RBPEF Revista Brasileira de Pesquisa em Ensino de Física

ISSN 3086-6480
v. 1 (2025)
pp. 01-20

Recibido: 16 sep. 2025 | Aceptado: 17 oct. 2025 | Publicado: 01 nov. 2025

DOI: https://doi.org/10.5380/rbpefv1.101247-es

HISTORIA DE LA RADIACTIVIDAD EN EL AULA: EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DE UNA SECUENCIA DIDÁCTICA BASADA EN EL EPISODIO DE LAS CHICAS DEL RADIO

Iderlândia Souza de Medeiros [iderlandiamedeiros61@gmail.com]
Universidad Federal de Río Grande del Norte / Programa de Posgrado en Enseñanza de Ciencias Naturales y Matemáticas
Natal – Río Grande del Norte - Brasil

Juliana Mesquita Hidalgo [julianahidalgo@fisica.ufrn.br]
Universidad Federal de Río Grande del Norte / Departamento de Física
Natal – Río Grande del Norte - Brasil

Resumen
La introducción de la Historia y la Filosofía de la Ciencia en el contexto didáctico permite reflexiones críticas sobre la ciencia como práctica social y cultural. En este trabajo, presentamos los resultados de una investigación empírica realizada a lo largo de la implementación de una secuencia didáctica centrada en discusiones sobre la naturaleza de la ciencia, el género y la justicia social, contextualizadas a partir del episodio histórico de las Chicas de la Radio. La propuesta se aplicó en el 9.º año de la educación básica, basándose en actividades estructuradas según los tres momentos pedagógicos, con un enfoque central en el uso de narrativas histórico-pedagógicas. Aplicamos la metodología del análisis de contenido a los trabajos escritos elaborados por los participantes en la etapa final de la intervención. Los resultados indican una comprensión crítica de la ciencia como una construcción histórica, influenciada por intereses económicos y sociales, así como reflexiones sobre las desigualdades de género, las responsabilidades científicas y los derechos laborales. Las evidencias sugieren que el enfoque favoreció la toma de conciencia sobre las implicaciones sociales y éticas de la ciencia, contribuyendo a una perspectiva más crítica y humanizada del conocimiento científico.
Palabras clave: Las chicas del radio. La naturaleza de la ciencia. Historia de la radiactividad.

Histôria da radioatividade em sala de aula: avaliando impactos de uma sequência didática baseada no episódio das Garotas do Radio

Resumo
A introdução da História e Filosofia da Ciência no contexto didático possibilita reflexões críticas acerca da ciência enquanto prática social e cultural. Neste trabalho, apresentamos os resultados de uma investigação empírica realizada ao longo da implementação de uma sequência didática centrada em discussões sobre a Natureza da Ciência, gênero e justiça social, contextualizadas a partir do episódio histórico das Garotas do Rádio. A proposta foi aplicada no 9º ano do Ensino Fundamental, tomando como base atividades estruturadas segundo os três momentos pedagógicos, tendo como ponto central a utilização de narrativas histórico-pedagógicas. Aplicamos a metodologia da análise de conteúdo às produções escritas elaboradas pelos participantes na etapa final da intervenção. Os resultados indicam compreensões críticas sobre a ciência como construção histórica, influenciada por interesses econômicos e sociais, assim como reflexões sobre desigualdades de gênero, responsabilidades científicas e direitos laborais. As evidências sugerem que a abordagem favoreceu a consciência sobre as implicações sociais e éticas da ciência, contribuindo para uma perspectiva mais crítica e humanizada do saber científico.
Palavras-Chave: Garotas do Rádio. Natureza da Ciência. História da Radioatividade.

History of Radioactivity in the classroom: assessing the Impacts of a didactic sequence based on the Radium Girls episode

Abstract
The introduction of the History and Philosophy of Science in the educational context can enable critical reflections on science as a social and cultural practice. In this work, we present the results of an empirical investigation carried out through the implementation of a didactic sequence focused on discussions about the Nature of Science, gender, and social justice, contextualized by the historical episode of the Radium Girls. The proposal was implemented in a 9th-grade class of Basic Education, based on activities structured according to the three pedagogical moments, with the central point being the use of historical-pedagogical narratives. We applied content analysis methodology to the written productions prepared by the participants in the final stage of the intervention. The results indicate critical understandings of science as a historical construction influenced by economic and social interests, as well as reflections on gender inequalities, scientific responsibilities, and labor rights. The evidence suggests that the approach fostered awareness of the social and ethical implications of science, contributing to a more critical and humanized perspective of scientific knowledge.
Keywords: Radium Girls. Nature of Science. History of Radioactivity.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la incorporación de la Historia y la Filosofía de la Ciencia (HFC) a la enseñanza de las ciencias ha sido objeto de un interés creciente entre los investigadores. Este tipo de enfoque se destaca por promover una comprensión más profunda del conocimiento científico, situándolo como una construcción social, humana, cultural e histórica. La contextualización histórica, basada en la presentación de la ciencia como un proceso (y no como un producto listo y terminado), puede contribuir al aprendizaje de conceptos científicos y al desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes (Matthews, 1995; Allchin, 2004; Martins, 2006; Prestes y Caldeira, 2009; Forato et al., 2011; Vital y Guerra, 2017; Rodrigues et al., 2020).

Las investigaciones indican que el análisis de episodios históricos puede potenciar el aprendizaje científico al promover reflexiones sobre la naturaleza de la ciencia (NdC), por ejemplo, relacionadas con las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, y con las implicaciones sociales y éticas de las prácticas científicas. Ejemplos en: Silva y Moura (2008), Forato et al. (2012), Schirmer y Sauerwein (2014) y Rodrigues et al. (2020). En este sentido, la HFC surge como una estrategia prometedora para cuestionar visiones simplistas y estereotipadas de la ciencia, presentándola como una actividad humana, colectiva y situada históricamente, tal como se observa en Martins (2007), Prestes y Caldeira (2009), Martins (2015) y Oliveira et al. (2021).

En el contexto brasileño, desde los Parámetros Curriculares Nacionales hasta la Base Curricular Común Nacional, la legislación educativa destaca la importancia de los enfoques históricamente contextualizados e interdisciplinarios (Brasil, 1997; 2001 y 2018). Dichos documentos señalan la necesidad de promover situaciones de aprendizaje desafiantes, éticas y socialmente situadas, que conduzcan a la comprensión de la ciencia como una empresa social humana, colectiva y en constante transformación.

Cabe señalar, sin embargo, que, a pesar de las recomendaciones académicas y legales, la presencia de la HFC en las aulas sigue siendo escasa. Esta limitación está relacionada, entre otros factores, con la falta de capacitación específica del profesorado para el uso de enfoques histórico-filosóficos, las lagunas en materia de HFC en los libros de texto y la sobrecarga curricular. La enseñanza suele estar orientada a la preparación para exámenes que no contemplan explícitamente este tipo de contenido. Y, por otro lado, es poco común entre los maestros la percepción de la HFC como una estrategia facilitadora para abordar los contenidos presentes en los exámenes de selección: Martins (2006), Martins (2007), Forato et al. (2012), Schirmer y Sauerwein (2014), Vital y Guerra (2017) y Hidalgo (2023).

Entre los recursos que se proponen con mayor frecuencia para ampliar la presencia de la HFC en la enseñanza se encuentran las narrativas histórico-pedagógicas, es decir, textos basados en episodios históricos adaptados al contexto escolar. Las narrativas combinan elementos fácticos, fundamentados en investigaciones historiográficas, con recursos narrativos que estimulan el interés y la imaginación de los estudiantes. Permiten abordar contenidos científicos de manera más atractiva, favoreciendo la articulación entre conceptos y contextos históricos (Drummond et al., 2015; Vital y Guerra, 2016; Oliveira et al., 2021). Cabe destacar, sin embargo, que, al observar las publicaciones en revistas brasileñas sobre la incorporación didáctica de la HFC, las investigaciones de tipo «estado del arte» indican que «*la mayoría de los trabajos no presenta una evaluación sobre el uso de estos recursos en las propuestas* implementadas» (Schirmer y Sauerwein, 2014, p. 61).

