energía de las partículas acontece por los procesos de ionización, excitación y radiación de frenado.

### **Excitación**

Es el cambio de estado energético (ocupar otro orbital) de un electrón dentro de la estructura atómica, ocurre cuando la energía trasferida al átomo no supera la energía necesaria para ionizarlo. Este proceso es sucedido por una emisión de radiación electromagnética, mecanismo por el cual el átomo vuelve a su estado fundamental, de mínima energía (Figura 6). Cada átomo puede ser excitado por un mínimo de energía cinética, capaz de sacarlo de su estado fundamental; esto es, el potencial de excitación.



*Figura 6* Representación de excitación. Recuperado de:  
[bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/105/htm/sec\\_5.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/105/htm/sec_5.htm)

### **Ionización**

Es el desprendimiento de un electrón del átomo, luego de una interacción inelástica entre una partícula -incidente -cargada o no- con los electrones. En este fenómeno, es necesario que la energía incidente sea superior a la energía de enlace del electrón (Figura 7). El desprendimiento del electrón modifica la estructura de la materia, creando un ión positivo -dado el exceso de protones en el átomo- y un ión negativo -el electrón desprendido.

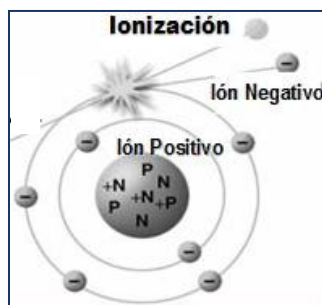


Figura 7 Modelo de Ionización. Recuperado de: [http://www.estrucplan.com.ar/Boletines/0825/seh\\_03.jpg](http://www.estrucplan.com.ar/Boletines/0825/seh_03.jpg).

Los electrones liberados en este proceso tienen la posibilidad de producir nuevas ionizaciones en otros átomos, concebidas como ionizaciones secundarias. A partir de este proceso, se facilita la descripción de las causas del posible daño biológico producido por las radiaciones.

### Radiación de frenado

Según la electrodinámica clásica, cuando una partícula cargada es acelerada, emite radiación electromagnética. Este tipo de emisión también es denominada radiación Bremsstrahlung<sup>2</sup>, y se genera cuando una partícula cargada penetra la estructura atómica e interactúa con el campo eléctrico producido por el núcleo (Figura 8).

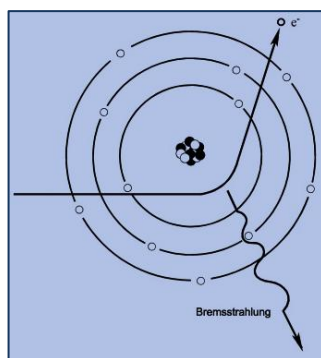


Figura 8 Representación de la radiación de frenado. Recuperada de : [http://2.bp.blogspot.com/\\_js6wgtUcfdQ/TLyBoNpFQel/on\\_Bremsstrahlung\\_1.png](http://2.bp.blogspot.com/_js6wgtUcfdQ/TLyBoNpFQel/on_Bremsstrahlung_1.png)

Dado que la aceleración de la partícula cargada se debe a un efecto coulombiano, la radiación de frenado será más intensa, cuanto mayor sea la proporción del número de cargas eléctricas, tanto de la partícula incidente como del medio con el que interactúa.

<sup>2</sup> Bremsstrahlung en Alemán significa radiación de frenado. Bremsen-frenar- y Strahlung-radiación-.

De igual manera, manifiesta una proporción inversa respecto a la masa de la partícula cargada incidente (Ortega A & Jorba B, 1994).

### **Mecanismos para la degradación de energía del fotón**

Dada la ausencia de masa y carga eléctrica del fotón, este no podría ionizar la materia de forma directa, sino de forma secundaria a través de su interacción con partículas materiales, como los electrones, principalmente. Cuando un fotón interactúa con un átomo, cediendo parte o toda su energía, se puede generar una transición electrónica que conlleva posteriormente a la emisión de radiación electromagnética. Los rayos x característicos son un ejemplo de dicho proceso; Estos se producen por la transición entre dos estados energéticos de un átomo. Otra clase de radiación ionizante son los rayos gamma, que se producen cuando la transición ocurre entre los estados energéticos de un núcleo. A pesar de su distinto origen, ambos tienen la misma naturaleza, son radiaciones electromagnéticas (Aramburu, X. & Bisbal, J. 1994) y pueden ser relacionadas en función de su energía, la cual es distinta.

La energía  $E$  de un haz de fotones, puede ser descrita en términos de la constante de Planck  $h$  y la frecuencia  $f$ , característica de cada tipo de radiación.

$$E = hf$$

La degradación de energía de los fotones en la materia se da a través de los siguientes mecanismos:

### **Efecto fotoeléctrico**

Es una interacción de tipo inelástica, que ocurre cuando al incidir un fotón en el átomo, toda la energía de este es absorbida por un electrón. Antes de la incidencia del fotón, los electrones se encuentran en su estado de mínima energía. Una vez ocurre la interacción, el estado energético del electrón es alterado, su energía de enlace es superada lo que ocasiona el desprendimiento de esta partícula de la estructura atómica (Figura 9).

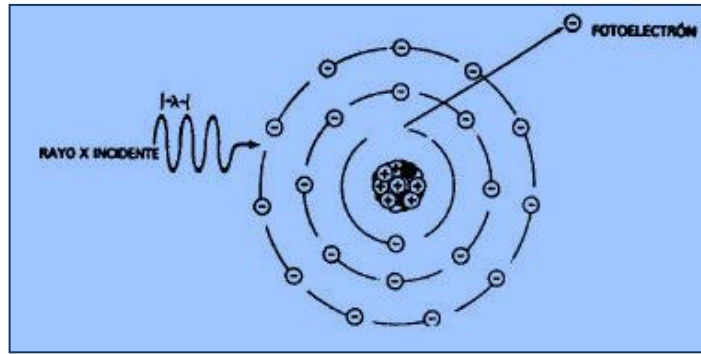


Figura 9 Efecto fotoeléctrico. Recuperado de: <http://mednuclear.wdfiles.com/local--files/interacción-de-fotones-con-la-materia/figura2.jpg>.

La energía que prevalece en el electrón liberado, fotoelectrón, luego de la interacción, será el resultado de la diferencia entre la energía del fotón incidente y la energía de enlace (dependerá de la capa atómica en donde esté ubicado) de la partícula ionizada. Este mecanismo prevalece en la interacción de fotones de baja energía. El electrón desprendido deja una vacante, que provoca una reconfiguración de los elementos atómicos en particular de los electrones; que transitan de una órbita superior hacia una inferior, emitiendo radiación electromagnética característica de las transiciones -rayos x característicos-.

### Efecto Compton

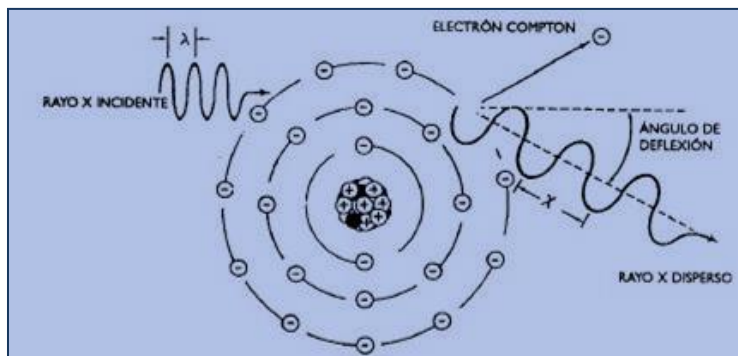


Figura 10 Efecto Compton. Recuperada de: <http://mednuclear.wdfiles.com/local--files/interacción-de-fotones-con-la-materia/figura4.jpg>.

Es una colisión elástica, proceso en el que incide un fotón e interactúa con un electrón de valencia; el fotón incidente pierde parte de su energía al interactuar con un electrón atómico. El fotón dispersado es emitido con energía menor respecto a la energía



incidente (Figura 10). Consecuentemente las energías del fotón disperso y el electrón desprendido se distribuyen de tal forma que estas se conservan.

### Producción de pares

La producción de pares (figura 11) es un mecanismo que prevalece en fotones de alta energía, fotones incidentes cuya energía sea igual o mayor que 1,022 MeV. Consiste en la transformación de un fotón en un par electrón-positrón, que son eyectados si hay energía excedente (Ortega A & Jorba B, 1994). La condición para que ocurra este proceso, es que la energía del fotón incidente sea como mínimo, el doble de la energía en reposo del electrón- 1.022MeV-.

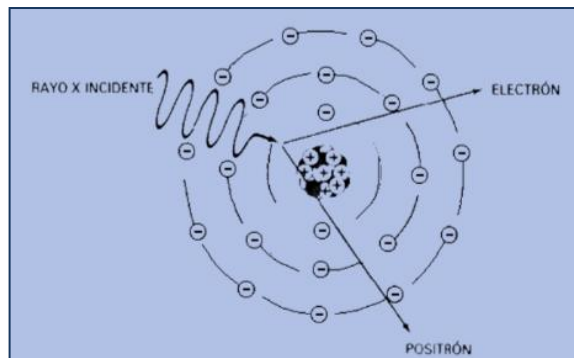


Figura 11 Modelo de Producción de pares. Recuperada de: *Estrategia nacional para la prevención, atención y monitoreo de riesgos radiológicos. Curso de protección radiológica para el manejo de material radiactivo.* INGEOMINAS. Bogotá 2002.

### Efectos de la radiación ionizante en los tejidos, aproximación desde la Radiobiología

Los efectos que produce la radiación en la materia se explican principalmente por la transferencia de energía, a la estructura atómica del medio, a través de los diferentes mecanismos de interacción -Efecto Compton, Efecto Fotoeléctrico, Producción de pares, Excitación, Ionización y Radiación de frenado-, proceso que se desencadena en periodos de tiempos muy cortos, del orden de los  $10^{-18}$  segundos (SEFM, 2016)

Referente a la radiación, la ionización y la excitación, mecanismos de interacción de las partículas cargadas con la materia, son las principales causas de los efectos en los tejidos vivos, dado que son estos mecanismos los que modifican la materia, alterando su

equilibrio electrónico. Frente a dicho agente físico, en general, se tiene un imaginario colectivo relacionado con el efecto, que se refiere a la radiación como una entidad física dañina y perjudicial para la salud, la causa de cáncer es un ejemplo de ello. Sin embargo, en procedimientos terapéuticos con radiaciones, el efecto de este agente físico juega otro papel, curar.

En este apartado se abordan los efectos que la radiación produce en la materia, ya no desde la perspectiva física -mencionada anteriormente-, sino desde una perspectiva interdisciplinaria entre química y biología, disciplinas que también juegan un papel relevante en la descripción de los mecanismos de la interacción radiación-materia; por tanto, aproximarse a describir los efectos de la radiación en la célula serán el eje central de lo descrito a continuación.

Para comprender la causa y manifestación de los efectos en individuos y sus tejidos es necesario establecer una estrategia orientadora, partir desde lo particular -materia- hacia lo general-individuo-: Un cuerpo o una sustancia se configura por átomos o por grupos de átomos denominados moléculas. Un diámetro molecular es del orden de  $10^{-10}$  metros.

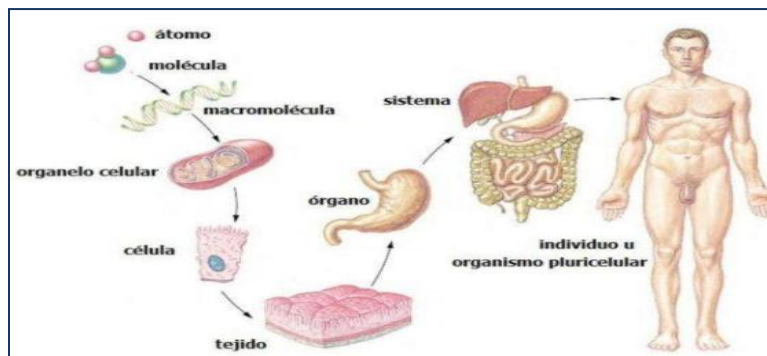


Figura 12 Representación de la forma que se configura un individuo: Átomos, moléculas, macromoléculas, organelos, células, tejidos, órganos y sistemas. Recuperado de: <http://biologiaesfacil.blogspot.com.co/2010/02/niveles-de-organizacion-de-los-seres.html>

Las moléculas cohesionan y garantizan su estabilidad a través de distintos enlaces atómicos; la combinación de distintas moléculas forman macromoléculas, el Acido desoxirribonucleico –ADN- es un ejemplo de ello.

La célula se concibe como la unidad fundamental de un organismo en términos de su capacidad reguladora de reproducción. Esta entidad hace referencia a un grupo de macromoléculas que caracterizan su funcionalidad. La asociación celular forma un tejido característico –conectivo, epitelial, muscular y nervioso- cuya denominación es en función de la estructura física y función. Del mismo modo, como antes se ha venido mencionando, ocurren asociaciones entre tejidos para configurar un sistema y luego entre sistemas, para conformar un individuo.

Los efectos de la radiación ionizante sobre un tejido se manifiestan cuando el material de ácido desoxirribonucleico-ADN, ubicado en el núcleo de la célula se modifica por la exposición a este tipo de radiación. En concordancia con lo mencionado hasta el momento en este apartado, la célula viene siendo el blanco de incidencia e interacción de la radiación, para desencadenar una secuencia de efectos que recurren a mecanismos subcelulares para su manifestación. Dado este marco referencial, la interacción y depósito de energía ocurre en las moléculas que configuran la célula produciendo efectos físicos, químicos y biológicos; los primeros –físicos- ya fueron abordados en la sesión anterior.

En el proceso que va desde la interacción física hasta el daño biológico tienen un papel determinante los mecanismos, estrictamente biológicos, de control del ciclo celular, así como los de señalización y reparación de las lesiones que ocurren en el interior de la célula (SEFM, 2016). Bajo la perspectiva celular y subcelular yacen los elementos conceptuales descriptivos que se entrelazan y suceden a los efectos físicos para construir una concepción apropiada de los efectos dañinos y/o curativos de la radiación ionizante.

Dado que hasta el momento se ha hecho énfasis en los mecanismos físicos de degradación de energía como desencadenantes de las modificaciones en la materia, resulta coherente continuar con la descripción del proceso, extenderlo más allá de la excitación y la ionización. Por lo tanto, es necesario orientar nuestro pensamiento a configuraciones moleculares para comprender las distintas interacciones subcelulares y sus consecuencias químicas y biológicas. La interacción de la radiación con una

molécula orgánica<sup>3</sup> ocurre en  $10^{-18}$  segundos, tiempo que tarda la radiación en atravesar dicha molécula (SEFM, 2016). La consecuencia de la interacción radiación-molécula es la ionización, proceso que altera sus propiedades químicas en magnitudes significativas; y la excitación cuyas consecuencias se presentan en menor magnitud.

A continuación se observa una tabla donde se describen los eventos involucrados en la interacción de la radiación con la materia -átomos- que configura la célula, en función del tiempo (tabla 1).