Teniendo en cuenta este panorama, evaluamos la implementación de una secuencia didáctica de autoría propia, de carácter histórico-filosófico, en el 9.º año de la educación básica. La propuesta, centrada

en el episodio histórico de las Chicas de la Radio, aborda la temática de la historia de la radiactividad, y cuenta como recursos fundamentales con narrativas elaboradas para suscitar reflexiones sobre la NdC, las relaciones de género, los derechos laborales y la responsabilidad social. Se partió del principio de que, al discutir casos reales, marcados por dilemas y conflictos, se crea la oportunidad de desarrollar no solo conocimientos conceptuales, sino también competencias críticas y argumentativas de los estudiantes.

El presente artículo tiene como objetivo presentar los resultados de la investigación empírica de carácter cualitativo realizada a lo largo de la intervención. Buscamos investigar si, y en qué medida, la secuencia didáctica propuesta puede utilizarse para estimular la reflexión crítica sobre el episodio en cuestión, contribuyendo a una visión histórica y socialmente contextualizada de la ciencia. A continuación, describimos brevemente el episodio histórico seleccionado y la estructura de la secuencia didáctica elaborada, con el fin de poder discutir los resultados de la investigación[1] .

2. EL EPISODIO DE LAS CHICAS DE LA RADIO

A principios del siglo XX, el descubrimiento de la radiactividad despertó un gran entusiasmo. Se comenzaron a comercializar diversos productos que contenían radio[2] , tales como chocolates, tónicos, pastas dentales, cosméticos y medicamentos. Esa euforia también impulsó la fabricación de relojes con esferas luminosas, pintadas con tinta radiactiva, especialmente a partir de la Primera Guerra Mundial (Leal y Forato, 2021).

En Estados Unidos, la *United States Radium Corporation* (USRC) contrató a cientos de mujeres jóvenes para pintar las esferas de esos relojes. A estas trabajadoras, conocidas como las «Chicas del Radio», se les indicaba que sostuvieran los pinceles con la boca para garantizar la precisión de la pintura. La empresa aseguraba que este procedimiento, conocido como *«lip-pointing»*, era seguro, aunque ya existían indicios de que el radio pudiera ser perjudicial para la salud (Leal, 2023)[3].

Con el paso del tiempo, muchas de estas jóvenes trabajadoras comenzaron a enfermarse gravemente, desarrollando necrosis en la mandíbula, cáncer y otras afecciones debilitantes. En 1927, cinco trabajadoras demandaron a la USRC, enfrentando una batalla judicial marcada por obstáculos legales, prejuicios de género y el prestigio de la industria. A pesar de las pruebas, la USRC negaba la relación entre el trabajo que realizaban las obreras y sus graves problemas de salud, llegando incluso a ocultar informes elaborados por investigadores contratados por la propia empresa, que señalaban la necesidad de cambios en las condiciones laborales. Los profesionales contratados por la USRC se encargaban de examinar a las mujeres y, en uno de los casos, llegaron a diagnosticar erróneamente sífilis, en lugar de contaminación por tinta radiactiva. Se investigaba y se exponía públicamente la vida personal de las empleadas, lo que provocó el rechazo social hacia algunas de ellas; fue notorio el caso de una madre soltera. Los médicos independientes se enfrentaban a resistencia al intentar investigar la situación. La USRC dificultaba el acceso a la tinta radiactiva. Solo en el marco del juicio, a partir de los estudios del patólogo Harrison Martland (1883–1954) sobre la toxicidad del radio en los organismos vivos, fue posible demostrar que pequeñas cantidades de radio acumuladas en los huesos resultaban letales. Con el apoyo de la Liga Nacional de Consumidores, las jóvenes pintoras lograron un acuerdo judicial en 1928 (Leal, 2023). Ese mismo año, Marie Curie (1867-1934), en una entrevista concedida a un periódico sobre el caso, expresó su preocupación por el uso indiscriminado del radio en Estados Unidos, admitiendo que, una vez absorbido por el organismo, el material radiactivo no podía eliminarse (The Daily Notes, 1928).

El caso de las «Chicas del Radio» tuvo una amplia repercusión, impulsando cambios en la legislación laboral y en las normas de seguridad ocupacional en Estados Unidos (Leal y Forato, 2021). Desde el punto de vista didáctico, este episodio resulta especialmente eficaz como contexto para debates sobre el tema de la ciencia y la sociedad, las relaciones entre la ciencia y la sociedad, los derechos laborales, las cuestiones de género y los dilemas éticos. Pone de manifiesto múltiples dimensiones de la práctica científica: el carácter provisional del conocimiento, los conflictos entre intereses económicos y valores éticos, la influencia de la cultura sobre la ciencia y los impactos sociales de la actividad científica.

[1] Este trabajo es un extracto de la tesis de maestría elaborada por la primera autora, bajo la dirección de la segunda. La tesis está disponible en el repositorio electrónico de la UFRN (Medeiros, 2025).

[2] El radio es un metal alcalinotérreo descubierto por Marie y Pierre Curie en 1898 a partir de la uraninita. Es altamente radiactivo y emite partículas alfa, beta y radiación gamma. Su isótopo más conocido, el radio-226, tiene una vida media de aproximadamente 1600 años. Sus sales presentan luminiscencia, fenómeno que llevó a su aplicación en esferas de relojes, instrumentos de aviación y equipos militares, aunque hoy en día su uso se limita a aplicaciones médicas (Xavier et al., 2007).

[3] El discurso de Pierre Curie (1859-1906) en la ceremonia de entrega del Premio Nobel de 1905 señaló que, en ciertos casos, la acción del radio podía ser peligrosa, causando quemaduras de difícil cicatrización al entrar en contacto con la piel (Cordeiro y Peduzzi, 2010).

3. CARACTERIZACIÓN DE LA INTERVENCIÓN

La secuencia didáctica[4] (Las chicas de la radio) que se implementó buscó integrar aspectos conceptuales, históricos, éticos y sociales relacionados con el episodio de las Chicas de la Radio, con el objetivo de promover una reflexión crítica y explícita sobre afirmaciones y cuestiones relacionadas con la NdC (Martins, 2015; Peduzzi y Raicik, 2020). En este sentido, entre los objetivos previstos se destacan: comprender la ciencia como una construcción histórica, social y cultural; reconocer el carácter provisional del conocimiento científico; analizar los impactos de la ciencia en la sociedad y los dilemas éticos que de ella se derivan; y discutir cuestiones relacionadas con las desigualdades de género. Además, se buscó promover el desarrollo de la argumentación escrita y oral de los estudiantes.

La propuesta, estructurada en base a los tres momentos pedagógicos (Delizoicov et al., 2002), se aplicó en el 9.º grado de la educación básica en la asignatura de Ciencias, lo cual se justifica por la presencia del tema de la radiactividad en los libros de texto de esta etapa. Consistió en la lectura y el debate colectivo de cuatro narrativas histórico-pedagógicas —figuras 1 a 4—, de autoría propia, acompañadas de preguntas de orientación a la lectura presentadas en dichos textos[5] .

Texto 1: Contexto da Radioatividade



Entre o final do século XIX e início do XX, a descoberta dos raios-X e da radioatividade marcou um grande avanço na ciência. Essas descobertas estimularam muitas pesquisas para entender novos fenômenos e explorar suas possíveis aplicações. Enquanto os raios-X permitiam "ver", por exemplo, aspectos do interior do corpo humano através das radiografias, a radioatividade, também despertava interesse, tanto para aplicações médicas, quanto para a indústria farmacêutica, alimentícia, de cosméticos e de outros produtos.



Figura 1 - Marie Curie e Pierre Curie

O casal de cientistas, Marie Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906), se dedicou ao estudo da radioatividade, desempenhando um papel fundamental ao isolar o elemento do rádio. Eles descobriram que o rádio era mais ativo em minerais de urânio do que outros elementos que utilizavam em suas pesquisas.

As pesquisas de Marie e Pierre Curie foram reconhecidas com prêmios Nobel, em 1903 e em 1911, o que demonstra o impacto da descoberta da radioatividade na época.

Pouco após a descoberta do rádio, a sociedade em geral e a indústria se interessaram pelo novo elemento. Surgiram minas de rádio nos Estados Unidos e diversos produtos com rádio adicionado, o que gerava entusiasmo e atração nas pessoas.

Eram fabricados relógios com mostradores pintados com uma tinta à base de rádio, que brilhavam no escuro graças à radioatividade. A lista de produtos radioativos comercializada no início do século XX incluía supositórios, pasta de dente, compressas radioativas, água radioativa, cigarros, chocolates, preservativos, brilhantina, soda atômica e sabonetes, além de itens de maquiagem. A seguir, vemos algumas imagens desses produtos que continham rádio

Figura 1: Texto 1, contexto de la radiactividad. Fuente: las autoras.

Los relatos exploran diferentes dimensiones del episodio histórico de las Chicas del Radio, y sirven de base para introducir temas relacionados con la NdC, la ética y las relaciones de género.

El primer texto, titulado «Contexto de la radiactividad», destaca el descubrimiento de la

[4] Nos referimos a la secuencia didáctica como un conjunto de actividades de enseñanza-aprendizaje interrelacionadas sobre un tema a impartir (Méheut y Psillos, 2004; Psillos et al., 2004).

[5] Las narrativas están disponibles en Medeiros (2025).

radiactividad a finales del siglo XIX y su uso casi inmediato en la fabricación de productos comerciales, como cosméticos, alimentos, medicamentos y relojes con manecillas luminosas. El texto describe la fascinación popular por el brillo de la radio y cómo esta novedad se asoció con la modernidad y el progreso, sin que, inicialmente, se tomaran en cuenta los posibles riesgos.



Texto 2: "Só você vai ficar de fora? Adquira logo o seu UNDARK!"

UNDARK

Material Luminoso de rádio que brilha no escuro

O poder do rádio ao seu dispor

"Quero o UNDARK nas minhas coisas"

Trinta anos atrás o rádio era desconhecido.

Hoje, graças ao constante trabalho nos laboratórios, o poder do mais incomum dentre os elementos está ao seu dispor. Por meio do UNDARK, o rádio atende você com segurança e precisão.

O UNDARK realmente contém rádio? Com certeza! É o rádio combinado com sulfeto de zinco da maneira adequada, que dá ao UNDARK a habilidade de brilhar no escuro continuamente.

Os fabricantes foram rápidos em reconhecer o valor do UNDARK.

Quando você acorda à noite e vê um relógio que brilha com UNDARK no mostrador, você não precisa ficar procurando fósforos, nem acender a luz para saber que horas são. Quando você precisa de uma lanterna no escuro é

Figura 2: Texto 2, anuncio publicitario. Fuente: las autoras.

El segundo texto, titulado "¿Solo tú te quedarás fuera? Adquiere ya tu UNDARK", presenta, en formato publicitario, el entusiasmo en torno a la tinta luminosa a base de radio, utilizada para pintar las carátulas de los relojes.

El tono llamativo y persuasivo pone de manifiesto la estrategia de mercadotecnia de las empresas, que promocionaban el producto como moderno y necesario, sin mencionar ningún riesgo para la salud derivado de su manipulación. Esta narrativa se elaboró íntegramente a partir de extractos de anuncios publicitarios reales de la época.

El tercer texto, «Las chicas del radio», narra la rutina laboral de las jóvenes obreras contratadas por la USRC, centrándose en las técnicas de pintura de los relojes, las condiciones insalubres y la falta de protección contra la radiación. Muestra cómo se contrataba a las mujeres a gran escala, con salarios bajos, para aplicar la técnica del «*lip, dip,* paint» —es decir, «lamer, sumergir, pintar»—, y se les instruía a usar los labios para afinar la punta de los pinceles, lo que provocaba la ingestión de la tinta radiactiva.

La narración retrata el agravamiento de los problemas de salud de las trabajadoras, los síntomas de la contaminación por radiación y la negligencia por parte de la empresa y de las autoridades médicas, a menudo contratadas por la propia empresa. El texto aborda, además, las estrategias de ocultación de información proveniente de los investigadores sobre la contaminación, los diagnósticos falsos y los intentos de desacreditar las denuncias de las obreras.

Texto 3: Garotas do Rádio

O episódio histórico das "Garotas do Rádio" ocorreu junto aos avanços na descoberta da radioatividade. Como vimos nos textos anteriores, a atração pela radioatividade levou à produção de diversos produtos, incluindo relógios que brilhavam no escuro, cujas propagandas eram muito atrativas.

Esses relógios foram inicialmente fabricados na Europa, principalmente na Alemanha e Suíça. E, entre 1913 e 1914, passaram a ser fabricados também nos Estados Unidos, com a criação da RadiumLuminous Material Corporation, mais tarde conhecida como United States Radium Corporation, a USRC.



Figura 1 – Fachada da fábrica da USRC



Figura 2 – Interior da fábrica da USRC

Nos Estados Unidos, o sucesso foi tão trande que a produção saltou de 8.500 relógios para 2.200.000 em apenas quatro anos. Em 1918, 95% de todo o rádio extraído no país foi usado para fabricar tinta para mostradores de relógios. Em 1919, foram exportados 560.000 relógios, e em 1925, a produção alcançou 5.500 relógios por dia.

Como os homens haviam sido mandados para a 1ª Guerra Mundial, as empresas contratavam jovens mulheres para pintar os ponteiros dos relógios, se beneficiando da exploração dessa mão de obra barata. As jovens viam o trabalho como uma maneira de contribuir para as despesas familiares. Além disso, a ocupação permitia que elas se sentissem parte da sociedade, pois, naquela época, não tinham muitos direitos. Mulheres não votavam e não tinham acesso ao Ensino Superior.

Figura 3: texto 3, episodio histórico. Fuente: las autoras.

El cuarto y último texto, titulado «La búsqueda de justicia», se centra en la movilización de las trabajadoras en el proceso judicial contra la USRC y las consecuencias del episodio de las Chicas del Radio, incluido el reconocimiento de los peligros derivados del contacto inadecuado con productos radiactivos.

La narrativa presenta la lucha por el reconocimiento de las enfermedades ocupacionales, el impacto del caso en la legislación laboral y la prohibición del uso del radio en productos de consumo a lo largo de los años.

Texto 4: A busca por justiça



Em maio de 1927, cinco jovens pintoras de mostradores de relógios, inconformadas com seus diagnósticos e com a piora de sua saúde, decidiram entrar com uma ação judicial contra a USRC. Eram elas: Quinta McDonald, Edna Hussmann, Albina Larice, Katherine Schaub e Grace Fryer.

As jovens enfrentaram uma longa batalha, pois até mesmo foi difícil encontrar advogados dispostos a representá-las contra uma grande empresa do porte da USRC. As "cinco condenadas", assim chamadas porque os médicos previam que morreriam, obtiveram o apoio de um advogado sem muita experiência, recém-formado. Na época, as discussões sobre as questões trabalhistas nos Estados Unidos estavam apenas começando. A Liga Nacional dos Consumidores, uma entidade então comprometida com essas questões, também apoiou a causa das jovens trabalhadoras.



Figura 1 - As "cinco condenadas".

Em uma sociedade que até então costumava ver o rádio como benéfico e o utilizava em vários produtos populares e lucrativos, incluindo remédios, cosméticos e gêneros alimentícios, como argumentar que essa substância estava adoecendo as trabalhadoras? Se o rádio era prescrito para tratamento de câncer e tuberculose, com poderia ser tão prejudicial?

Figure 4: Texto 4, la búsqueda de justicia. Fuente: de autoría propia.

Bajo el título «Con la mirada puesta en el texto», las preguntas de orientación a la lectura, disponibles en cada narrativa, se utilizan en el salón de clases como punto de partida para debates colectivos, lo que permite explorar los aspectos previstos en los objetivos de la intervención.

Esta etapa, que constituye el núcleo de la propuesta, va precedida por el uso de recursos audiovisuales, como el reportaje «Cesio 137: 30 años»[6] , transmitido por el programa de televisión *Fantástico*, de Rede Globo, con el fin de sensibilizar a los estudiantes sobre los peligros que representa el contacto inadecuado con materiales radiactivos, así como para poner de manifiesto que este tipo de problema ya ha ocurrido en Brasil.

En esta etapa de planteo inicial del problema, se cuestiona cuándo, históricamente, se habrían notado los efectos nocivos de las sustancias radiactivas, allanando el camino para el momento de organización del conocimiento, en el que el video de divulgación científica «Radium Girls – *El caso de las chicas radiactivas*»[7] [7]se utiliza para introducir el episodio histórico explorado en las narrativas (véase **Cuadro 1**).

[6] Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=VUHLS1WL6FM&t=382s

[7] Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=wkfNkd21KQc

Cuadro 1: Etapas de la secuencia didáctica. Fuente: de autoría propia.