Tabla 1 *Secuencia de eventos subcelulares a partir de la incidencia de una partícula, excitación e ionización.*

Etapa	Tiempo	Suceso
<b>Física</b>	$10^{-18}$ s	Una partícula cruza una molécula
	$10^{-15}$ s	Intervalo entre ionizaciones sucesivas
<b>Físico-Química</b>	$10^{-14}$ s	Disociación de moléculas excitadas. Comienzo de reacciones
	$10^{-13}$ s	Termalización de electrones y disociación de estados excitados
	$10^{-12}$ s	Difusión de radicales
<b>Química</b>	$10^{-11}$ s	Solvatación de electrones
	$10^{-10}$ s	Completadas las reacciones de difusión rápida
	$10^{-8}$ s	Productos moleculares formados. Decaimiento de excitaciones
		Distribución de radicales homogénea
	$10^{-7}$ s	Captura de radicales por moléculas reactivas
	$10^{-6}$ s	Decaimiento de excitaciones
	$10^{-3}$ s	Concluyen las reacciones químicas
<b>Biológica</b>	1 s	
	>1 s	Se inicia la respuesta biológica al daño celular
	Horas	Concluye la acción de los mecanismos reparadores
	Días	Aparición de los efectos tisulares agudos
	Meses	Aparición de efectos tisulares tardíos
	Años	Manifestación del daño carcinogénico

Sociedad Española de Física Médica. *Secuencia temporal de acontecimientos subcelulares tras un suceso de interacción.* Recuperada de: *Fundamentos de Física Médica, Radiobiología y principios de Oncología.* ADI servicios editoriales.

<sup>3</sup> Se refiere a las moléculas que están compuestas de Carbono; elemento enlazado por medio de un enlace covalente con otros elementos: Oxígeno, Nitrógeno, halógenos fósforo, para consolidar una estructura orgánica (SEFM, 2016).

Una vez observada la tabla 1 se identifica una gama de eventos, entre la fase física y la biológica, que describen la ocurrencia de reacciones –causadas por la excitación e ionización- que con el tiempo serán manifiestas en los efectos sobre el tejido vivo.

En cuanto la molécula es perturbada por un agente físico, en nuestro caso la radiación ionizante, se desencadenan una serie de reacciones que aumentan la probabilidad de formación de radicales químicos<sup>4</sup> muy reactivos. Reactivos en el sentido de que átomos o moléculas quedan inestables por la ausencia de un electrón-ionizado-, propenso a la formación de nuevos compuestos.

La molécula de agua, por su abundancia (más del 80% de la masa celular), será el blanco más común de estas ionizaciones y excitaciones iniciadoras, que no son selectivas más allá de lo que viene condicionado por las secciones eficaces de interacción de los distintos átomos, y como resultado de estas interacciones se producirá la radiolisis de esta molécula, reacción que requiere al menos 13 electronvoltios, o la inducción de un estado molecular excitado ( $H_2O^*$ )<sup>5</sup>, lo que requiere al menos 7,3 eV (SEFM, 2016) . Se trata, entonces, de concebir que para que ocurra la radiolisis se requiere una energía incidente mínima que desencadene el evento. Los efectos de interés biológico derivan de la interacción radiación-molécula de agua, en tanto que dicha molécula representa la mayor composición molecular de una célula. Ahora bien, como la energía depositada por la radiación ionizante en la molécula es la causa de los efectos; se debe describir el proceso para que esto ocurra: Durante el recorrido de la radiación en el medio celular se generan procesos discretos de ionización. Los elementos moleculares ionizados, luego de ser desprendidos de su estructura, inciden en otras moléculas de su entorno adyacente. La reorganización molecular –después de la ionización- dependerá de la distancia molécula-molécula, pues en tanto más distante se encuentre el ion positivo del ion negativo menos probable será la interacción para lograr el equilibrio electrónico, menos reacciones químicas. El proceso llevado a cabo desde la ionización hasta la reorganización química descrita culmina a los  $10^{-17}$  segundos, aun sin manifestación de los mecanismos y efectos biológicos.

---

<sup>4</sup> Según la Real Academia Española es la agrupación de átomos que intervienen como unidad en un compuesto químico, capaces de pasar de unas combinaciones a otras, por sus propiedades electrónicas.

<sup>5</sup> Representación simbólica de la molécula de agua, en estado de excitación.

$10^{-7}$  segundos es el tiempo referencial en que las reacciones químicas decrecen y a la vez la molécula de agua captura los radicales libres y las moléculas excitadas retornan a su estado estacionario. Desde este referente el medio recupera su normalidad transcurrido, aproximadamente, un segundo (SEFM, 2016).

En concordancia con la tabla 1 la secuencia de eventos se orienta por medio de las siguientes etapas:

### **Fase física**

Esta etapa ocurre en el intervalo que va desde cero hasta  $10^{-15}$  segundos; fase donde se deposita la energía, se excitan y/o ionizan los átomos de la molécula, y una vez el estímulo desaparece, es decir la radiación incidente, se inicia el proceso de relajación de los electrones hasta su estado estacionario. La consecuencia de la interacción es la formación de agua ionizada ( $H_2O^+$ ), agua excitada ( $H_2O^*$ ) y electrones libres ( $e^-$ ) (SEFM, 2016). En lo sucesivo al proceso mencionado, acontece una transición que relaciona los procesos físico-químicos.

### **Fase físico-química**

Etapla caracterizada por la ocurrencia de reacciones entre iones y moléculas; por ejemplo reacciones entre molécula de agua; una ionizada y la otra no ionizada ( $H_2O^+ + H_2O \rightarrow H_3O^+ HO^\bullet$ ).  $HO^\bullet$  corresponde a un oxidante<sup>6</sup> (SEFM, 2016).

A esta etapa también se le atribuyen otros procesos, como son la relajación disociativa -que tiene que ver con la producción de un oxidante y un reductor a partir de una molécula de agua excitada ( $H_2O^* \rightarrow HO^\bullet + H^\bullet$ ) donde  $H^\bullet$  corresponde al reductor<sup>7</sup>-; captura electrónica -que es la producción de un reductor a partir de la interacción entre un electrón y un átomo de hidrógeno ionizado ( $e^- + H^+ \rightarrow H^\bullet$ )- y finalmente, la solvatación de electrones por moléculas de agua -entendida como la producción de electrones acuosos a partir de la interacción entre electrones y moléculas de agua ( $e^- + H_2O \rightarrow e^-_{acuoso}$ )-.

---

<sup>6</sup> Hace referencia a la ganancia de electrones; de acuerdo a esto se dice que se reduce.

<sup>7</sup> Hace referencia a la pérdida de electrones, de acuerdo a esto se dice que se oxida

La consecuencia que resulta relevante en esta fase corresponde a la formación de dos radicales, HO<sup>•</sup> y H<sup>•</sup>, que se caracterizan por ser muy reactivos.

### Fase química

Periodo comprendido entre 10<sup>-12</sup> y 10<sup>-16</sup> segundo. Las características que subyacen en esta fase tienen que ver con la recombinación de los elementos electrónicos y moleculares productos de la fase físico-química; se hace referencia al oxidante (HO<sup>•</sup>), reductor (H<sup>•</sup>), electrón acuoso (e<sup>-</sup><sub>acuoso</sub>) y la molécula de agua. A continuación (tabla 2) se observan algunas reacciones:

Tabla 2 *Algunas reacciones químicas entre el agente oxidante, reductor, electrón acuoso y molécula de agua.*

Reacción química	Nombre del producto que resulta de la reacción
$\text{HO}^{\bullet} + \text{HO}^{\bullet} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	Peróxido de hidrógeno
$\text{HO}^{\bullet} + \text{e}^-_{\text{acuoso}} \rightarrow \text{OH}^-$	Grupo Hidroxilo
$\text{HO}^{\bullet} + \text{H}^{\bullet} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	Agua
$\text{H}^+ + \text{e}^-_{\text{acuoso}} \rightarrow \text{H}^{\bullet}$	Agente reductor
$\text{H}^{\bullet} + \text{H}^{\bullet} \rightarrow \text{H}_2$	Dos átomos de hidrógeno
$2\text{e}^-_{\text{acuoso}} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$	Dos átomos de hidrógeno y dos moléculas de grupo Hidroxilo
$\text{e}^-_{\text{acuoso}} + \text{H}^{\bullet} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \text{OH}^-$	Dos átomos de hidrógeno y un grupo hidroxilo

Sociedad Española de Física Médica. *Reacciones que ocurren en la tercera etapa, la fase química.* Recuperada de: Fundamentos de Física Médica, Radiobiología y principios de Oncología. ADI SERVICIOS EDITORIALES.

### Fase biológica

Una proceso a resaltar es el que hace reaccionar dos agentes oxidantes para producir peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), compuesto menos reactivo que HO<sup>•</sup>, H<sup>•</sup> y e<sup>-</sup><sub>acuoso</sub>; sin embargo, dicho compuesto puede causar mucho más daño en la célula porque tiene menores radios de reacción, es decir que entre más cerca este de la molécula más probable es que reaccione y se neutralice. También la capacidad de causar daño se relaciona con coeficientes de difusión, que para estas sustancias es mayor, especialmente para el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. El coeficiente de difusión representa la facilidad de movimiento del soluto

en un medio solvente hasta lograr su neutralidad; por lo tanto, para el peróxido de hidrógeno y las demás sustancias el daño subcelular será mayor. En la tabla 3 se expresan el coeficiente de difusión y radios de reactividad de los radicales libres mencionados en la tabla 2.

Tabla 3 *Coefficientes de difusión -D- y radios de reactividad -R- de algunas especies químicas implicadas en la radiolisis*

<b>Especie</b>	<b>D(x10<sup>-5</sup> cm<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>)</b>	<b>R(x10<sup>-8</sup> m)</b>
HO <sup>•</sup>	2	2,4
e <sup>-</sup> acuoso	5	2,1
H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	8	0,3
H <sup>•</sup>	8	0,4

Sociedad Española de Física Médica. *Secuencia temporal de acontecimientos subcelulares tras un suceso de interacción*. Recuperada de: *Fundamentos de Física Médica, Radiobiología y principios de Oncología*. ADI SERVICIOS EDITORIALES.

En un medio irradiado la producción -aproximada- de radicales libres acontece de forma proporcional a la dosis absorbida. Además, dicha producción depende en gran medida del tipo de radiación incidente y del ambiente celular -principalmente el PH<sup>8</sup>- (SEFM, 2016). En conclusión, los diferentes radicales libres influyen en el efecto biológico que produce cada tipo de radiación, pues, la energía depositada en la materia depende en nuestro caso del tipo de molécula y del tipo de radiación incidente que difiere en su transferencia lineal de energía-TLE-.

La TLE se concibe como la pérdida continua de energía de la partícula incidente por unidad de longitud de su recorrido; en el caso de electrones de baja energía, puede ocurrir por ionización y/o excitación de los átomos, si se trata de electrones de alta energía resultan significativas las pérdidas por radiación de frenado (Ortega, 1996). Entonces, cabe resaltar que la radiación ocasiona el daño en la materia, de forma directa e indirecta; la forma directa es en la que la radiación ioniza las moléculas y la indirecta, en la que los electrones y fotones de baja energía son absorbidos por la materia, ionizándola.

<sup>8</sup> Representa el potencial de hidrógeno de una solución.



En la materia viva, el daño más importante de la radiación es debido a la ruptura de moléculas de ADN, ocasionado por los iones. Una pequeña parte de las moléculas de ADN se rompen por interacción directa con la radiación primaria, mientras que la mayor parte se rompen por interacciones con iones secundarios creados por la radiación, es decir los radicales libres que ya mencionamos.

Dado que este documento ha venido considerando un entramado de concepciones desde diferentes áreas disciplinares en torno al tópico de las radiaciones ionizantes y no ionizantes, se hace necesario considerar otro elemento relevante fundamental de esta investigación, el enfoque pedagógico Enseñanza Para la Comprensión, que proporciona al docente un lenguaje y una estrategia en pro de sus esfuerzos por desarrollar habilidades en la población involucrada para explicar e identificar evidencias para luego generalizarlas a través de analogías y representaciones que reconfiguren sus concepciones previas, a propósito del tópico generativo previamente mencionado.

### **A propósito de la estrategia didáctica**

Como antes se enunció, comprender los modelos y teorías involucradas en la fenomenología de las radiaciones ionizantes y no ionizantes, y reflexionar sobre estas, constituye el núcleo de la estrategia pedagógica. En esta investigación se considera el modelo pedagógico cuyo enfoque es la Enseñanza para la Comprensión *EpC*.

Los inicios de la *EpC* se remiten al año 1988 gracias a los esfuerzos de los docentes, miembros de la escuela de graduados de educación de Harvard, Howard Gardner, David Perkins y Vito Perrone por dar respuesta a preguntas como ¿Qué significa comprender algo? y ¿De qué manera desarrollan la comprensión los estudiantes? Frente a esto se dedican a diseñar, durante un año, un proyecto para desarrollar durante los siguientes años, en torno a la cognición humana en función de la mejora de los procesos de enseñanza y aprendizaje en distintos entornos educativos (Otálora, 2009).

La *EpC* se relaciona con la capacidad que se desarrolla en el estudiante para realizar una gamma de generalizaciones entre los tópicos que se abordan en el aula (Stone,

1999), en nuestro caso las radiaciones ionizantes y no ionizantes, y la experiencia diaria por ejemplo la implementación de los rayos x en los procesos diagnósticos. Observar reconfiguraciones conceptuales e incremento paulatino de generalizaciones en torno al tópico descrito, supone que la estrategia didáctica se traduce en el desarrollo de estas habilidades explicativas generalizadas desde su experiencia hacia su quehacer cotidiano (Barrera & León, 2014).

Bajo dichos términos el enfoque pedagógico EpC invita a cuestionarse acerca de: ¿Qué es comprender? y ¿cómo un sujeto alcanza un nivel de comprensión?, cuestiones que se pretenden resolver a partir de la descripción de sus elementos fundamentales que le dan forma y sentido al proceso de enseñanza- aprendizaje desde este enfoque. La EpC significa comprender cada pieza en el contexto del todo y concebir el todo como el mosaico de sus piezas (Perkins, 2001).

### **Momentos reflexivos que le dan sentido a la Enseñanza para la Comprensión**

Como el interés es definir una ruta que suministre al investigador un enfoque para planear y reflexionar a propósito de las radiaciones ionizantes y no ionizantes, se traerá a colación los elementos relevantes a propósito de la estrategia que buscan estimular el pensamiento alrededor de las experiencias de los estudiantes de Radiología e Imágenes Diagnósticas en torno a la radiación, en particular los rayos x. Lo anterior implica definir algunos momentos referentes para el maestro, donde este hace reflexiones previas a la intervención didáctica, para promover en el alumno la explicación, demostración, generalización a través de ejemplos y analogías, elementos que posibilitan al estudiante involucrarse con situaciones cotidianas, establecer relación con experiencias previas, ponerse a prueba con base en lo aprendido y reconfigurar el sentido y la importancia de su labor en el ámbito personal educativo y laboral.

A continuación, se describen los elementos fundamentales que constituyen el eje transversal del enfoque para la enseñanza de las ciencias *EpC*.

Para la enseñanza del tópico denominado radiación ionizante y no ionizante, se consideró necesario orientar las clases para facilitar la comprensión del tópico a partir de

cinco elementos: *Hilos conductores*, *tópicos generativos*, *metas de comprensión*, *desempeños de comprensión* y *valoración continua*.

Los *hilos conductores* hacen referencia a una secuencia de preguntas de diferente grado de complejidad (Perkins, 2001). La reflexión docente estaría en torno a la siguiente cuestión, ¿Qué quiero que los estudiantes aprendan? En este momento se proponen las comprensiones más importantes que deberían desarrollar los estudiantes durante el proceso de enseñanza; por ejemplo en lo que se refiere a este trabajo, ¿Cuál es la naturaleza de la radiación? ¿Cómo se produce la radiación? ¿Cómo percibimos y estudiamos la radiación? ¿Qué clase de radiación percibimos? ¿Qué produce la exposición a la radiación? ¿la implementación de la radiación produce efectos positivos o negativos para los seres vivos? ¿debemos protegernos de la radiación? ¿Por qué? Cuestiones a resolver durante las etapas de implementación a través de tópicos generativos como facilitadores de concepciones referentes a la radiación ionizante y no ionizante.