Momentos	Planteamiento del conocimiento	Organización del conocimiento	Aplicación del conocimiento
Objetivos	Sacar a la luz los conocimientos previos de los participantes sobre materiales radiactivos y los posibles riesgos de una exposición indebida a la radiactividad. Estimular la curiosidad de los alumnos sobre cuándo se habrían percibido esos riesgos.	Presentar el episodio de las Chicas del Radio mediante videos y narraciones escritas. Fomentar la comprensión de aspectos científicos, históricos, éticos, de género y relacionados con la NdC.	Interpretar imágenes relacionándolas con el episodio. Realizar una reflexión escrita sobre los temas abordados en las etapas anteriores.
Actividades	Introducción dialogada sobre el tema. Presentación del reportaje «Cesio 137: 30 años». Debate a partir del video.	Proyección del video: *«Radium Girls» – El caso de las chicas radiactivas»* . Círculo de lectura colectiva de los relatos y debates motivados por las preguntas de orientación a la lectura.	Elaboración de un texto escrito individual sobre el episodio a partir de imágenes, *caricaturas* y orientaciones para retomar aspectos relacionados con el episodio.

Al finalizar la sesión, en el momento de aplicar los conocimientos adquiridos, los estudiantes realizan una actividad de redacción individual. Se les entregó una hoja con imágenes y caricaturas relacionadas con el episodio, así como instrucciones para redactar textos de entre 25 y 30 líneas, en los que plasmaran sus propias ideas e impresiones basadas en los debates (**Figura 5**).


Apêndice V

Escola: _____

Turma:_____disciplina: _____

Aluno(a): _____

Professor(a): _____

Proposta de Redação:

Agora que você já conhece sobre o episódio "Garotas do Rádio". Construa sua própria narrativa tomando como base as imagens a seguir:

Sua Narrativa deve conter entre 25 e 30 linhas e abordar todos os seguintes elementos:

- Como os produtos radioativos eram vistos pela sociedade.
- O que ocorreu com as mulheres pintoras e como elas trabalhavam.
- Como as mulheres eram vistas pela sociedade da época.
- Possíveis acontecimentos, nesse episódio, relacionados especificamente ao fato de as trabalhadoras serem mulheres.
- A ação judicial.
- Possíveis indícios, nesse episódio, de negligência, direitos trabalhistas negligenciados ou injustiças.
- O desfecho desse episódio em relação às mulheres.
- O desfecho desse episódio em relação aos produtos contendo rádio.

Observações: Não vale copiar trechos das narrativas que você leu.

Use a sua criatividade e as suas próprias palavras para falar sobre o episódio.

Figure 5: Imagen de la hoja de instrucciones para la actividad de escritura individual. Fuente: de autoría propia.

También deben observar las representaciones visuales, tomando en cuenta los siguientes aspectos: la percepción de la sociedad respecto a los productos radiactivos; el destino de las jóvenes pintoras y sus condiciones de trabajo; la visión de la sociedad sobre las mujeres en esa época; posibles

sucesos vinculados directamente al hecho de que las trabajadoras fueran mujeres; evidencia de negligencia, violaciones de los derechos laborales o injusticias; el desenlace de la historia de las jóvenes y de los productos que contenían radio. Estos aspectos se relacionan con los objetivos centrales de la secuencia didáctica, por lo que la actividad es esencial para evaluar la comprensión de los estudiantes.

La propuesta se aplicó inicialmente de manera piloto, con el fin de validar el producto educativo, en la Escuela Estatal Manoel Patrício de Figueiredo, y posteriormente, para la recopilación de datos, en la Escuela Estatal Padre Edmund Kagerer, ambas ubicadas en la ciudad de Caicó, en Río Grande del Norte, en clases de 9.º grado de la educación básica, en 2024[8] . El desarrollo se llevó a cabo en clases regulares, no como una actividad extracurricular. La implementación contó con un total de ocho clases de 50 minutos cada una. La investigadora, primera autora del presente artículo, era en ese entonces la docente a cargo de la asignatura de Ciencias en la escuela, y dirigió directamente todas las etapas de la intervención. A continuación, presentamos la metodología y los resultados de la investigación.

4. METODOLOGÍA

La investigación realizada fue de naturaleza empírica y cualitativa. Buscamos identificar posibles impactos de la implementación de la secuencia didáctica, considerando los objetivos propuestos en términos de la comprensión del episodio histórico y de las discusiones relacionadas con la NdC. Para los efectos de la investigación, se tomaron en cuenta los trabajos escritos de los participantes.

En primer lugar, realizamos la lectura de los trabajos escritos de cada participante. Esta lectura inicial puso de manifiesto que el análisis individual de los trabajos escritos podía llevarse a cabo basándose en criterios establecidos *a priori*, que surgían de las orientaciones expresadas a los participantes en la hoja que se les entregó para esta actividad (**Figura 5**). De este modo, los criterios utilizados, relativos a los contenidos abordados, se relacionan con los objetivos de la secuencia didáctica, ya expresados en el presente artículo. A continuación, enumeramos cada criterio acompañado de una descripción resumida de las expectativas respecto a los aspectos que deben abordar los participantes:

- Percepción de la sociedad sobre los productos radiactivos: comprensión del contexto de aceptación social del uso de la radiactividad, el éxito comercial y el desconocimiento de los posibles riesgos.
- Condiciones laborales y destino de las mujeres: aspectos relacionados con los procedimientos de pintura de las esferas de reloj, las condiciones laborales, las enfermedades y la muerte de las pintoras.
- La visión de la sociedad sobre las mujeres: cuestiones de género que se ponen de manifiesto en el episodio, tales como la explotación del trabajo femenino, el descrédito de las pintoras y las dificultades para obtener apoyo legal.
- Negligencia, violaciones o injusticias: omisiones de los riesgos por parte de la empresa, ocultación de informes científicos, fraudes en las evaluaciones médicas y conflictos de interés en el caso.
- Desenlace de la historia: repercusiones del episodio en los ámbitos social, laboral, científico, etc.

De esta manera, los trabajos escritos de los participantes se analizaron individualmente (sección 5.1) con el objetivo de identificar elementos que evidenciaran reflexiones contextualizadas por el episodio sobre aspectos de la NdC, las prácticas científicas y las relaciones entre ciencia y sociedad. Además, se consideraron como criterios de análisis la originalidad y la extensión del texto producido, observando si el participante presentó ideas propias, estableció conexiones con otros contextos y desarrolló el tema con un nivel adecuado de profundidad. También verificamos si el texto alcanzó la extensión recomendada en las orientaciones[9].

Además del análisis individual de la producción escrita de cada participante, realizamos un segundo tipo de análisis, de carácter general, en ejes temáticos, es decir, en categorías que surgieron de la lectura de las producciones escritas, tomando en cuenta la metodología del análisis de contenido

[8] La realización de esta investigación fue autorizada por los responsables correspondientes de conformidad con el Término de Consentimiento Libre e Informado (véase Medeiros, 2025).

[9] La decisión de realizar trabajos escritos forma parte de una iniciativa coordinada de la escuela orientada a mejorar las habilidades de escritura de los estudiantes, como parte de un proceso gradual que comienza en el 7.º año y se extiende hasta el 9.º año. Est a práctica tiene como objetivo preparar a los alumnos para futuras oportunidades educativas, especialmente considerando el fomento de la participación en procesos de selección para ingresar a la educación secundaria en el Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Río Grande del Norte. Así, la producción textual realizada en la tercera etapa de la intervención también se alinea con estrategias institucionales de valorización de la escritura como herramienta de desarrollo educativo y social. Por este motivo, en el análisis de las producciones escritas también se observarán comentarios sobre posibles dificultades argumentativas y lingüísticas de los estudiantes. Consideramos, además, que las posibles dificultades en este sentido influyen en la forma en que los estudiantes

(Bardin, 2004).

Estos ejes no solo organizan los datos de manera analítica, sino que también revelan las múltiples dimensiones según las cuales los participantes interpretaron los aspectos históricos, éticos, científicos y sociales del caso. Los cinco ejes temáticos centrales identificados, que expresan cómo los participantes interpretaron el episodio de las «Chicas de la Radio» y aplicaron los contenidos trabajados, son:

- Eje 1: El conocimiento científico se desarrolla en contextos marcados por intereses económicos y sociales;
- Eje 2: Invisibilización y desigualdad de género;
- Eje 3: Dimensión ética y responsabilidad científica;
- Eje 4: Carácter provisional y transformación del conocimiento científico;
- Eje 5: Justicia social y postura crítica.

Estos cinco ejes interpretativos, que no se excluyen entre sí, se entrelazan y dialogan con los objetivos de la secuencia didáctica. En este segundo análisis (sección 5.2), los hallazgos derivados de los trabajos escritos se compararon con las posibles contribuciones orales de los estudiantes a lo largo de la implementación de la secuencia didáctica[10] .

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Participaron en la intervención y realizaron la actividad escrita final catorce estudiantes, identificados en los análisis siguientes como P_n, donde n varía de 1 a 14. De ese total, cinco eran niñas (P_1, P_5, P_7, P_{11} y P_{12}) y nueve eran chicos (P_2, P_3, P_4, P_6, P_8, P_9, P_{10}, P_{13} y P_{14}), con edades entre catorce y quince años[11].

5.1. Análisis individual de los trabajos escritos

P_1 reconoció la percepción positiva de la sociedad respecto a los productos radiactivos relacionados con usos médicos. La participante mostró una comprensión parcial de las condiciones de trabajo de las pintoras, mencionando enfermedades, pero sin detallar los procedimientos laborales. En cuanto a la visión social de las mujeres, no la explicitó, solo sugirió que era negativa debido a la dificultad de acceso a la justicia. La participante identificó negligencia empresarial, pero sin profundizar en el papel de los médicos contratados por la USRC ni de la justicia: “A la empresa no le importaba lo que les estaba pasando a las chicas. Solo quería seguir vendiendo sus productos con radio”. El desenlace del episodio se abordó parcialmente, limitándose a la alerta sobre los riesgos en 1925. El texto reveló autoría y originalidad, con un estilo espontáneo, aunque con errores en el uso de las normas de la lengua culta. No cumplió con la extensión esperada, presentando un texto breve. En general, demostró una comprensión inicial del episodio, una mirada crítica en formación y un compromiso con el tema.

P_2 reconoció la percepción positiva que tenía la sociedad sobre la radio, asociada a beneficios sin que hubiera conciencia de los riesgos. El participante describió con claridad las condiciones de trabajo, incluyendo el contacto directo de las pintoras con la tinta radiactiva y sus efectos negativos en la salud. Señaló críticamente la visión que tenía la sociedad sobre las mujeres, destacando la desigualdad política, educativa y laboral. Puso de manifiesto la negligencia de la empresa, que continuó con la producción incluso después de las denuncias y los síntomas de enfermedad de las trabajadoras: “Sabían que el radio era dañino, pero no lo advirtieron. Eso fue una decisión”. El desenlace del episodio se abordó de manera parcial, sin detallar el proceso ni las reparaciones a las trabajadoras. La redacción demostró originalidad, espontaneidad y un estilo propio, aunque con errores relacionados con el uso de normas de lenguaje culto. El texto cumplió con la extensión solicitada y presentó una argumentación coherente. En general, demostró una buena comprensión del episodio, con espíritu crítico y dominio de los temas abordados.

P_3 destacó la percepción positiva que tiene la sociedad de los productos con radio, considerados seguros e innovadores. El participante describió las precarias condiciones laborales de las pintoras, con exposición directa a la radiación y falta de higiene y alimentación. Mencionó la visión social negativa hacia las mujeres, sometidas a pésimas condiciones laborales, quienes sustituían en las fábricas a los hombres que estaban en la guerra. Puso de manifiesto la negligencia de la empresa relojera, que obligaba a

[10] Se realizaron grabaciones de audio de las discusiones e interacciones a lo largo de la aplicación de la secuencia didáctica. Las transcripciones de las intervenciones de los participantes están disponibles en Medeiros, 2025.

[11] Aquí diferenciamos entre niños y niñas, ya que consideramos pertinente observar si existía alguna diferencia entre estos grupos en cuanto a la sensibilización y la empatía frente a las cuestiones de género relacionadas con el episodio.

prácticas nocivas como afinar los pinceles con la boca: «Si nos hubieran avisado antes, tal vez muchas chicas seguirían vivas». El desenlace del episodio se abordó de manera parcial, reconociendo la fatalidad, pero sin mencionar el proceso judicial. La redacción mostró sencillez y errores gramaticales, pero autenticidad en su desarrollo. La extensión del texto fue adecuada, cumpliendo con lo esperado. El trabajo del participante demostró una comprensión crítica sobre la explotación laboral, los riesgos de la radiactividad y la desigualdad de género.

P_4 señaló el éxito comercial de los productos radiactivos, pero no detalló los beneficios percibidos por la sociedad. El participante mencionó las muertes y la baja remuneración de las trabajadoras, sin profundizar en las condiciones laborales. Señaló la explotación femenina en el trabajo, pero no abordó otros aspectos sociales de la época. Aún sobre la condición de la mujer, contrastó la retirada de productos del mercado, tras la muerte del atleta Eben Byers, con la falta de medidas de precaución a raíz de las muertes de las pintoras, aunque en ambos casos hubiera contaminación por radiación: “Cuando murió el rico, se dieron cuenta. Pero las chicas eran pobres y mujeres, nadie les prestó atención”. Así, señaló indicios de negligencia empresarial, aunque no profundizó en lo que habría ocurrido. El desenlace del episodio se abordó parcialmente, con mención a las muertes y a la interrupción de la producción, sin detalles sobre las reparaciones. La autoría se consideró solo parcial, debido a indicios de apoyo en fuentes externas. La extensión fue adecuada, de acuerdo con lo solicitado. En general, el texto de P_4 evidenció una comprensión inicial del episodio, pero careció de profundización crítica y articulación histórica.

P_5 reconoció los peligros de la radiactividad, pero no destacó el éxito comercial ni los beneficios que se promocionaban en las propagandas. La participante señaló cómo ha cambiado el conocimiento a lo largo del tiempo sobre los riesgos de la radiactividad: «Al principio, la ciencia pensaba una cosa, pero luego cambió cuando se realizaron más estudios». Describió con claridad las condiciones de trabajo, los síntomas que presentaban las mujeres y los diagnósticos médicos erróneos. Señaló prejuicios de género, como la acusación de sífilis y la desvalorización de las denuncias de las mujeres. Destacó la negligencia y la mala fe de la empresa, preocupada únicamente por su reputación y sus ganancias económicas. El desenlace del episodio se abordó de manera parcial, con mención al acuerdo forzado y a las muertes, sin profundizar en las dificultades judiciales. La redacción fue personal, espontánea y auténtica, a pesar de los errores gramaticales. Se cumplió con la extensión numéricamente, pero podría haber incluido más detalles. El texto elaborado por P_5 reveló un enfoque crítico y sensibilidad hacia el sufrimiento de las trabajadoras, aunque carecía de una mayor profundización histórica y social.

P_6 se refirió a la popularidad y al éxito comercial de los productos radioactivos, destacando el papel de la publicidad. El participante mencionó las condiciones de trabajo y las enfermedades, pero presentó una contradicción al abordar el uso del pincel en la boca, a veces como exigencia de la empresa, otras como elección de las pintoras. Señaló la explotación de las mujeres en el mercado laboral, con salarios más bajos y la necesidad de demostrar su capacidad, pero sin profundizar en otros aspectos sociales. Destacó la negación de la empresa respecto a los problemas de salud, aunque en parte atribuyó la responsabilidad a las propias trabajadoras. El desenlace del episodio se abordó de manera limitada, con referencia únicamente a las muertes, sin mencionar el proceso judicial ni las reparaciones. Se hizo referencia a cuestiones éticas relacionadas con la ciencia: «Hoy tenemos leyes gracias a esas chicas. Esto demuestra que la ciencia tiene que pensar en las personas». La redacción reveló originalidad y espontaneidad, aunque con errores ortográficos y dificultades de expresión. La extensión del texto fue la adecuada según lo solicitado. En general, el trabajo presentado demostró una comprensión inicial del episodio, aunque le faltó coherencia, espíritu crítico y profundización histórico-social en algunos aspectos.

P_7 destacó el entusiasmo social ante los productos radiactivos, haciendo hincapié en el desconocimiento de los riesgos. La participante describió de manera detallada las precarias condiciones de trabajo, los síntomas y las muertes de las mujeres. Mencionó la dificultad de las trabajadoras para obtener justicia y señaló el contraste en el trato que se le dio cuando un hombre rico enfermó y murió. Puso de manifiesto la negligencia empresarial, incluyendo el uso de médicos falsos, la manipulación de exámenes y la negativa a pagar indemnizaciones. Relató el proceso judicial, el acuerdo financiero y las consecuencias tras la muerte del joven atleta Eben Byers en relación con la retirada de productos radiactivos del mercado. Relacionó el episodio con accidentes contemporáneos, ampliando el análisis a otros contextos. El texto demostró originalidad, claridad y buena estructura, con un compromiso personal con el tema. La extensión fue adecuada, cumpliendo con lo solicitado. El texto presentado reveló un espíritu crítico y sensibilidad ante las injusticias, con una buena articulación entre ciencia, sociedad y género.