Los *tópicos generativos* se refieren a los temas, conceptos, teorías, ideas etc., que vinculan las experiencias con las preocupaciones de los alumnos y la fenomenología a comprender (Stone, 1999). Relacionado al trabajo propuesto, el tópico generativo sería, Radiaciones Ionizantes y no ionizantes fundamentado en el uso de modelos como estrategia para la construcción de conocimiento, la hipótesis atómica para abordar la estructura de la materia, descripción de interacciones elásticas e inelásticas, estabilidad de la materia desde los modelos atómicos, espectro electromagnético, mecanismos de interacción de la radiación con la materia, radiación natural y artificial, efectos biológicos de la radiación ionizante en la materia y finalmente criterios básicos de protección radiológica.

Las *Metas de comprensión* se establecen a partir de un tópico generador (Barrera & León, 2014), el cual puede generar diferentes comprensiones de la fenomenología involucrada en las Radiaciones Ionizantes; se debe generar un foco de interés hacia donde guiar los esfuerzos del proceso de enseñanza; lo que implicaría mencionar lo que se espera que los alumnos lleguen a comprender sobre la interacción de la radiación ionizante y la materia. Con relación a este trabajo, se esperó (relacionar y contrastar con los resultados del capítulo cuarto) que la

comprensión se optimizara, posiblemente, en lo que respecta a la naturaleza y origen de la radiación, tipos de radiación en función de su energía y longitud de onda, mecanismos de interacción de la radiación para degradar su energía en la materia, efectos de la radiación en la materia y en particular en el tejido vivo, unidades de medida de la radiación, relación energía-efecto, relación dosis-efecto, medidas de protección radiológica, materiales de blindaje para atenuar la radiación, efectos positivos y negativos de la radiación y consecuencias de la exposición a los rayos x en su práctica laboral.

Los *desempeños de comprensión* se conciben como un componente que guarda relación con las metas de comprensión y representa la parte fundamental para el desarrollo de la estrategia didáctica (Stone, 1999). Por lo tanto se buscó constantemente que el estudiante extrapolara sus concepciones elaboradas en momentos determinados del proceso, a través de actividades que hagan que el estudiante haga uso de sus concepciones, proponiendo situaciones y descripciones que dejen entrever la reconfiguración alcanzada en el proceso.

Finalmente la valoración continua como elemento valorativo, de carácter diagnóstico por parte del docente o del propio alumno y se presenta en forma continua en cada etapa de implementación. Aquí se retroalimentan las comprensiones a partir de las reflexiones, tanto del estudiante como del docente, relacionadas con la radiación ionizante y no ionizante.

## Capítulo III

### Sobre la estrategia didáctica

La investigación realizada en el desarrollo de este trabajo de grado y, en particular la estrategia didáctica que se diseñó, se orientó a una población de 27 estudiantes del programa de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas del Centro de Formación de Talento Humano en Salud –CFTHS- del Servicio Nacional de Aprendizaje –SENA-. Los estudiantes que participaron en la investigación, cursan tercer trimestre del programa y la mayoría de ellos, desarrollará su vida laboral, como operarios de instrumentación en laboratorios, clínicas, hospitales y, en general en instituciones de salud que cuenten con servicio de radiología e imágenes diagnósticas.

Para iniciar la implementación de la estrategia, se diseñó una prueba preliminar<sup>9</sup>-PP- para indagar acerca de las ideas y saberes previos de los estudiantes sobre algunos elementos disciplinares y su relación con su futuro ejercicio laboral.

Partiendo del interés que muestran los estudiantes, durante las clases orientadas por el docente titular, a propósito de los rayos x y sus aplicaciones en espacios hospitalarios para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades, se propuso una ruta a seguir para las diferentes etapas de intervención, en la implementación de la estrategia. El tópico generativo se fundamentó en radiaciones ionizantes y no ionizantes; a partir del tópico mencionado, se planearon 10 etapas de intervención, fundamentadas en la enseñanza para la comprensión y situadas desde la cotidianidad del estudiante en su ejercicio académico-hospitalario y la interdisciplinariedad desde la Física, Química y Biología; áreas fundamentales para esta investigación. Las intervenciones se desarrollaron en la práctica pedagógica III y IV entre marzo y octubre del 2017. A continuación se detalla cada una de las etapas de la implementación, llevadas a cabo por el autor, en el desarrollo de esta investigación.

**Primera etapa:** Se describe el papel de la práctica pedagógica propuesta por la Universidad Pedagógica y el rol del docente en formación en los distintos niveles

---

<sup>9</sup> La prueba preliminar fue diseñada en el desarrollo de la práctica III, durante los meses de Marzo, Abril y Mayo del año 2017.

educativos, haciendo énfasis en particular en el Centro de Formación de Talento Humano en Salud, dado que se observa que es la primera vez que la práctica pedagógica, desde el programa de Licenciatura en Física, permea estos espacios académicos. En esta fase también se presenta el tópico generativo alrededor del cual se aborda el desarrollo de las demás intervenciones y se define un marco referencial conceptual, en función de las comprensiones preliminares de los estudiantes a cerca de la radiación, sus mecanismos de interacción para degradar energía y su relación con los efectos sobre el tejido vivo, a través del instrumento denominado prueba preliminar (anexo 1). Además, en esta fase, se define la población a considerar durante la investigación. En total se involucra a 27 estudiantes del programa de Radiología e imágenes diagnósticas del Centro de Formación de Talento Humano en Salud<sup>10</sup>. La indagación o prueba preliminar se consideró, además, para reconfigurar la ruta propuesta en función de las dificultades emergentes para establecer relaciones conceptuales observadas en dicha prueba indagatoria.

**Segunda etapa:** Inició con una actividad introductoria a la modelización de eventos, buscando introducir a los estudiantes en el proceso de modelización, como estrategia que facilita la comprensión de algunos eventos que no percibimos directamente a través de los sentidos (anexo 2).

Se entregó a cada estudiante una caja sellada; en la caja previamente se habían depositado algunos objetos; luego se invitó al estudiante a describir sobre el papel, lo que cada uno consideraba contenía la caja. Para configurar las descripciones a propósito del contenido de la caja, los estudiantes debían proponer diferentes estrategias -modelos – que fueron compararon una vez abierta la caja, para identificar aciertos o desaciertos.

**Tercera etapa:** Se optó por describir las interacciones electromagnéticas -atractivas y repulsivas- entre partículas cargadas en principio desde la caracterización del electrón y el protón, haciendo énfasis en propiedades como la carga y la masa, para aproximar a los estudiantes a comprender la capacidad de dichas entidades físicas, en función de sus propiedades inherentes, para modificar su entorno y poder consolidar el concepto de campo, necesario para describir la interacción entre la radiación corpuscular y la

---

<sup>10</sup> Institución educativa ubicada en la carrera 6 N° 45-52, en Bogotá D.C.

materia. En el desarrollo de esta etapa, se realizó una actividad sobre electrificación de una bolsa plástica por fricción, para observar la forma en que se atrae o se repele ciertas regiones electrificadas de la bolsa y suponer la forma en que se modifica la región próxima a la superficie.

**Cuarta etapa:** Dado que para la población resultó fundamental la comprensión de los mecanismos de interacción de la radiación con la materia, se introdujo la hipótesis de la estructura atómica, de la mano del uso de modelos y descripciones de los elementos que componen el átomo, sus propiedades intrínsecas –carga y masa-, los efectos que produce una partícula cargada en movimiento -generación de campo magnético-, unidades de masa y energía en el Sistema Internacional de Unidades, otras unidades utilizadas en el campo de la radiación -electronvoltio, unidad de masa atómica, Fermi y Angstrom-, etc. Frecuentemente se buscó que el estudiante fortaleciera la idea de modelo como una representación que se hace desde la experiencia y además una estrategia implementada para la comprensión y construcción del conocimiento de lo perceptible e imperceptible.

**Quinta etapa:** Se describieron las transformaciones que han tenido los modelos atómicos a lo largo de la historia, así como los eventos cruciales que llevaron a proponer modelos adicionales que correspondieran con los eventos de interés de la época; un ejemplo de ello es la comprensión de la estabilidad de la materia a través de los modelos atómicos. Se hizo énfasis en el modelo de Bohr dado que para la población este resultó ser un modelo fundamental de su proceso formativo para describir el proceso de interacción de los rayos  $x$  con la materia.

**Sexta etapa:** Se desarrolló alrededor del espectro electromagnético enfatizando en los mecanismos de absorción y emisión de la radiación; además en la razón de ser de la disposición en el espectro de los distintos tipos de radiación electromagnética. Se caracterizó la radiación en términos de su longitud de onda y energía característica y se buscó establecer una diferenciación entre la radiación ionizante y la no ionizante en términos de su energía, frecuencia y longitud de onda. Se orientó una actividad que proponía calcular la frecuencia y la longitud de onda de algunas componentes del espectro e identificar la relación entre energía, longitud de onda y frecuencia.

**Séptima etapa:** Se desarrolló en torno a los mecanismos de degradación de energía de la radiación en el proceso de interacción radiación-materia. Además, se pretendió orientar la intervención hacia la diferenciación de la radiación, en tanto que, los mecanismos utilizados por las partículas cargadas –Excitación, Ionización y Radiación de Frenado- difieren de los mecanismos de los fotones –Efecto Fotoeléctrico, Efecto Compton y Producción de Pares-.

**Octava etapa:** Desarrollada en lo que refiere a la estabilidad de la materia y la radiación natural, en particular del núcleo por medio de los decaimientos alfa, beta y gamma, como de la captura electrónica; dado que es de esta región desde donde se emite un tipo de radiación ionizante, la radiación gamma. También, se orientó a través de situaciones con las que se relacionan los estudiantes en su práctica hospitalaria; por ejemplo, el uso de Cobalto-60 y del Uranio-238 para tratamientos diagnósticos y terapéuticos.

**Novena etapa:** Planteada alrededor de la radiación artificial con énfasis en el aparato que resulta familiar para los estudiantes, el tubo de rayos x. Además, involucró descripciones sobre los procesos físicos a considerar para la producción de rayos x junto con su espectro de emisión característico y continuo, soportado en el modelo atómico de Bohr. En lo sucesivo, a través del instrumento denominado prueba diagnóstica se buscó identificar reconfiguraciones conceptuales, hasta esta fase del proceso en torno al tópico generativo, (anexo 4).

**Décima etapa:** Propuesta en torno a la radiación ionizante y los efectos biológicos que dicho ente físico puede producir en el tejido vivo. Se optó por interrelacionar la Física, Química y Biología para describir -en función del tiempo- una secuencia de eventos que se desencadenan por la interacción radiación- materia; esto, fundamentado en la teoría atómica. Aquí se desarrolló un taller<sup>11</sup> sobre blindajes (anexo 5) y una descripción a partir de imágenes de células sometidas a electroforesis<sup>12</sup> (anexo 6), que

---

<sup>11</sup> Modificación a la actividad desarrollada en jornada de capacitación para tecnólogos en Radioterapia de Centro de Control de Cáncer, orientada por MSc. Ricardo Español.

<sup>12</sup> Los fragmentos de ADN con carga negativa son atraídos hacia el ánodo dando al núcleo la característica de cola de un cometa



muestran que un grupo celular está inmerso en el campo eléctrico generado entre un ánodo y un cátodo. Al final de esta fase se implementa el instrumento denominado prueba final, caracterizado por guardar relación con la prueba preliminar en términos de los tópicos involucrados, es decir, en función de las comprensiones alcanzadas.

## Capítulo IV

### Análisis de datos y resultados

Una vez se recolectó la información a través de los diferentes instrumentos diseñados, se procedió a su análisis a través de la séptima versión del software Atlas.ti<sup>13</sup> para gestionar la información respectiva y configurar un modelo referencial de las concepciones que describen los estudiantes en torno a la fenomenología involucrada en la interacción radiación-materia.

La información recolectada correspondiente a la PP fue transcrita a un procesador de texto Microsoft Word en tres documentos denominados *situación1-Prueba preliminar*, *situación 2-Prueba preliminar* y *situación3-Prueba preliminar*. La denominación y disposición de los documentos fue para facilitar el proceso de selección de la información respecto a cada situación que se analizaría con Atlas.ti.

Para el proceso de selección de la información, los documentos fueron agregados a la biblioteca del programa Atlas.ti, textos que configuraron los primeros eslabones del proyecto del programa<sup>14</sup> en torno a las situaciones de la PP.

Dado que el software de análisis cualitativo establece relaciones a partir de la información que el investigador le brinda, fue necesario, después de transcribir y agregar el documento, resaltar la información coherente con cada cuestión que se planteaba en cada situación de la PP -proceso de citación- a propósito de la radiación ionizante.

A partir del proceso de citación se redujo un tanto más la información recolectada, dado que, se resaltaron algunas concepciones, comunes, en las respuestas que los estudiantes describían en la prueba; posibilitando una re-selección de la información -involucrada en las citas-, para proponer un grupo de códigos<sup>15</sup> como elementos conceptual representativos de los segmentos de la información recolectada.

---

<sup>13</sup> Software que facilitó el análisis de datos cualitativos

<sup>14</sup> En atlas.ti se conoce como *Unidad Hermeneutica-UH*, correspondiente a un archivo que guarda la información seleccionada, sus distintas codificaciones y relaciones.

<sup>15</sup> Proceso en el que se asigna una categoría o concepto a una o más de una cita.

La variedad de códigos que surgen de la prueba, se obtuvieron de tal manera que, de lo descrito por cada estudiante podría surgir uno o más códigos asociados a las ideas propuestas en la prueba preliminar.

Entonces es pertinente mencionar que en esta investigación, Atlas.ti no es excluyente, pues selecciona elementos comunes, lo que implica de cierto modo intersecciones entre los distintos fragmentos de información seleccionada -citada-.

Con base en la PP, se diseñó un instrumento similar denominado prueba final –PF-. En ambas pruebas se evalúan los mismos elementos. La PP y PF se fundamentaron en tres situaciones; situación uno, situación dos y situación tres-S1, S2 y S3 respectivamente-, considerando cierta relación entre las concepciones de los estudiantes y algunos elementos disciplinares, relevantes, involucrados en su proceso formativo. Dichos elementos guardaban relación con la cotidianidad de los estudiantes y fueron observados desde la práctica II.

### **A propósito de las situaciones uno, dos y tres**

#### **Situación 1**

Un tubo rayos x es una fuente de radiación ionizante, implementada en aparatos con fines diagnósticos y terapéuticos. Exponerse a este tipo de radiaciones aumenta la probabilidad de que ocurran modificaciones en el tejido o material expuesto, en función del tiempo. Aquí se describe una situación que relaciona al estudiante con el aparato generador de rayos x, -el cual deben manipular en sus procedimientos diagnósticos-, con el tipo de radiación implementada y la posibilidad de ocurrencia de efectos en el tejido o material (anexo1). En esta situación, se plantearon 5 cuestiones:

- A. ¿Qué cree que es la radiación?
- B. Respecto a la radiación, ¿Cómo se la imagina?
- C. ¿Cómo se produce la radiación?
- D. ¿Cómo interactúa la radiación con la materia?
- E. ¿Por qué la radiación modifica el tejido o material?

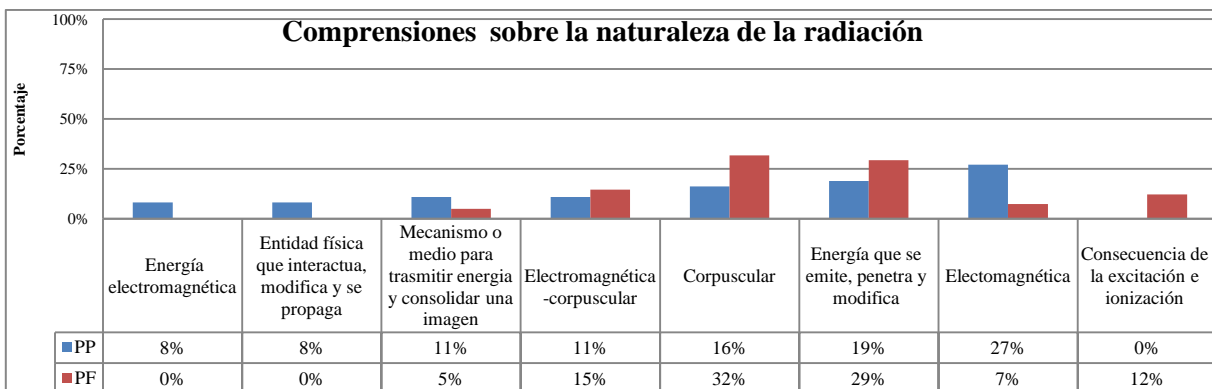


Figura 13 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la naturaleza de la radiación.

En torno a la naturaleza de la radiación se resalta que en la PP se optaba por concepciones que la relacionaban con energía electromagnética y con “algo” que para ellos resultaba desconocido, una entidad física, con la capacidad de interactuar modificar y propagarse, sin embargo, en la PF se observa que las categorías mencionadas previamente no fueron de interés en las descripciones propuestas por los estudiantes. Dado esto, se identifica una transición conceptual hacia otras categorías, evidenciando que la estrategia implementada permeó las concepciones de la población, reconfigurando las ideas que tenían en torno a la naturaleza de la radiación; por ejemplo, se resalta que un buen porcentaje identifica la radiación, ya no con algo desconocido -una entidad física-, sino que por el contrario, la identifican con energía capaz de emitirse penetrar y modificar. Además, se percibe la tendencia a asociar dicha naturaleza con elementos corpusculares, tan solo un porcentaje no tan significativo, del 15%, le asocia una doble manifestación a la radiación.

Lo anterior invita a pensar sobre la relevancia que le asignan los estudiantes a uno de los tópicos abordados en las intervenciones, la interacción de las partículas cargadas con la materia. Este último tópico fue propuesto- en las intervenciones- con la intención de aclarar que la radiación puede interactuar e ionizar la materia de forma directa como indirecta. Ahora bien, en la PF también se resalta que surge una propuesta conceptual en torno a los mecanismos específicos que se le asocian a la radiación como son los procesos de excitación e ionización.

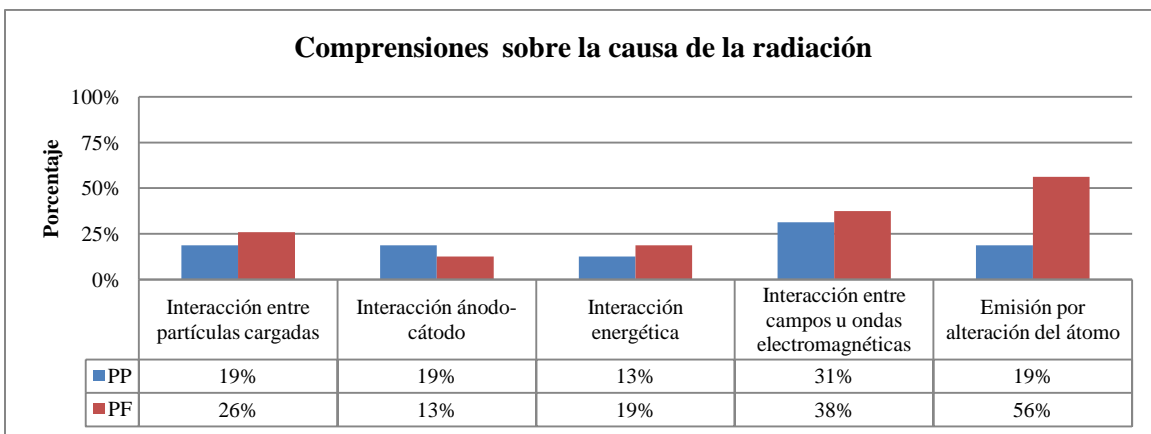


Figura 14 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la causa de la radiación.

Si bien en la indagación preliminar, PP, los estudiantes asociaban la causa de la radiación, en un buen porcentaje, con campos u ondas electromagnéticas que interactuaban, en la PF se resalta que relacionan la causa de la radiación con un proceso de alteración atómica y por consiguiente emisión de la radiación. A pesar de las modificaciones conceptuales que se observa, tienden a fundamentarse en la hipótesis atómica y en la concepción de ondas electromagnéticas, un porcentaje persiste en la concepción de que la causa de la radiación es por interacción ánodo-cátodo y la interacción energética, sin asociarle identidad a dicha energía.

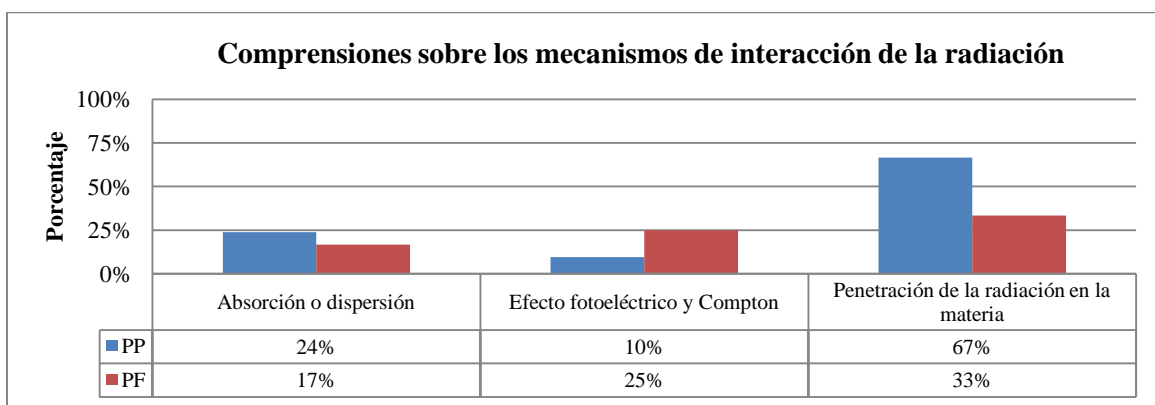


Figura 15 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a los mecanismos de interacción de la radiación.

Un porcentaje importante en la PP asocia los mecanismos de interacción de la radiación con la capacidad de penetración de la misma en la materia; sin embargo se observa que las concepciones preliminares son modificadas y transitan en buena

proporción a mecanismos característicos de la interacción fotón-electrón, Efecto Fotoeléctrico y Compton. Implícito a estos mecanismos están las distintas interacciones que acontecen, elásticas -Compton- e inelásticas -fotoeléctrico-, lo que podría suponer una confusión en torno a la identidad de los mecanismos, mas no del proceso que se lleva a cabo, razón por la que aún persiste un 17% de concepciones en la categoría absorción o dispersión y un 33% en la idea de que la radiación penetra la materia sin explicitar el proceso.

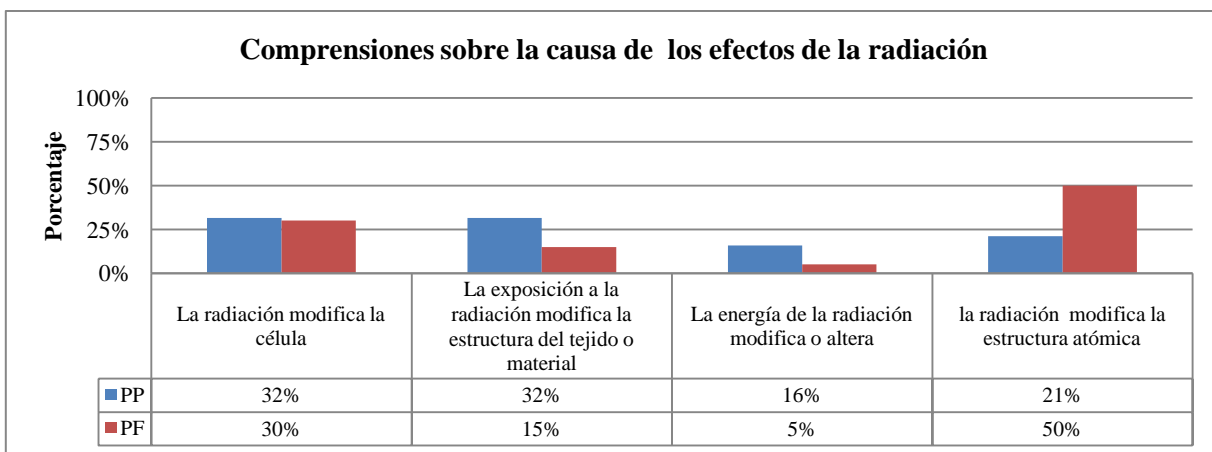


Figura 16 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la causa de los efectos de la radiación.

A pesar de que en la PP un porcentaje importante - 32% - consideró que la causa de los efectos de la radiación era la modificación celular, y el mismo porcentaje relacionó la exposición a la radiación con el proceso que modifica la estructura del tejido o material, es de resaltar la significativa transición conceptual que se hace relevante hacia la categoría que enfatiza como causa de los efectos de la radiación a la modificación de la estructura atómica, que alcanzó en la PF un 50 %.

## Situación 2

La situación dos tiene que ver con la operatividad cotidiana de aparatos que generan radiación ionizante, la optimización de la radiación y las medidas de protección radiológica requeridas para lograr el equilibrio entre el beneficio y las modificaciones que puede causar la radiación ionizante en el tejido (anexo1). Esta situación está consolidada por 6 cuestiones:

- A. ¿Por qué cree que son necesarias las medidas de protección en las instalaciones de Radiología?
- B. ¿Qué efectos cree que causa la radiación?
- C. ¿Cómo se producen los efectos de la radiación sobre el tejido?
- D. ¿Puedo protegerme de la radiación ionizante?, ¿Cómo lo hago?
- E. Cuando una persona se expone a la radiación, sin protección ¿Qué cree que hace la radiación en su cuerpo?
- F. ¿Por qué se utiliza plomo n los blindajes implementados para protección en el área de radiología?

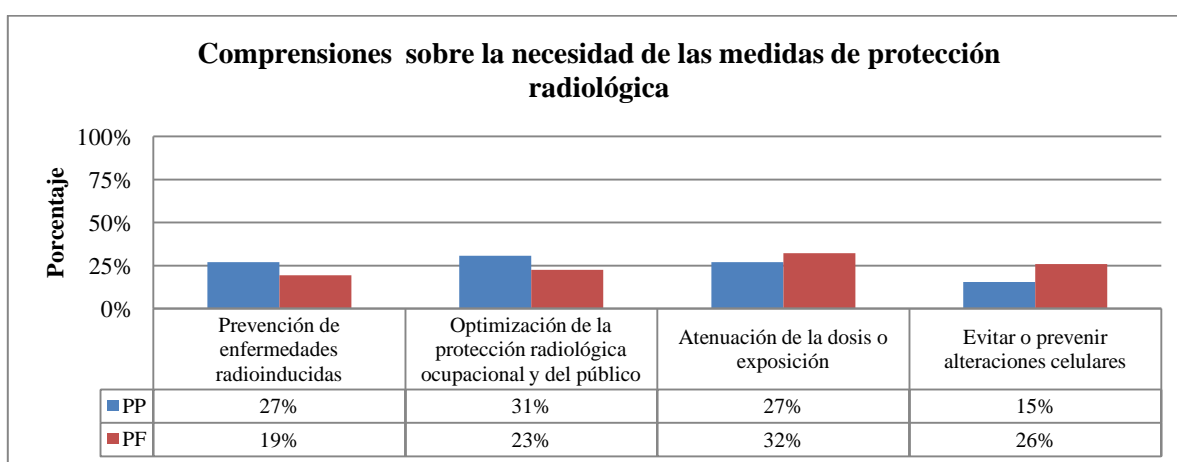


Figura 17 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la necesidad de las medidas de protección radiológica.

En torno a la necesidad de las medidas de protección radiológica en general se observa que todos los estudiantes reconocen la importancia de estas, aunque las enfocan de diferentes maneras. Un buen porcentaje persiste en la asociación de las medidas de protección radiológica con la prevención de enfermedades y optimización de dichas medidas en el ejercicio laboral involucrando no solo al personal ocupacional, sino también, al público en general.

Se observa una reconfiguración en dos de las cuatro categorías propuestas, por ejemplo, un buen porcentaje en la PF asocia la atenuación de la dosis o exposición de la radiación ionizante con las medidas de protección radiológica para evitar o prevenir alteraciones celulares como lo expresa el 26% de las concepciones en la PF.

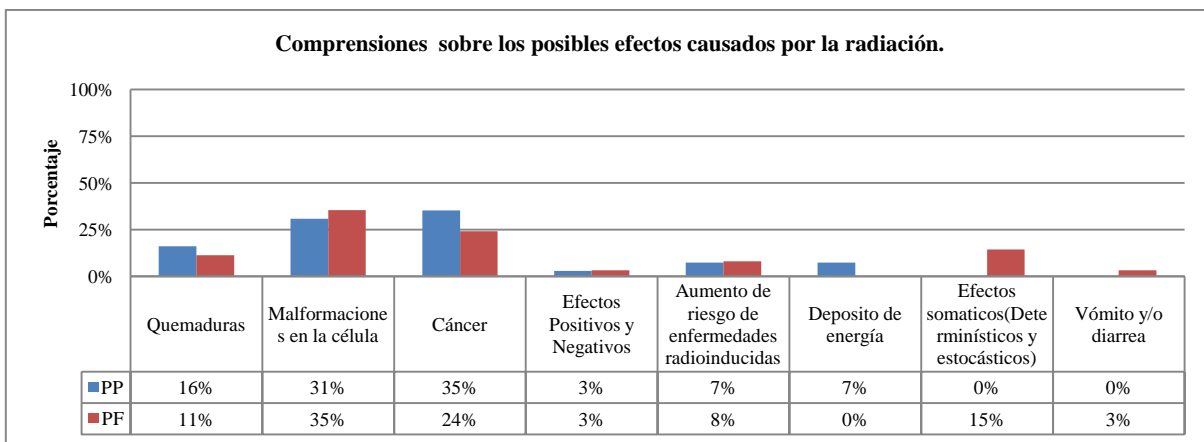


Figura 18 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a los posibles efectos causados por la radiación.

Aunque en términos generales, tanto en la PP como en la PF, prevalece la asociación de la radiación con efectos negativos - como se observa en los porcentajes de estudiantes que mencionan quemaduras, malformación celular y cáncer-, es de resaltar una modificación sustancial en la PF, ya que un 15 % de los estudiantes estableció relación entre los efectos de la radiación y los límites de dosis, mencionando tanto los efectos determinísticos y la irreversibilidad del daño celular, como los estocásticos asociados a la probabilidad de daño y la reversibilidad de la afección celular; tópicos involucrados en el desarrollo de la estrategia didáctica.