P_8 destacó la percepción positiva que tiene la sociedad sobre la radio, asociada a la innovación y al éxito comercial. El participante mencionó la contaminación de las pintoras por el contacto directo con la radiación, pero sin detallar prácticas específicas ni mencionar muertes. No abordó la visión social sobre las mujeres, dejando de relacionar el episodio con las desigualdades de género. Señaló negligencia empresarial, mencionando la aceptación de una indemnización inferior, pero sin abordar los diagnósticos erróneos. El participante describió el desenlace del episodio de manera parcial, limitándose a la propuesta de indemnización, sin hacer referencia a las consecuencias más graves. La redacción fue sencilla y original, pero presentó errores ortográficos y dificultades de articulación. El texto fue breve, sin alcanzar la extensión solicitada. El trabajo demostró una comprensión inicial del episodio, pero poco profunda y con importantes lagunas críticas.

P_9 destacó la visión positiva que tiene la sociedad sobre los productos radiactivos, asociada al desconocimiento de los riesgos. El participante mencionó los síntomas de las trabajadoras y su búsqueda de justicia, pero no detalló las precarias condiciones laborales. Señaló indirectamente la desigualdad de género al indicar que las mujeres lucharon por derechos que no se respetaban. Citó el litigio judicial, pero sin explicar las injusticias cometidas por la empresa. Sin embargo, asoció el poder económico con el control de la información, destacando la omisión intencional de los problemas. No mencionó el desenlace del caso, dejando lagunas importantes. La redacción fue original, aunque con muchas dificultades para articular las ideas. El texto presentado por el participante fue breve y no alcanzó la extensión solicitada. Su trabajo mostró una comprensión inicial del episodio, pero con un bajo nivel de profundización y una reflexión crítica limitada.

P_{10} destacó el interés de la sociedad por los productos radiactivos, haciendo hincapié en el brillo de los relojes y el impacto de la publicidad. El participante mencionó el contacto de las pintoras con la radio, incluyendo el hábito de lamer los pinceles y los problemas dentales, sin detallar las muertes. Señaló la desigualdad de género como factor agravante en la demora para obtener justicia. Indicó la falta de derechos laborales, pero sin una contextualización histórica profunda. Mencionó la negligencia de la empresa de manera superficial, sin detallar las omisiones ni las responsabilidades. Mencionó el proceso judicial, pero no presentó el desenlace, ni el acuerdo ni las consecuencias graves. Su redacción fue original y espontánea, aunque con dificultades para articular las ideas. Presentó un texto conciso, sin alcanzar la extensión solicitada. Su trabajo demostró una comprensión inicial del episodio, pero careció de un análisis crítico, social y ético más profundo.

P_{11} indicó que la sociedad creía en los beneficios de la radio, pero de manera fragmentada y sin detalles. La participante mencionó la enfermedad de las pintoras, sin describir las condiciones de trabajo ni mencionar las muertes. Señaló cambios en la participación femenina en el mercado laboral durante la guerra y sugirió que existía desigualdad de género en el reconocimiento de los riesgos de la radio. Se refirió a la percepción de negligencia por parte de la sociedad, sin detallar las acciones de la empresa. Citó la muerte de un hombre influyente como hito para admitir los riesgos, sin mencionar el proceso judicial ni el desenlace de las trabajadoras. El texto presentado por la participante es original, aunque presenta dificultades en la organización de las ideas. La extensión fue adecuada, cumpliendo con lo solicitado. Su trabajo demostró una comprensión parcial del episodio, pero le faltó profundización crítica y contextualización social, histórica y ética.

P_{12} destacó el entusiasmo inicial de la sociedad por los productos radiactivos, reconociendo tanto los beneficios como los riesgos desconocidos. La participante describió detalladamente las precarias condiciones de trabajo, el procedimiento de afinar los pinceles con los labios, el enfermarse y la muerte de las pintoras. Señaló la explotación de las mujeres en el mercado laboral, al percibirlas como mano de obra barata, pero no abordó otros aspectos de género. Puso de manifiesto la negligencia de la empresa, incluyendo la obligatoriedad del procedimiento y la persecución a quienes denunciaron los hechos. El desenlace del episodio se trató parcialmente, mencionando las muertes, pero sin hacer referencia al proceso judicial ni al acuerdo. Destacó la necesidad de regulaciones legales para evitar tragedias similares. El texto presentado por P_{12} fue original, con información pertinente, aunque presenta dificultades en la redacción. El texto tiene una extensión adecuada, cumpliendo con lo solicitado. En general, demostró una comprensión crítica del episodio y articuló aspectos éticos, sociales y científicos, con sensibilidad y compromiso con el tema.

P_{13} destacó el entusiasmo inicial de la sociedad por la radio, reconociendo sus supuestos beneficios médicos. El participante describió detalladamente las precarias condiciones de trabajo, incluyendo el procedimiento de lamer los pinceles y los síntomas que aparecieron en las trabajadoras. Señaló la explotación de las mujeres, resaltando que se las consideraba inferiores, dependientes y relegadas al ámbito doméstico. Puso de manifiesto la negligencia de la empresa y la manipulación judicial, además de la desvalorización de las víctimas y los diagnósticos falsos. Relató que el uso comercial del

radio se debió a la falta inicial de conocimiento de los riesgos, y luego señaló la resistencia de las empresas a cambiar sus prácticas, incluso ante la evidencia. El desenlace del episodio se abordó de manera crítica, mostrando que la empresa no fue responsabilizada y que a las mujeres no se les reconocieron plenamente sus derechos. El participante presentó un texto claro, crítico, bien estructurado y original. Su texto tiene una extensión adecuada, cumpliendo con lo solicitado. Demostró un análisis crítico consistente, articulando ciencia, ética y desigualdad de género de manera madura y profunda.

P_{14} destacó la percepción positiva que tiene la sociedad sobre los productos radiactivos, considerados milagrosos y vinculados al éxito comercial. El participante mencionó que las pintoras enfermaron debido al contacto con la pintura radiactiva, pero no hizo referencia al hábito de lamer los pinceles ni a las muertes. Señaló de manera superficial las limitaciones sociales de las mujeres. Sin embargo, destacó que el prejuicio contra las mujeres contribuyó a que se restara importancia a las denuncias y a la demora en tomar medidas. Puso de manifiesto la negligencia de la empresa, incluyendo la falsificación de exámenes y la presión ejercida sobre las pintoras para que aceptaran acuerdos judiciales injustos. Observó que la producción de artículos radiactivos continuó incluso después de los primeros indicios de daños a la salud. Presentó una redacción original y directa, aunque con cierta dificultad para articular las ideas. El texto presentado por P_{14} es conciso y no alcanzó la extensión solicitada. Demostró una comprensión inicial del episodio y sensibilidad hacia el tema, pero careció de un análisis crítico más profundo y de una contextualización histórica y ética.

El **Cuadro 2** presenta un resumen de los resultados de los análisis de los trabajos escritos individuales de los participantes. En el cuadro, tenemos NA, que significa «no cumplido», PA, que significa «parcialmente cumplido», y A, que significa «cumplido».

Los resultados revelan que los participantes fueron relativamente capaces de abordar diferentes dimensiones de la NdC, como las relaciones entre la ciencia y los intereses sociales y económicos, el carácter provisional del conocimiento científico, las implicaciones éticas de las prácticas científicas, así como aspectos relacionados con la desigualdad de género y cuestiones laborales. Llama la atención el hecho de que no todos lograron, de manera adecuada, articular de forma crítica y contextualizada los elementos históricos, éticos, científicos y sociales involucrados en el episodio de las Chicas de la Radio. En este sentido, se pueden observar resultados parciales en las producciones. Se observaron indicios de la comprensión de que el conocimiento científico no es neutral ni definitivo, sino que está sujeto a revisiones e influencias externas. Surgieron reflexiones sobre la desigualdad de género, los intereses económicos en conflicto con la ética y la importancia de una comunicación científica accesible y honesta.