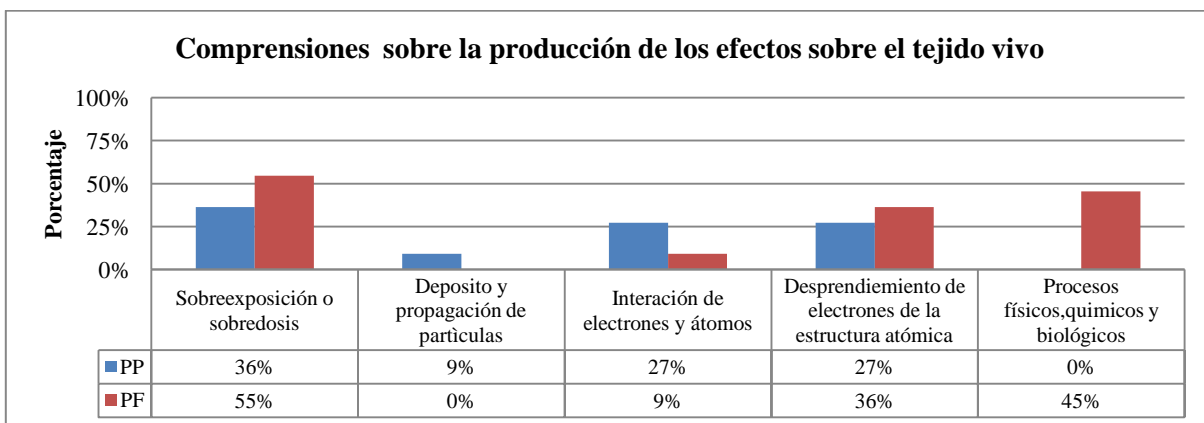


Figura 19 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la producción de los efectos sobre el tejido vivo.

En torno a la producción de los efectos sobre el tejido vivo, se observa que el estudiante fue permeado mediante las intervenciones, pues en la PP consideró



principalmente la sobreexposición o sobredosis como desencadenantes de estos efectos y, en parte la interacción entre partículas cargadas, su deposición de energía y el desprendimiento de electrones de la estructura atómica. Sin embargo en la PF, una buena parte de la población, establece relación entre la producción de efectos y los procesos físicos, químicos y biológicos, aunque sin profundizar en la descripción respecto a cada proceso. También, se observan modificaciones a propósito de la sobreexposición sobredosis que por un lado da cuenta de la persistencia en esta categoría y por el otro de la migración hacia esta categoría de las concepciones de los estudiantes.

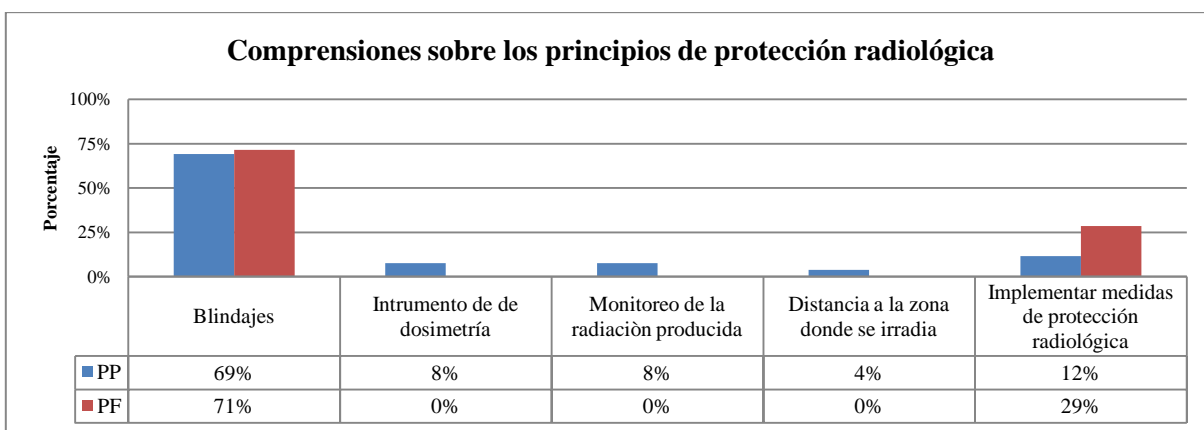


Figura 20 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a los principios de protección radiológica.

Tanto en la PP como en la PF, una parte importante de los estudiantes, reducen los principios de protección radiológica a la implementación de blindajes; la transición conceptual desde PP hacia PF respecto a esta categoría no fue relevante. En lo que refiere a la organización de ideas en torno a los principios de protección radiológica no se evidencia una propuesta categórica que involucre y establezca una relación entre el tiempo de exposición, los elementos de blindaje, la distancia respecto a la fuente emisora y el monitoreo –dosimetría de la radiación-, las ideas se perciben fragmentadas tanto en la PP como en la PF, incluso un porcentaje no muestra descripción a fondo de las medidas de protección radiológica, pero sí reconoce la importancia para protegerse de la radiación y la asocian con su ámbito laboral frente a la radiación artificial, mas no respecto a la radiación natural.

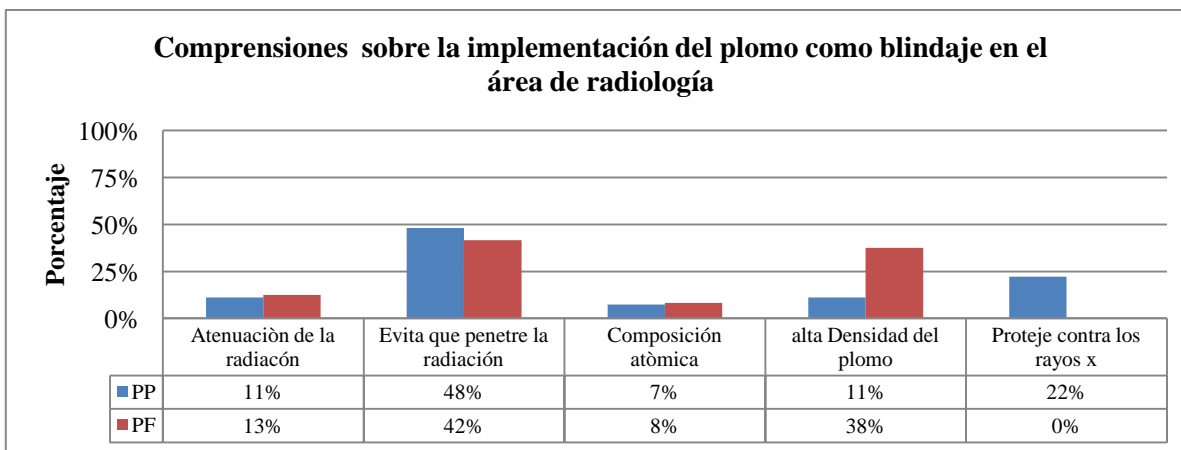


Figura 21 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la implementación del plomo como blindaje en el área de radiología.

Es de resaltar que en gran proporción las concepciones estiman que el plomo es implementado como elemento de protección frente a la radiación. Sin embargo en la PP un porcentaje asoció el uso de este elemento con un solo tipo de radiación, los rayos x; lo que resulta medianamente cierto pues también es implementado en conjunto con otros materiales –parafina, concreto, aluminio etc.- para la atenuación de partículas cargadas y de fotones de rayos x o gamma. Resulta relevante la persistencia en considerar que este material evita que penetre la radiación, lo cual se evidencia a través de la modificación conceptual que se observa en relación con la oposición a la penetración y la asociación que se hace respecto a la alta densidad del plomo.

### Situación 3

La radiación, ya sea de naturaleza corpuscular o electromagnética, se caracteriza por tener la capacidad de penetrar la materia e interactuar con los átomos que la constituyen, a través de distintos mecanismos de interacción de tipo elástico o inelástico. En estos mecanismos la radiación cede parte o toda su energía, la cual es absorbida por el medio material que está atravesando. Los mecanismos que se manifiestan en la interacción radiación-materia, dependen del tipo de radiación y de las propiedades del medio. Esta situación involucra al estudiante con la doble naturaleza de la radiación -corpuscular y electromagnética- y los tipos de interacción que ocurren cuando la radiación atraviesa la materia; incentivando al estudiante a considerar que los diferentes mecanismos en la

interacción radiación materia, dependen del tipo de radiación y del medio en que esta se produce.

Esta situación incluyó 6 cuestiones (anexo1):

- A. ¿Cuál es la consecuencia de irradiarse con rayos x?
- B. Dado que las modificaciones en el tejido son una consecuencia de la exposición a la radiación ¿Por qué cree que esto sucede?
- C. ¿La radiación puede tener efectos positivos y/o negativos? Si es así, ¿cómo cree que se presentan?
- D. La energía cinética es un concepto de uso cotidiano por el personal que labora en el área de imágenes diagnósticas. Cuando en el equipo de rayos x usted debe determinar un valor del orden de los Kilovoltios, para obtener una imagen ¿Qué comprende usted por electrón voltio y energía cinética?, ¿Qué relación encuentra entre energía y dosis?
- E. ¿Qué relación encuentra entre la energía de la radiación y el posible efecto?
- F. ¿Qué relación encuentra entre la dosis de radiación que se deposita y el posible Efecto?



Figura 22 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la consecuencia de exponerse a los rayos x.

A pesar de que un porcentaje importante, 29% y 43%, respecto a la PP consideraron que la consecuencia de exponerse a los rayos x se traducían en detrimento del estado de salud y modificación celular respectivamente, dichas concepciones fueron modificadas en la PF, la primera de forma gradual y la segunda en forma sustancial. Por otra parte, es

de resaltar que en la PF un porcentaje importante identificó de forma positiva la exposición a los rayos x, relacionándola con procedimientos que mejoran el estado de salud y otro porcentaje similar lo asocia con la generación de enfermedades radio-inducidas.

Mientras que en la PP no se hace mención a elementos propios de la disciplina de las radiaciones ionizantes, en la PF surge una concepción que se fundamenta en los efectos determinísticos y estocásticos que puede causar la exposición a la radiación. La categoría emergente deja entrever que las concepciones fueron reconfiguradas y clasificadas considerando el tipo de daño que se le puede ocasionar a una célula: reversible-estocástico- e irreversible-determinístico-.

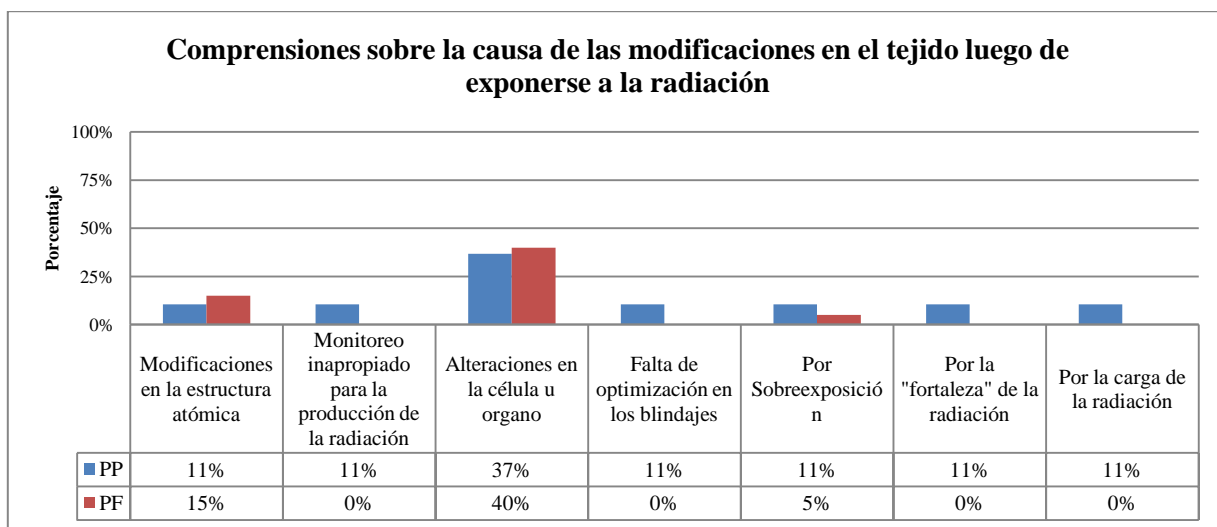


Figura 23 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la causa de las modificaciones en el tejido luego de exponerse a la radiación.

En torno a la causa de las modificaciones celulares en el tejido luego de exponerse a la radiación, en la PP se observaba una relación con la modificación en la estructura atómica y a su vez en la estructura celular; sin embargo en la PF, se incrementan estas categorías y se observa una reducción importante de categorías – de 7 a 3-. Lo anterior evidencia la relevancia que tiene para la población la descripción de la causa de las modificaciones en el tejido apoyados en la teoría atómica y celular a pesar del desconocimiento de los mecanismos implementados por el tejido vivo en sus procesos de restauración, recuperación o muerte –para el caso de daño determinista-.

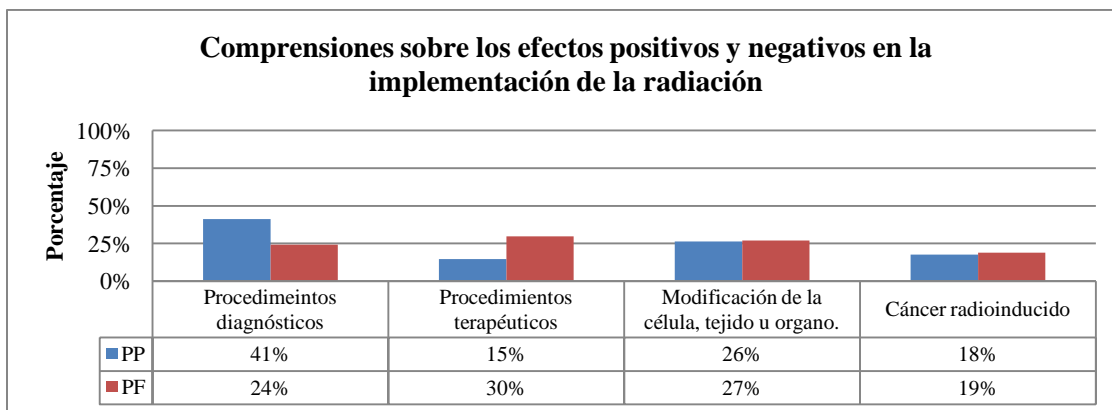


Figura 24 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a los efectos positivos y negativos en la implementación de la radiación.

En principio, un buen porcentaje asociaba de forma positiva, la implementación de la radiación con procedimientos diagnósticos; sin embargo, en la PF se observa una transición de esta categoría, resaltándose también los procedimientos terapéuticos. Resulta llamativo observar que se mantiene, aproximadamente, la proporcionalidad en las categorías que asocian los efectos negativos con la modificación celular y el cáncer radioinducido, mientras que hay una variación importante en las categorías que asocian una connotación positiva, tanto en las concepciones involucradas en procedimientos terapéuticos, como en las concepciones sobre procedimientos diagnósticos, que resultan familiares en el proceso de formación del estudiante.

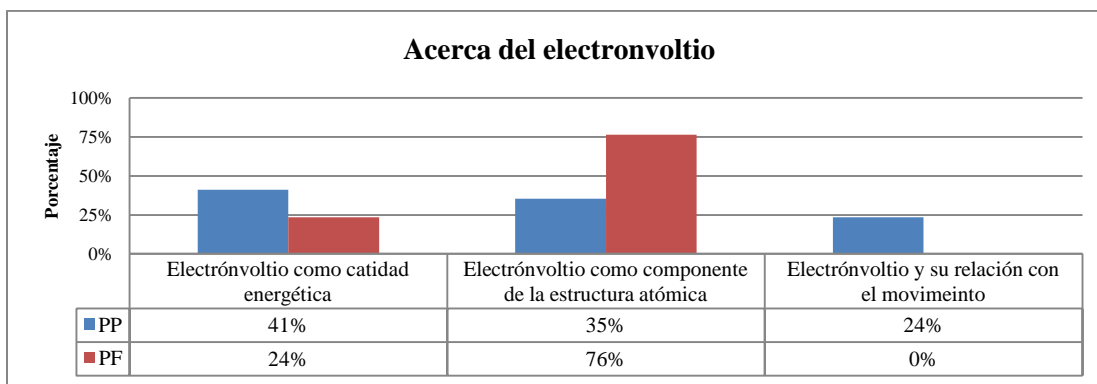


Figura 25 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno al electrónvoltio.

Se observa que la población identifica el electrónvoltio como una cantidad para dar cuenta de la energía, sin embargo en la PF la transición no resulta hacia la categoría esperada - la que se mencionó anteriormente -. Se resalta que surgió una confusión en

torno a las concepciones descritas por los estudiantes, dado que en su mayoría, asocian esta unidad como parte de la materia, y no como una unidad que posibilita la medición de la energía. En cierta medida la población tenía ideas coherentes con las implicaciones de la energía cinética, sin embargo, la transición se dio hacia la categoría que no guardaba relación con la concepción de electronvoltio.

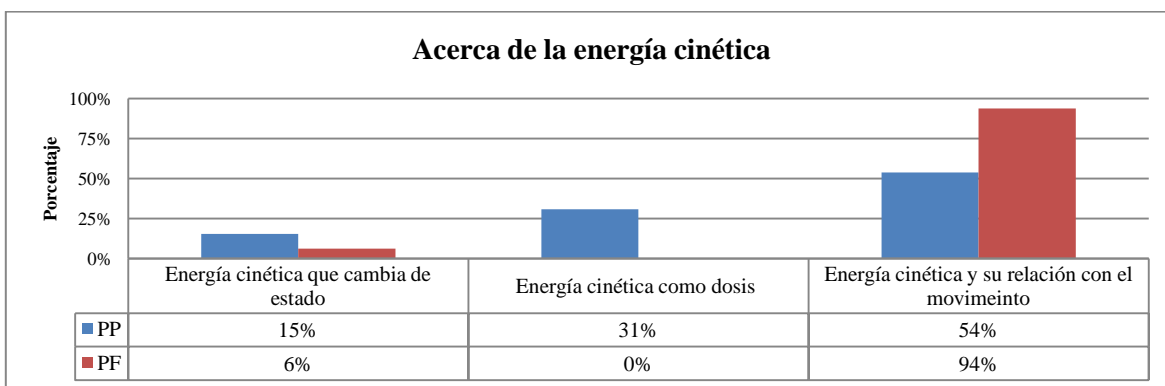


Figura 26 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la energía cinética.

Tanto en la PP como en la PF, un buen porcentaje tiene claro que la energía cinética se relaciona con el movimiento. Es relevante la transición, en su totalidad, de la categoría que propone la energía cinética como dosis, se podría suponer que fue hacia la concepción de la energía cinética en función del movimiento, pues esta categoría creció sustancialmente en la PF.

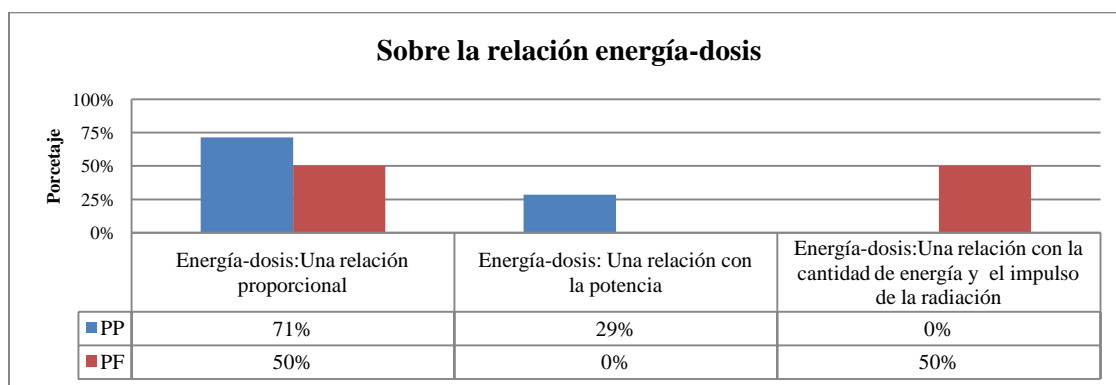


Figura 27 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la relación energía-dosis.

Hay un buen porcentaje de concepciones que concebían la relación energía-dosis en términos de la potencia, sin dejar claro a que se refieren cuando la relación se establece

respecto a este concepto. Probablemente la población buscaba relacionar la potencia con la cantidad de energía que emite una fuente por unidad de tiempo.

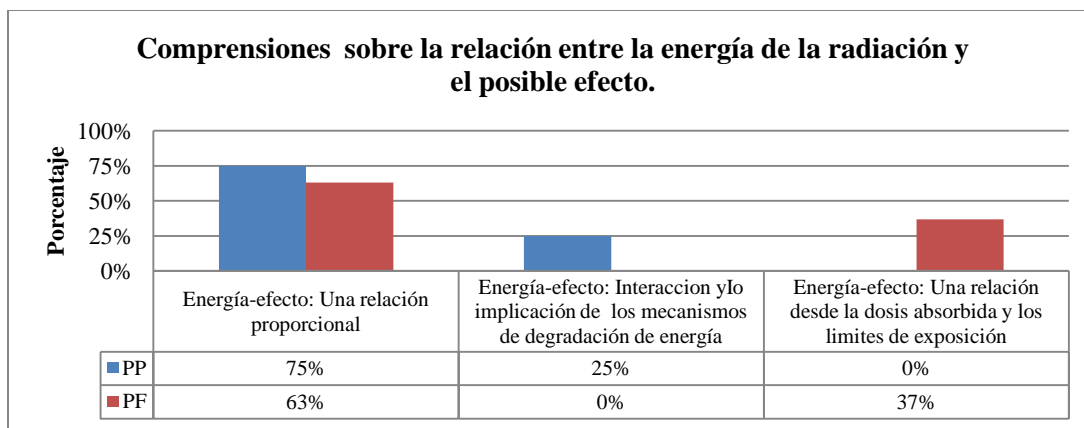


Figura 28 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la relación energía-efecto.

Se observa que la población fue permeada por la intervención, dado que en la PF surge una nueva categoría que identifica la relación energía-efecto, con la dosis absorbida y los límites de exposición. Sin embargo un buen porcentaje persiste en identificar la relación a partir de la proporcionalidad.

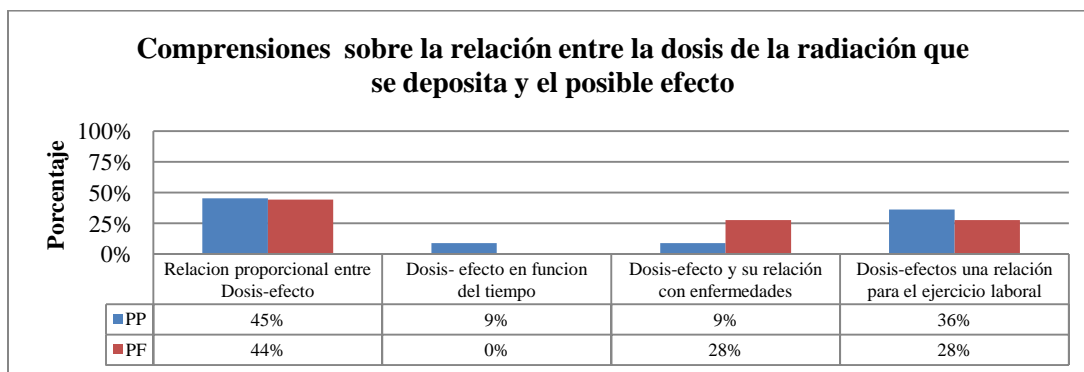


Figura 29 Comparación entre concepciones preliminares y finales entorno a la relación dosis-efecto.

Se observa que algunas concepciones persisten en la categoría que identifica la relación dosis-efecto como una relación proporcional; también se observa una importante asociación de la dosis y las enfermedades y, finalmente un porcentaje del 28% persistió en asociar la importancia de la relación dosis-efecto, con su práctica laboral, es decir con los procedimientos diagnósticos, terapéuticos y de protección radiológica con los que estarán relacionados.

## Conclusiones

Los resultados de la presente investigación, permiten afirmar que una mejor comprensión de los fenómenos asociados a la radiación ionizante –y no ionizante-, conlleva un mejor desempeño en la actividad laboral y vida profesional de los estudiantes que participaron activamente en su desarrollo. Especialmente se resalta la mayor responsabilidad con que se asume la práctica relacionada con el manejo de equipos y fuentes de radiación, ya sea en procedimientos de diagnóstico o terapéuticos. Esta responsabilidad a que se hace referencia, fue manifiesta en diferentes etapas del proceso de implementación, tanto respecto a la protección del operario que labora cotidianamente con equipos de radiación, como respecto a los pacientes y público en general.

Este trabajo muestra también que el estudio de la fenomenología involucrada en la interacción radiación materia a partir de situaciones de la cotidianidad, asociadas a las experiencias personales, académicas y laborales de los estudiantes, permean de forma representativa las concepciones preestablecidas, disminuyendo la dispersión conceptual, para reorganizarlas y focalizarlas en concepciones propias de las áreas de Física, Química y Biología.

El análisis de la información recolectada, pone de manifiesto que las concepciones entorno a la radiación ionizante, dejan entrever que en la población involucrada se consolidó un imaginario colectivo sustentado en el uso responsable de la radiación ionizante para los procedimientos diagnósticos y terapéuticos que es hacia donde apuntan todos los esfuerzos académicos del Centro de Formación de Talento Humano en Salud – SENA.

La estrategia didáctica permitió al docente en formación, permear desde el ámbito disciplinar y pedagógico, diversas concepciones de los estudiantes, en torno a las radiaciones ionizantes, en diferentes espacios académicos del programa de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas. Se muestra que el enfoque pedagógico *Enseñanza para la Comprensión*, que considera la interdisciplinariedad como parte



esencial de su desarrollo, aporta elementos teóricos-prácticos dinamizadores de las concepciones en cada estudiante alrededor de la radiación ionizante y no ionizante, optimizando sus habilidades para la práctica hospitalaria.

Esta investigación muestra que se produjo una transición de concepciones en la población, para asignar una identidad a la naturaleza de la radiación, concibiéndola como energía que se emite y puede penetrar y modificar la materia. En este caso focalizando las concepciones en tres categorías: electromagnética, corpuscular y la dualidad corpuscular-electromagnética.

Fue evidente la relevancia asignada por los estudiantes al tópico referido a la interacción de las partículas cargadas con la materia, es decir a la radiación directamente ionizante, lo que se evidencia en el alto porcentaje que asoció la naturaleza de la radiación con la incidencia de partículas cargadas. Por otra parte, este tópico incentivó al estudiante a proponer un lenguaje coherente con lo disciplinar para describir su accionar en respuesta a cada situación de la Prueba Final, en torno a mecanismos específicos asociados a la radiación, como son los procesos de excitación e ionización.

A pesar del incremento en perspectivas que le asocian una doble naturaleza a la radiación –corpuscular y electromagnética- persiste una distorsión conceptual que tienden a describirla ya sea como corpúsculo o como onda electromagnética, exclusivamente. Se encuentra como elemento concluyente que la población participe de esta investigación, relaciona la causa de la radiación con un proceso de alteración atómica que conlleva a la emisión de radiación; sin embargo, a pesar de las modificaciones y transiciones conceptuales que se observan, estas tienden a fundamentarse en la hipótesis atómica y en la concepción de ondas electromagnéticas, sin dejar entrever directamente su relación. A este respecto, es posible que durante las intervenciones haya faltado hacer mayor énfasis en la dualidad Onda-Partícula, por lo cual, en futuras investigaciones se considera necesario resaltar esta propiedad, facilitando así una caracterización integral de la naturaleza de la radiación.

Finalmente, es de resaltar que con esta investigación se da inicio a un proceso de colaboración interinstitucional entre la Universidad Pedagógica Nacional -en particular

el Departamento de Física- y el SENA. Colaboración que fortalece el futuro desempeño profesional, tanto de los maestros en formación que participan del proceso, como de los estudiantes de los diferentes programas de tecnología a los que se dirige la práctica pedagógica.

## Bibliografía

*Aplicaciones de la física nuclear*. Recuperado de:

[https://www.uv.es/~diazj/fna\\_tema6.pdf](https://www.uv.es/~diazj/fna_tema6.pdf)

Barrera, M. y León, P. (2014). *¿De qué manera se diferencia el marco de la enseñanza para la comprensión de un enfoque tradicional?* Ruta maestra, novena edición.

Paginas26-32.

Bohr, N. (1988). *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*. Madrid: Alianza.

Chamizo J & García A, J. &. (2010). *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales*. México.

Gallego, E. (2006). *Las radiaciones ionizantes: Una realidad cotidiana*. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

García M & De-Geus J, M. &. (2008). *Introducción a la física moderna*. Bogotá, Colombia: Unibiblos.

Hewitt, P. (2007). *Física conceptual*. México: Pearson educación.

Joiner M. & Kogel A. *Basic Clinical Radiobiology*. Hodder Arnold.

Kaplan, I. (1962). *Física nuclear*. Madrid, España: Aguilar

Mosterín, J. (1984). *Conceptos y teorías en la ciencia*. Madrid: Alianza Editorial.

Ortega A & Jorba B, J. &. (1994). *Radiaciones ionizantes utilización y riesgos*. Barcelona: Edicions UPC.

Perdigón, B.S., & Bautista, J. (2013). *Interacción: Radiación solar-materia y sus efectos en la salud*. Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional.

Perkins, D.(2001). *La escuela inteligente*.Barcelona, España: Gedisa.

Quintero, P. (2012). *Estudio in vitro de la supervivencia en células tumorales irradiadas con un acelerador lineal de uso clínico*. Bogotá, Universidad Nacional.

Ríos, E., & Solbes, J. (2007). *Las relaciones CTSA en la enseñanza de la tecnología y las ciencias: Una propuesta con resultados*. Revista electrónica de enseñanza de las ciencias. (6), p. 24.

Sociedad Española de Física Médica (2016). *Fundamentos de Física Médica, Radiobiología y principios de Oncología*. ADI servicios editoriales.

Stone, M. (1999). *La enseñanza para la comprensión*. Buenos Aires, Argentina: Paidós.

Universidad Pedagógica Nacional. (2014). *Plan de desarrollo institucional 2014-2019*. Recuperado de <http://www.pedagogica.edu.co/>

## **Anexos**

### **ANEXO No. 1**

### **INDAGACIÓN PRELIMINAR**

INDAGACIÓN PRELIMINAR  
PRÁCTICA PEDAGÓGICA EN EL PROGRAMA IMÁGENES DIAGNÓSTICAS –  
SENA



FELIPE CUARÁN ORDOÑEZ- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL  
**PRIMERA INTERVENCIÓN**

**NOMBRE:** \_\_\_\_\_

La formación profesional- integral que propende el Centro de formación en talento humano en salud CFTHS-SENA, en el ámbito de las *Imágenes Diagnósticas*, implica que sus estudiantes construyan conocimiento y desarrollen un sin número de destrezas, que se fundamentan en el que hacer teórico -práctico<sup>16</sup>.

En particular, para el ejercicio práctico, el estudiante en formación sobre las Imágenes Diagnósticas se apropia de sus comprensiones en torno al uso de las radiaciones ionizantes y no ionizantes, para la adecuada adquisición, en el contexto hospitalario, de imágenes intracorpóreas a través de los distintos medios diagnósticos (Radiografía, Tomografía axial computarizada, Resonancia magnética etc.).

De esta manera, la *Práctica Pedagógica* de estudiantes del Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional, permite permear este proceso educativo desde el ejercicio docente bajo la óptica de la Física, con el objeto de fortalecer su proceso formativo como Tecnólogo(a) en Imágenes Diagnosticas y definir un marco referencial para las intervenciones posteriores, que le brinde herramientas que optimicen su quehacer teórico –práctico.