Cuadro 2: Resultados de los análisis de las producciones escritas individuales. Fuente: de autoría

Participante	Percepción de la sociedad sobre los productos radiactivos	Condiciones laborales y destino de las mujeres	Visión de la sociedad sobre las mujeres	Negligencia, violaciones o injusticias	Desenlace de la historia	Originalidad	Extención
P_1	A	PA	PA	PA	PA	A	NA
P_2	A	A	A	A	PA	A	A
P_3	A	A	PA	A	PA	A	A
P_4	PA	PA	PA	PA	PA	A	A
P_5	PA	A	PA	A	PA	A	A
P_6	A	PA	PA	PA	PA	A	A
P_7	A	A	PA	A	A	A	A
P_8	A	PA	NA	PA	PA	A	NA
P_9	A	PA	PA	PA	NA	A	NA
P_{10}	A	PA	PA	PA	PA	A	NA
P_{11}	PA	PA	PA	PA	PA	A	A
P_{12}	A	A	PA	A	PA	A	A
P_{13}	A	A	A	A	PA	A	A
P_{14}	A	PA	PA	A	PA	A	NA

Los textos producidos evidencian, de manera satisfactoria, la movilización de valores y de comprensiones sobre la ciencia como práctica social. Dichos resultados sugieren que el enfoque adoptado contribuyó al desarrollo de una visión más crítica, reflexiva y humanizada de la ciencia. No se observó una diferencia significativa entre los trabajos escritos de los niños y las niñas, incluso en lo que respecta a cuestiones relacionadas con la desigualdad de género. Los participantes de ambos sexos se mostraron

relativamente sensibilizados con respecto a este tema.

5.2. Análisis por ejes temáticos

Eje 1: El conocimiento científico se desarrolla en contextos marcados por intereses económicos y sociales

Este eje analítico recoge evidencia de que los participantes entendieron la ciencia como una construcción humana, que influye y es influenciada por contextos sociales, históricos y económicos. Fueron capaces de percibir que el desarrollo del conocimiento científico no ocurre de manera aislada, sino que está profundamente vinculado a las circunstancias de la época, tales como el interés por la radiactividad, la lucratividad de las industrias de productos radiactivos, las fallas en la legislación laboral y los valores sociales vigentes, que colocaban a las mujeres en una posición de inferioridad.

En su obra escrita, P_3 señaló que «la radiactividad se consideraba una gran innovación», lo que refuerza la idea de que la ciencia formaba parte de una lógica de modernización que cegaba a la sociedad ante los posibles riesgos que conllevaba. La contribución deP_{10} también fue en la misma dirección, al mencionar que «la sociedad veía los productos como avances tecnológicos», lo que confirma la idea de que el progreso técnico-científico se legitimó gracias a la creencia pública en la innovación. P_1 también demostró que la sociedad de la época veía los productos radiactivos como algo fascinante, un símbolo de progreso: «La tinta brillaba, era bonita. Decían que era bueno, que era moderno». Este mismo participante añadió además que «la gente pensaba que eran seguros e incluso que hacían bien a la salud».

El participanteP_{13} afirmó en su redacción: «La población no tenía información sobre los riesgos», lo que indica una conciencia sobre el papel de la desinformación en el contexto histórico. La percepción de desconocimiento de los posibles riesgos también aparece en las narrativas deP_1 yP_2 , quienes escribieron, respectivamente: «Pocos sabían de los peligros de la radiactividad» y «Las chicas no sabían nada. Solo pintaban las manecillas». Sin embargo, en estos fragmentos se nota que el desconocimiento no era generalizado. ¿Quiénes serían los «pocos» que sabían de los peligros? Afirmar que «las chicas no sabían nada» parece dar a entender que alguien sí sabía. «La población no tenía información sobre los riesgos» parece indicar que la información existía, pero no era accesible para ese público. En estas contribuciones se puede leer una interpretación de la relación entre la ignorancia social y el avance técnico.

En la intervención oral deP_2 durante el debate, queda claro que, para él, las empresas sí sabían mucho: «Las empresas querían vender. No avisaron porque iban a perder dinero». Esta declaración demuestra que el participante percibió aspectos de las relaciones entre ciencia, economía e intereses comerciales, lo que indica un espíritu crítico al reconocer que la omisión de los riesgos estaba vinculada a la preservación de las ganancias empresariales.P_5 , por su parte, en su texto escrito, afirmó que «la empresa había ignorado las advertencias sobre los peligros de la tinta», lo que indica la percepción de que se tenía conocimiento de los riesgos, pero que este fue silenciado intencionalmente. La conexión entre la actuación del sistema judicial y los intereses corporativos refuerza la idea de una ciencia situada en relaciones de poder. «La justicia tardó en juzgar los casos», afirmó la participante.

P_7, en su redacción, escribió que «la gente confiaba en la seguridad de los productos», lo que indica que existía una creencia social generalizada en el avance científico como algo incuestionable. Este dato se articula con el comentario deP_8, quien destacó: «Fue solo después de que murieran varias personas que comenzaron a investigar... antes nadie decía nada». Este comentario pone de manifiesto la percepción de la ciencia como una práctica reactiva, sujeta a presiones sociales y revisiones a partir de evidencias trágicas, lo que revela una concepción no lineal del desarrollo científico.

El análisis conjunto de las declaraciones y los trabajos escritos revela que varios participantes fueron capaces de percibir la ciencia como una empresa social, sujeta a intereses políticos y económicos, y no como una actividad neutral y objetiva. Esta comprensión refuerza la eficacia de la propuesta implementada para promover reflexiones críticas en el contexto de la enseñanza de las ciencias. En este sentido, dichas contribuciones dialogan directamente con la percepción crítica de que la ciencia es instrumentalizada por los intereses del mercado, tal como lo discute Martins (2006), quien pone de manifiesto que las decisiones tecnológicas no son neutrales, sino que están moldeadas por valores sociales y económicos.

Eje 2: Invisibilización y desigualdad de género

El segundo eje temático pone de manifiesto la capacidad de los participantes para identificar, a partir del caso de las Chicas de la Radio, la marginación histórica de las mujeres. Al analizar los textos escritos, comparados con las eventuales aportaciones orales a lo largo de las discusiones, se observa que los participantes demostraron sensibilidad respecto a la forma en que el género influyó directamente en el

trato que recibieron las trabajadoras por parte de la USRC, del sistema de justicia y de la sociedad de la época. A lo largo de la intervención, se hizo evidente la empatía de los participantes de ambos sexos con el sufrimiento de las obreras y la percepción crítica de la desigualdad de género.

El participanteP_3, en su texto escrito, afirmó: «Decían que nos lo estábamos inventando. Que todo era cosa de mujeres débiles. Pero ellas se estaban muriendo». Este extracto pone de manifiesto la comprensión de que el dolor de las trabajadoras fue deslegitimado por una sociedad que tendía a desestimar las denuncias presentadas por las mujeres. Revela la internalización de una mirada crítica sobre el silenciamiento de la voz femenina en contextos de violencia institucional.

En su redacción, el participante P_{10} observó que «a las mujeres se las veía como mano de obra barata», resaltando su vulnerabilidad a la explotación en el ambiente de trabajo. Esta percepción revela una comprensión de las condiciones precarias impuestas a las obreras, asociadas a la posición social inferior que ocupaban. La participanteP_{12} escribió: «Si fueran hombres, habrían obtenido justicia más rápido», lo que indica su percepción de la diferencia en el trato jurídico y social basada en el género. Por su parte, el participante P_{14} afirmó: «La sociedad pensaba que una mujer solo servía para casarse y cuidar la casa; no se la tomaba en serio ni siquiera cuando estaba enferma», lo que pone de manifiesto el estereotipo socialmente impuesto a las mujeres y su consiguiente invisibilización.

Estos textos ponen de manifiesto la percepción de los participantes sobre cómo el dolor de las trabajadoras fue deslegitimado por una sociedad que tendía a desestimar las denuncias presentadas por las mujeres. Parte de los participantes reconoció la desigualdad de género como un factor determinante para el sufrimiento prolongado de las trabajadoras y para la demora en el reconocimiento institucional del problema. La presencia de estas reflexiones en los textos refuerza el potencial formativo de la propuesta para estimular una mirada crítica y sensible hacia el tema de las relaciones de género.