En este orden de ideas, a través de este instrumento, está invitado a manifestar su opinión acerca de las siguientes cuestiones, a partir de *sus comprensiones* relacionadas con unas situaciones involucradas en su práctica hospitalaria. Sus respuestas pueden ser

---

<sup>16</sup> Dirección de Formación Profesional Integral (2013). *Proyecto Educativo Institucional SENA*. Bogotá, Colombia.

expresadas en forma escrita y/o gráfica. El tiempo estimado para el desarrollo de esta indagación preliminar que consta de 17 preguntas es de 1 hora.

1. Un tubo rayos **x** es una fuente de radiación ionizante, implementado en aparatos con fines diagnósticos y terapéuticos. Exponerse a este tipo de radiaciones aumenta la probabilidad de que ocurran modificaciones en el tejido o material expuesto, en función del tiempo.
  - A. ¿Qué cree que es la radiación?
  - B. Respecto a la radiación, ¿Cómo se la imagina?
  - C. ¿Cómo se produce la radiación?
  - D. ¿Cómo interactúa la radiación con la materia?
  - E. ¿Por qué la radiación modifica el tejido o material?
  
2. Las practicas hospitalarias que usan aparatos para la generación de radiación ionizante, deben desarrollarse en instalaciones que justifiquen su práctica, y velen por la protección del paciente y del colectivo encargado del procedimiento, pues el beneficio neto de dicha práctica debe compensar las posibles modificaciones causadas en el tejido, por la radiación ionizante.
  - A. ¿Por qué cree que son necesarias las medidas de protección en las instalaciones de Radiología?
  - B. ¿Qué efectos cree que causa la radiación?
  - C. ¿Cómo se producen los efectos de la radiación sobre el tejido?
  - D. ¿Puedo protegerme de la radiación ionizante?, ¿Cómo lo hago?
  - E. Cuando una persona se expone a la radiación, sin protección ¿Qué cree que hace la radiación en su cuerpo?
  - F. ¿Por qué se utiliza plomo –y no otro material- en los blindajes implementados para protección en el área de radiología?
  
3. La radiación, ya sea de naturaleza corpuscular o electromagnética, se caracteriza por tener la capacidad de penetrar la materia e interactuar con los átomos que la constituyen, a través de distintos mecanismos de interacción de tipo elástico o

inelástico. En estos mecanismos la radiación cede parte o toda su energía, la cual es absorbida por el medio material que está atravesando. Los mecanismos que se manifiestan en la interacción radiación-materia, dependen del tipo de radiación y de las propiedades del medio.

- A. ¿Cuál es la consecuencia de irradiarse con rayos **x**?
- B. Dado que las modificaciones en el tejido son una consecuencia de la exposición a la radiación ¿Por qué cree que esto sucede?
- C. ¿La radiación puede tener efectos positivos y/o negativos? Si es así, ¿cómo cree que se presentan?
- D. La energía cinética es un concepto de uso cotidiano por el personal que labora en el área de imágenes diagnósticas. Cuando en el equipo de rayos **x** usted debe determinar un valor del orden de los Kilovoltios, para obtener una imagen ¿Qué comprende usted por electrón voltio y energía cinética?, ¿Qué relación encuentra entre energía y dosis?
- E. ¿Qué relación encuentra entre la energía de la radiación y el posible efecto?
- F. ¿Qué relación encuentra entre la dosis de radiación que se deposita y el posible Efecto?



**ANEXO No. 2**

**MODELIZACIÓN DEL CONTENIDO DE UNA CAJA NEGRA SELLADA**

## ACTIVIDAD INTRODUCTORIA<sup>17</sup>

### Materiales

- Lápiz
- Papel
- Caja negra sellada

**¿Qué cree que contiene la caja negra?**

### Orientación

- Represente, dibujando, lo que hay en la caja
- Explique los motivos por los que dibujó lo anterior.
- Describan detalladamente lo que hay en la caja
- ¿Cómo denominaría la actividad?
- Compare su dibujo(modelo) con lo que hay en la caja(realidad) –cuadro comparativo-

---

<sup>17</sup> Recuperada de: Chamizo J & García A, J. &. (2010). *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales*. México.

**ANEXO No. 3**

**RUTA PROPUESTA A PROPÓSITO DE LAS RADIACIONES IONIZANTES Y NO  
IONIZANTES**

## **Radiaciones ionizantes y no ionizantes**

La radiación es una manifestación de la materia que ocurre de forma natural o artificial propendiendo por la estabilidad de la materia; consecuentemente, los elementos que componen la materia se reconfiguran espontáneamente hasta lograr el equilibrio electrónico; finalizando la emisión de radiación. Comprender la fenomenología involucrada en la interacción radiación-materia, invita a recurrir al estudio de la teoría atómica y su relación con los modelos -como estrategia para la construcción de conocimiento-, que permiten describir de forma cualitativa, por medio del lenguaje simbólico, los mecanismos implementados al interaccionar la radiación y la materia con la consecuente degradación de energía. Las entidades físicas que se escapan de nuestro rango perceptible, como el átomo en particular ameritan que el estudiante recurra a procesos de abstracción para aproximarse a la representación de la materia y la radiación. De igual manera, se puede mencionar que nuestra capacidad sensible frente a la interpretación de las ondas electromagnéticas es limitada, ya que solo la componente visible del espectro es percibida a través de nuestros sentidos, las otras componentes -como las ondas de radio y TV, microondas, infrarrojo, ultravioleta, rayos x y rayos gamma- resultan prácticamente inexistentes a nuestros sentidos.

Con el objeto de facilitar a los Tecnólogos en formación del programa académico Imágenes Diagnosticas ofertado por el CFTHS-SENA, la comprensión de la fenomenología involucrada en la interacción radiación-materia, sus mecanismos de acción y los principios físicos considerados en los aparatos de uso cotidiano en la práctica hospitalaria de Imagenología Diagnóstica, se proponen los siguientes elementos, como ruta de estudio en el tópico generativo radiaciones ionizantes y no ionizantes.

### **Contenido**

#### **1. Introducción e indagación preliminar (tiempo estimado:70 min)**

- Sobre la práctica pedagógica, UPN-SENA.
- Acerca del instrumento indagatorio
- Implementación del instrumento

- 2. Modelización, una estrategia para la construcción de conocimiento.(20 min)**
  - Modelización del contenido de una caja negra sellada
- 3. Comprendiendo la hipótesis atómica sobre la materia (tiempo estimado 60 min)**
  - Estructura de la materia
  - Caracterizando los elementos que componen el átomo: Núcleo (protones y neutrones) y electrones. Dimensiones y propiedades.
  - Unidades de masa y energía
  - Equivalencia entre masa y energía
- 4. Interacciones elásticas e inelásticas (tiempo estimado: 60 min)**
  - Describiendo las interacciones electromagnéticas entre partículas cargadas
  - Describiendo la interacción entre fotones y partículas cargadas
  - Actividad: Percibir la atracción y repulsión entre dos imanes
- 5. Estabilidad de la materia y modelos atómicos. (Tiempo estimado: 60 minutos)**
  - Modelo de Rutherford
  - Actividad: Observación a través de un espectroscopio (¿Por qué los colores se distribuyen de esa forma?)
  - Modelo de Bohr
- 6. Espectroscopia y su relación con el modelo de Borh (tiempo estimado: 60min)**
  - El espectro electromagnético
  - Representación y caracterización de la onda
  - Energía y frecuencia de las ondas electromagnéticas
- 7. Interacción radiación materia (tiempo estimado 90 min)**
  - Mecanismos para la degradación de energía -Partículas cargadas
    - Excitación
    - Ionización
    - Radiación de frenado
  - Mecanismos para la degradación de energía –Fotones
    - Efecto fotoeléctrico
    - Efecto Compton

- Producción de pares

#### **8. Radiación natural (tiempo estimado 60 min)**

- Estabilidad nuclear
  - Fuerza nuclear vs fuerza eléctrica
  - Decaimientos alfa, beta, gamma y captura electrónica
  - Isotopos

#### **9. Radiación artificial (tiempo estimado 60)Tubo de rayos x (Haciendo énfasis en los principios físicos involucrados, en la generación de rayos x, considerando las comprensiones previas)**

- Introducción- algunas magnitudes y unidades radiológicas  
Exposición
- Dosis absorbida

#### **10. Efectos biológicos de la radiación ionizante en la materia y criterios básicos de *Protección Radiológica*(tiempo estimado 120 min)**

- Etapa física, química y biológica de los efectos de la radiación ionizante sobre el tejido vivo.
- La energía de la radiación depositada como agente físico que causa el daño en el tejido vivo.
- Transferencia lineal de energía
- Límites de exposición a la radiación para personal ocupacional y del público en general
- Efectos de la radiación ionizante sobre el tejido vivo y su clasificación.
- Blindajes para atenuar la radiación emitida por fotones, considerando los límites permitidos por Comisión Internacional de Protección Radiológica (taller)

**ANEXO No. 4**

**PRUEBA DIAGNÓSTICA A PROPÓSITO DEL TÓPICO GENERATIVO  
RADIACIÓN IONIZANTE Y NO IONIZANTE**

PRUEBA DIAGNÓSTICA  
PRÁCTICA PEDAGÓGICA EN EL PROGRAMA IMÁGENES DIAGNÓSTICAS –  
SENA



FELIPE CUARÁN ORDOÑEZ- UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

**Nombre:** \_\_\_\_\_

**Fecha:** \_\_\_\_\_

- Una de las interacciones de la naturaleza es la electromagnética. Esta ocurre entre partículas con carga, concebida como una propiedad intrínseca que se manifiesta como fuerza eléctrica.

Describa las siguientes representaciones (tabla 1) y responda las siguientes cuestiones ¿Qué representan?, ¿Por qué esta representación? ¿Qué situaciones de la cotidianidad podría usted describir?

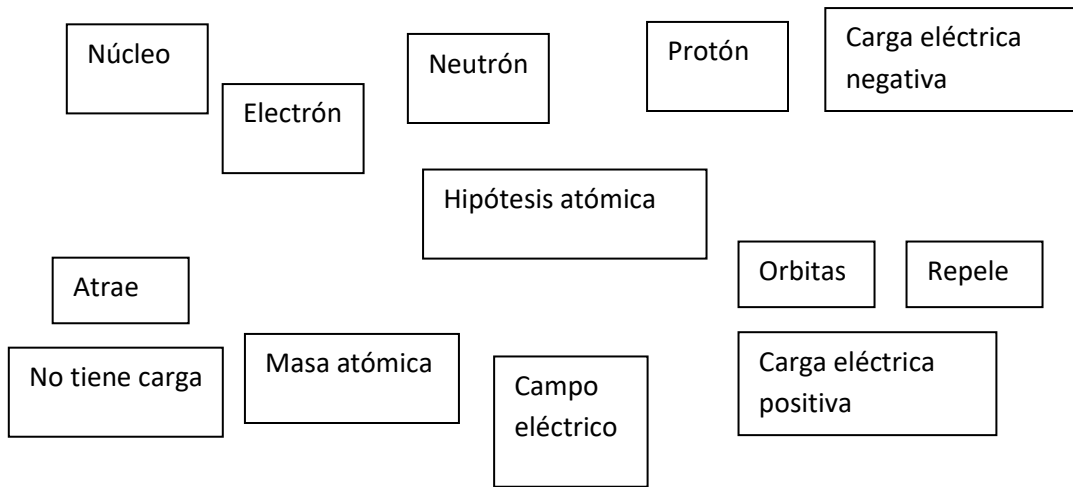
**Tabla 1.** Partículas con carga eléctrica

Modelización 1	Modelización 2
Respuesta 1	Respuesta 2

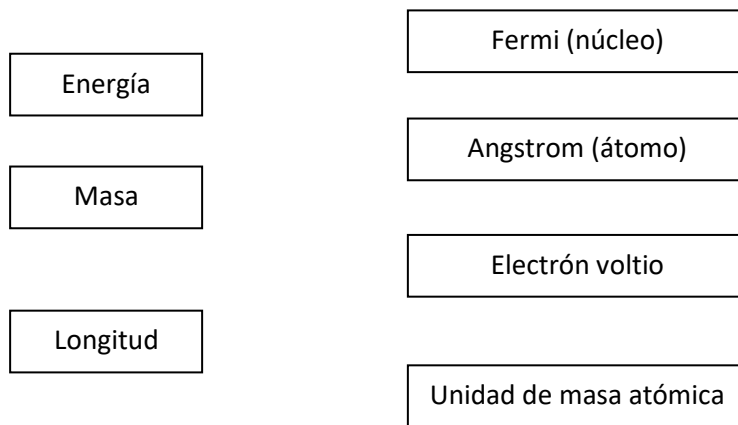
- A continuación usted encontrará un conjunto de palabras involucradas en descripción y comprensión sobre la hipótesis atómica. Elabore un esquema que facilite la comprensión acerca de la estructura atómica. Usted puede agregar otros



elementos, si lo considera necesario. Con sus propias palabras describa la interpretación del mapa.



3. Relacione los siguientes elementos acerca de las unidades implementadas en el campo de la radiación.



4. Ordene jerárquicamente (en la tabla 3) , teniendo en cuenta su masa, los siguientes elementos atómicos registrados de forma aleatoria en la tabla 2.

**Tabla 2.** Datos característicos acerca de algunos elementos atómicos – distribución aleatoria-

Partículas	Cargas	Masas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protón</li> <li>• Neutrón</li> <li>• Electrón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>1,6 \times 10^{-19} \text{ C}</math></li> <li>• <math>-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>9,10 \times 10^{-31} \text{ Kg}</math></li> <li>• <math>1,6726 \times 10^{-27} \text{ Kg}</math></li> <li>• <math>1,6749 \times 10^{-27} \text{ Kg}</math></li> </ul>

**Tabla 3.** Datos característicos acerca de algunos elementos atómicos –ordenados en función de sus masas-

	Partícula	Carga	Masa
1		No tiene carga	
2			
3			

5. A continuación se muestran dos modelos atómicos, el de Rutherford (imagen 1) y el de Bohr (imagen 2)

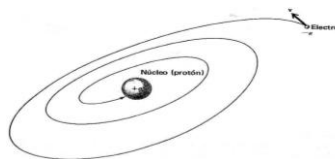


Imagen 1. Modelo atómico de Rutherford

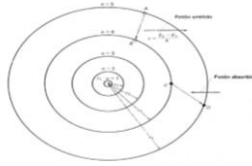


Imagen 2. Modelo atómico de Bohr

Describe la estructura que propone cada modelo (considerando la estabilidad de la materia), la distribución de los elementos atómicos y la forma en que la radiación se emite (discreta o continua).

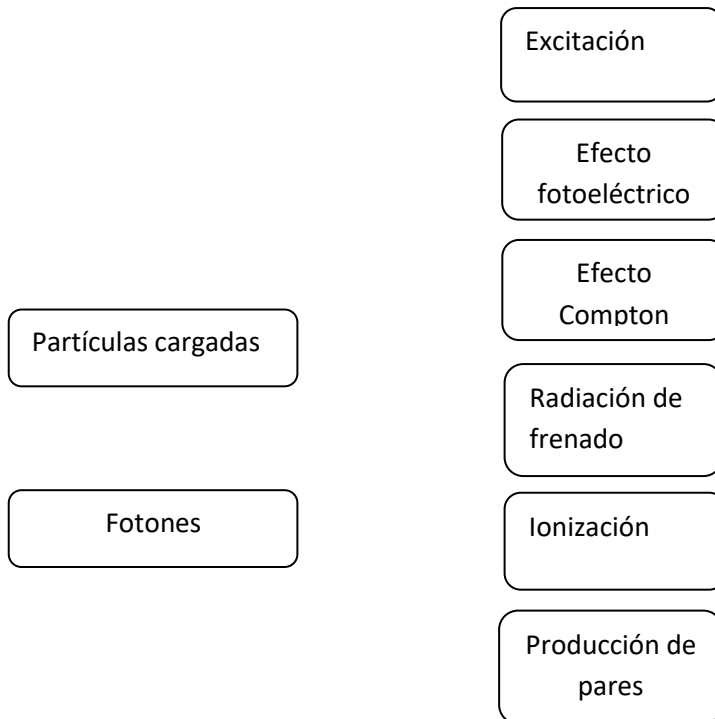
Modelo atómico de Rutherford	Modelo atómico de Bohr
Estructura	Estructura
Elementos atómicos	Elementos atómicos
Emisión de energía	Emisión de energía

6. En el espectro electromagnético están distribuidas una gama de ondas electromagnéticas en función de su longitud de onda, frecuencia y energía. Ordene (jerárquicamente) las ondas electromagnéticas (microondas, luz visible, ondas de radio, ultravioleta, infrarrojo, rayos gamma, rayos x) y establezca una relación teniendo en cuenta su longitud de onda, frecuencia y energía.

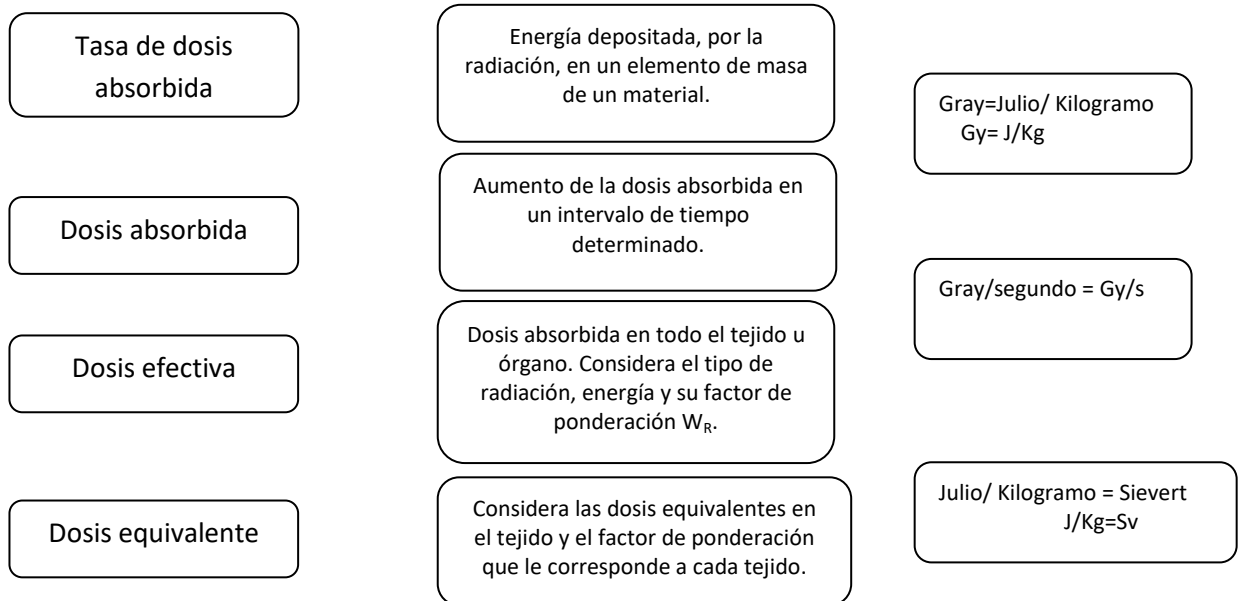
Considerando su Frecuencia(de mayor a menor frecuencia)	Considerando su longitud de onda(de mayor a menor longitud)	Considerando su energía (de mayor a menor energía)
---	---	--

1.	1.	1.
2.	2.	2.
3.	3.	3.
4.	4.	4.
5.	5.	5.
6.	6.	6.
7.	7.	7.

7. Establezca una relación entre los elementos de la derecha y los de la izquierda, para describir los mecanismos implementados por la radiación ionizante en la degradación de su energía, considerando el tipo de entidad física.



8. Las magnitudes dosimétricas facilitan la comprensión a cerca de los efectos que la radiación puede ocasionar sobre la materia. Relacione los siguientes elementos.



9. De acuerdo al riesgo relativo de los diferentes tipos de radiación para el tejido vivo, ordene de menor a mayor los siguientes tipos de radiación.

- Partículas alfa
- Fotones
- Neutrones < 10 KeV
- Neutrones 10 KeV – 100 KeV
- Electrones

10. Los efectos estocásticos que se manifiestan con el paso del tiempo en un tejido dependen del tipo de radiación y del órgano irradiado. Este último puede ser en cierta medida resistente o sensible a la radiación con la que interactúa. Considerando los siguientes tejidos y su sensibilidad frente a la radiación ordénelos de mayor a menor.

- Piel
- Pulmón
- Tiroides
- Mama
- Gónadas

**ANEXO No. 5**

**TALLER SOBRE MECANISMOS PARA BLINDAR UN ÁREA DONDE SE  
ENCUENTRA UNA FUENTE EMISORA DE RADIACIÓN GAMMA**

1. En una instalación se establece que el límite de dosis equivalente para irradiación uniforme en todo cuerpo en el personal ocupacionalmente expuesto-por ejemplo, tecnólogo en radiología - es de 20 mSv/año. ¿Cuál es?<sup>18</sup>:

a) El límite mensual (mSv)

b) El límite semanal (mSv)

c) El límite diario<sup>19</sup> (μSv)

d) La tasa de dosis equivalente que debe existir en la instalación para no sobre pasar el límite de dosis equivalente establecido (μSv/h)

2) A continuación usted observara tres graficas que relacionan el factor de trasmisión k de fotones gamma para cada elemento, en función del espesor de material requerido para atenuar la intensidad de radiación en un periodo determinado.

Tenga en cuenta lo siguiente:

a.  $Tasa\ de\ dosis = \frac{dosis\ absorbida}{tiempo}$

$$\dot{D} = \frac{D}{t}$$

b. La tasa de dosis impartida ( $\dot{D}$ ) por la radiación ionizante en un punto determinado, luego de atravesar un material cuya densidad es especifica, es:

$$\dot{D} = \dot{D}_o e^{-\mu x}$$

$$\frac{\dot{D}}{\dot{D}_o} = e^{-\mu x}$$

$$\frac{\dot{D}}{\dot{D}_o} = k$$

Donde,  
μ= coeficiente de atenuación lineal, depende del material.  
X= espesor del material recorrido por la radiación  
K= Factor de trasmisión (tabla )

<sup>18</sup> Ejercicio tomado del *Proyecto: Estrategia nacional para la prevención, atención y monitoreo de riesgos radiológicos. Curso de protección radiológica para el manejo de material radiactivo*. INGEOMINAS. Bogotá 2002.

<sup>19</sup> 1 mSv equivale a 1000 μSv

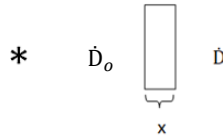


Imagen 1. Representación de la medida de tasa de dosis impartida por la energía de una fuente de radiación ionizante, antes y después del material de blindaje.

- c. Suponiendo que la tasa de dosis medida en la región de la pared  $\dot{D}_0$  antes del blindaje (imagen 1) corresponde a  $1000 \mu\text{Sv/h}$  y la tasa de dosis después del blindaje  $\dot{D}$  (imagen 1) no debe superar los  $10 \mu\text{Sv/h}$ , halle el factor de transmisión considerando el límite de dosis por hora del personal ocupacionalmente expuesto y complete la siguiente tabla<sup>20</sup>. Además, halle el espesor necesario del material para reducir la  $\dot{D}$  en  $0,01$  (k).

FUENTE	Exposición	Tasa de dosis $\mu\text{Sv/h}$	Plomo (cm)	Concreto(cm)	Acero (cm)
$^{137}_{55}\text{Cs}$	Ocupacional				
	Público				
$^{131}_{53}\text{I}$	Ocupacional				
	Público				
$^{60}_{27}\text{Co}$	Ocupacional				
	Público				
$^{192}_{77}\text{Ir}$	Ocupacional				
	Público				

<sup>20</sup> Actividad desarrollada en jornada de capacitación para tecnólogos en Radioterapia de Centro de Control de Cáncer, orientada por MSc. Ricardo Español.



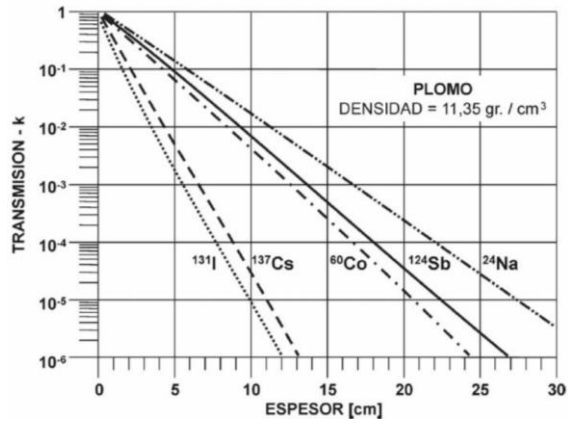


Imagen 2 Relación de trasmisión k para radiación gamma para plomo

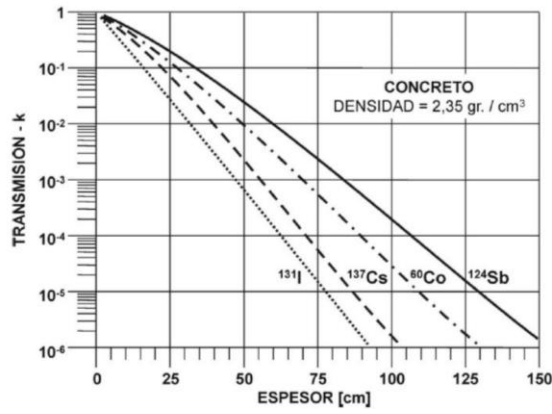


Imagen 3 Relación de trasmisión k para radiación gamma para concreto

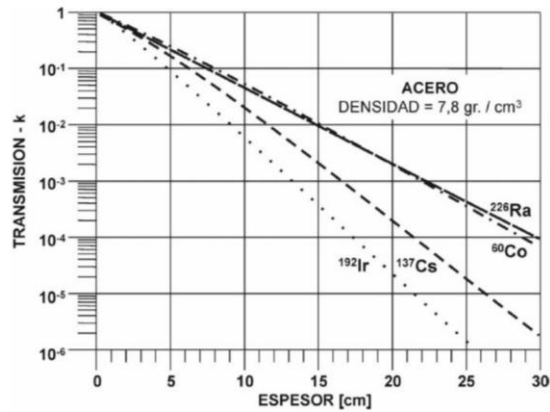


Imagen 4 Relación de trasmisión k para radiación gamma para acero

Para el desarrollo de la actividad en el aula, considere los valores –energía, material y coeficiente de atenuación de cada material en función de la energía -que se encuentran registrados en la siguiente tabla y que corresponden a cada fuente de radiación:

Isotopo	Energia (MeV)	Material	Coefficiente de atenuación lineal $\mu$ (1/cm)
Cesio-137	0,662	Plomo	0,9569
Yodo-131	0,637		0,9435
	0,364		1,3813
Cobalto-60	1,250		0,5562
Cesio-137	0,662	Concreto	0,1149
Yodo-131	0,637		0,1954
	0,364		0,1434
Cobalto-60	1,250		0,0926
Cesio-137	0,662	Acero	0,4001
Cobalto-60	1,250		0,3042
Iridio-192	0,168		0,5040

**ANEXO No. 6**

**IMÁGENES DE ALGUNOS COMETAS –CÉLULAS- INTERACTUANDO  
CON UN CAMPO ELÉCTRICO**

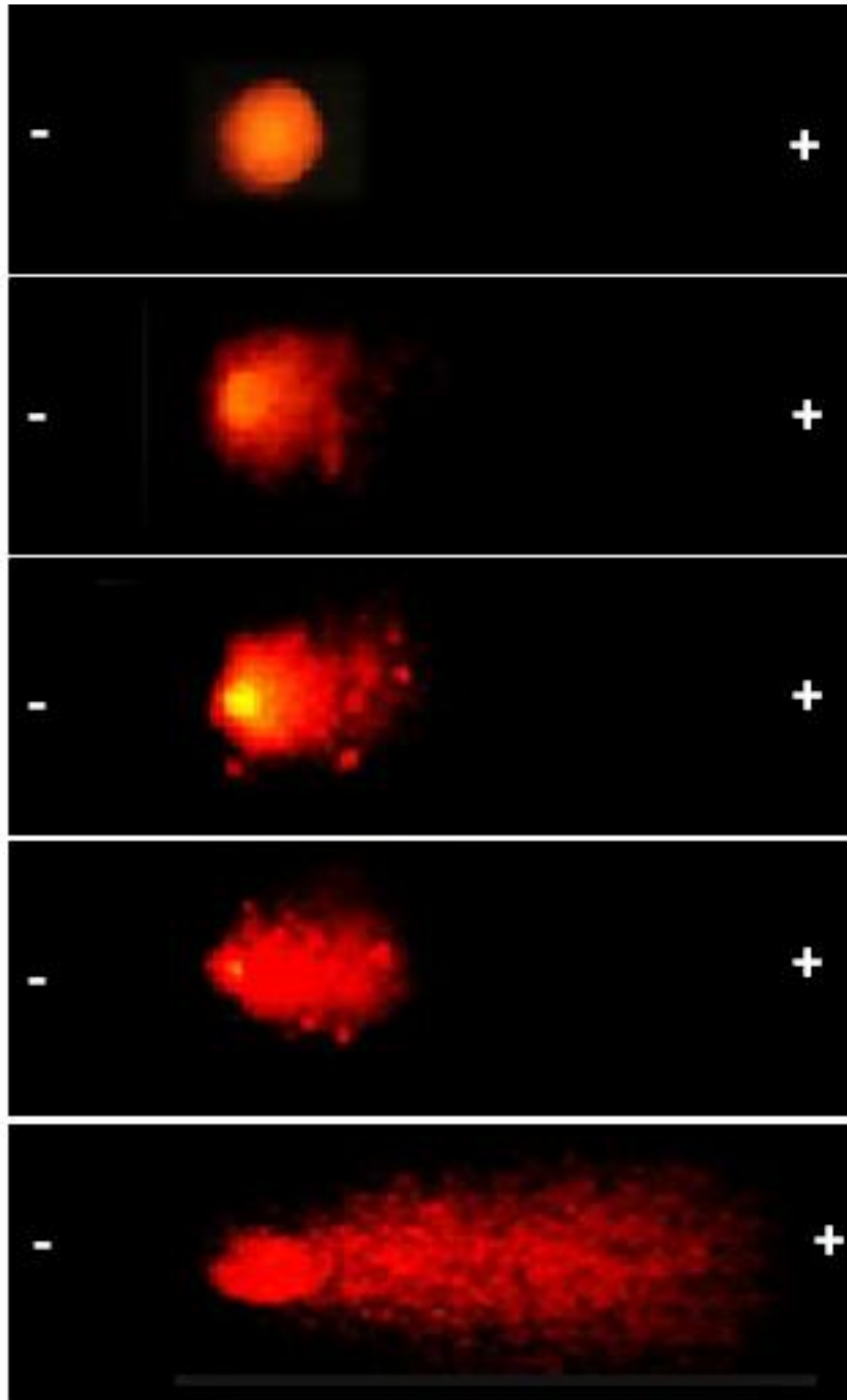


Ilustración 1 Célula inmersa en un campo eléctrico generado por ánodo y un cátodo. Representación de distintos niveles de daño al ADN celular. Recuperado de: [http://www.reduas.com.ar/wp-content/uploads/2010/10/foto4\\_03.jpg](http://www.reduas.com.ar/wp-content/uploads/2010/10/foto4_03.jpg)