Durante los debates, la participanteP_6 expresó una percepción similar: «Yo también creo, profesora, que fue porque eran mujeres; ¿qué abogado iba a defender a unas mujeres que, para ellos, estaban mintiendo?». Aquí, la participante señala la exclusión de las mujeres de los espacios de representación y defensa legal, poniendo de manifiesto la intersección entre género y poder jurídico. Su comentario pone de relieve la percepción de que la condición de género impuso límites reales a la posibilidad de que las víctimas reclamaran sus derechos. Otros participantes también expresaron claramente su lectura crítica de las relaciones de género en el episodio:

P_4: «No tenían voz en la sociedad». P_1: «Las mujeres tenían menos derechos en el trabajo». P_9: «Se las consideraba inferiores en el mercado laboral». P_{11}: «Se las veía como menos importantes en la sociedad».

Estas aportaciones demuestran que los participantes reconocieron la naturalización de la desigualdad de género, atribuyendo a la posición social de las mujeres parte de la responsabilidad por la demora en el reconocimiento institucional del problema. Revelan una comprensión crítica de que la forma en que se veía a las mujeres en esa época contribuyó a silenciar e invisibilizar a las Chicas de la Radio. Estos fragmentos orales y escritos evidencian no solo la empatía de los participantes hacia el sufrimiento vivido, sino también la comprensión de los mecanismos sociales que perpetúan la desigualdad de género. Así, este eje demuestra que los participantes no solo comprendieron los aspectos históricos y científicos del episodio, sino que también lograron articular esas comprensiones con dimensiones sociales más amplias, especialmente en relación con la desigualdad de género y la invisibilización de las mujeres.

El análisis de los discursos y los textos escritos revela la sensibilidad de los participantes para identificar las repercusiones de la desigualdad de género en el episodio histórico, lo que indica un cierto grado de madurez en la interpretación de la realidad social. La articulación entre los conocimientos escolares y la temática de género permitió a los participantes interpretar el episodio de las Chicas de la Radio no como un evento aislado, sino como un reflejo de estructuras sociales opresivas. Se considera fundamental ampliar esta discusión a la luz de la literatura especializada. González García y Pérez Sedeño (2006) destacan que los estudios sobre ciencia, tecnología y género exponen cómo la práctica científica ha estado marcada históricamente por el sexismo y el androcentrismo, lo que contribuyó a la exclusión de las mujeres y a la deslegitimación de sus experiencias. Esta exclusión no se limita al borrado histórico, sino también a la naturalización de jerarquías sociales que sustentaron la marginación femenina. En la misma línea, Schiebinger (2001) enfatiza que la ciencia no es neutral en relación con las cuestiones de género. Así, al articular las percepciones críticas de los estudiantes con las contribuciones de estos estudios, se comprende que la incorporación didáctica de episodios históricos potencialmente relevantes en relación con la temática de género puede permitir una lectura crítica de las estructuras sociales opresoras, favoreciendo una práctica pedagógica más inclusiva y emancipadora. El reconocimiento, por parte de los participantes, de que las mujeres fueron sometidas a un trato diferenciado e injusto debido a

su género representa un paso fundamental para una enseñanza de las ciencias que rompa con la neutralidad aparente y avance hacia una práctica pedagógica emancipadora, tal como lo proponen los 3MP. Este tipo de lectura refuerza el potencial de la enseñanza de las ciencias como espacio para la promoción de la ciudadanía y la justicia social. En particular, concuerda con los argumentos que defienden el uso de la HFC como medio para dar visibilidad a sujetos marginados e históricamente excluidos, movilizar conocimientos y afectos, fomentar reflexiones sobre la justicia social y la ciudadanía en la enseñanza de las ciencias, y favorecer la formación de una postura crítica frente a las desigualdades sociales (Silva y Moura, 2008; Schirmer y Sauerwein, 2014; Leal y Forato, 2021).

Eje 3: Dimensión ética y responsabilidad

En este eje, se destaca la forma en que los participantes generaron reflexiones sobre las implicaciones éticas del caso de las Chicas de la Radio, revelando una comprensión crítica respecto a la responsabilidad de las empresas, los profesionales de la salud y las instituciones jurídicas ante las situaciones vividas por las trabajadoras. A lo largo de los trabajos escritos y las discusiones en el salón de clases, fue posible identificar la percepción de los participantes sobre la negligencia institucional y la manipulación del conocimiento científico, lo que demuestra el desarrollo de una visión ampliada de la ciencia como práctica social y situada.

Varios pasajes de los ensayos expresan claramente esta comprensión. La participante P_1, por ejemplo, escribió en su ensayo: «Los médicos daban otro diagnóstico... Y como eran mujeres, nadie les creía». De manera similar, P_6 aportó una mirada crítica al afirmar: «La empresa sabía del peligro, pero lo ocultó. Contrataron a médicos que mintieron en los informes». Este fragmento pone de manifiesto la comprensión de la participante sobre la responsabilidad directa de la empresa y de sus representantes en el encubrimiento de los efectos de la radiactividad. Por su parte, P_{13}, en su redacción, afirmó: «No querían que nadie supiera que el radio era dañino. Por eso pagaban a los médicos para que mintieran». Aquí se observa una interpretación clara sobre la relación entre los intereses económicos y la manipulación del conocimiento científico.

Estos fragmentos revelan la percepción de las participantes sobre el uso de diagnósticos falsos como estrategia de silenciamiento, y destacan además la intersección entre la desigualdad de género y la injusticia institucional. Estos registros revelan la idea de que hubo un intento deliberado de ocultar la verdad por parte de los agentes involucrados, incluso ante el evidente sufrimiento de las trabajadoras. La mención directa a la falsificación de diagnósticos y a la omisión por parte de la empresa demuestra la crítica al uso de la autoridad médica y científica para encubrir los impactos nocivos de la radiación. Este tipo de lectura crítica también se reflejó en las contribuciones orales. Durante las discusiones, P_6 afirmó: «Sabían que era dañino, pero lo ocultaban. ¡Falsificaban los exámenes!» Este sentimiento de indignación se manifestó en otras declaraciones: P_6: «Trabajaron en malas condiciones y sin protección». P_9: «Hubo intentos de ocultar las enfermedades». P_{11}: «Las empresas alegaron desconocimiento del peligro». P_{12}: «Les ocultaron muchas cosas a las pintoras». P_5: «La justicia tardó en juzgar los casos».

La indignación expresada en los comentarios muestra que los participantes no solo comprendieron el contexto histórico del caso, sino que también fueron capaces de asociarlo con dilemas éticos fundamentales, como la responsabilidad institucional y el derecho a la información. Estas aportaciones refuerzan la percepción de que los participantes pudieron identificar los intereses económicos que se escondían tras el encubrimiento de los riesgos para la salud, así como el uso estratégico de la ciencia (es decir, de los diagnósticos médicos) para proteger a las instituciones en detrimento de la vida humana. Las menciones a la actuación de los médicos, a la manipulación de los exámenes y al silencio jurídico conforman una crítica articulada a la forma en que el conocimiento científico puede movilizarse para justificar u ocultar injusticias.

Así, este eje pone de manifiesto que los participantes fueron capaces de articular el conocimiento científico, el análisis histórico y el juicio ético, reconociendo que la omisión de los agentes involucrados en el caso analizado no fue accidental, sino sistemática —y que, por lo tanto, exige una postura crítica. Al reconocer la relación entre ciencia, ética y poder, los participantes demostraron haber roto con una visión neutral de la ciencia, adoptando una perspectiva crítica y reflexiva sobre los impactos sociales de la producción científica. Estos resultados refuerzan empíricamente el argumento de que los episodios históricos pueden ofrecer oportunidades valiosas para el desarrollo de una lectura histórica y social de la ciencia y la tecnología, lo que permite cuestionar el papel de las instituciones en la perpetuación de las desigualdades y las omisiones (Silva y Moura, 2008).

La movilización de estas reflexiones en el ámbito escolar contribuye a la formación de sujetos que comprenden la ciencia y la tecnología como prácticas humanas, impregnadas de valores e intereses, y que, por ello, deben estar constantemente sujetas a la ética y la responsabilidad social. Esta perspectiva

concuerda con lo que proponen Forato y otros autores (2012), al defender que la enseñanza de las ciencias debe ir más allá de los contenidos conceptuales, abordando también las dimensiones éticas de la práctica científica como componente esencial de la formación ciudadana.

Eje 4: Carácter provisional y transformación del conocimiento científico

Este eje revela que los participantes fueron capaces de percibir la ciencia como una construcción histórica, mutable y dependiente del contexto social y tecnológico en el que se inserta. La comprensión de que el conocimiento científico está sujeto a cambios a lo largo del tiempo, a medida que surgen nuevas evidencias y experiencias, se manifestó de manera clara en algunas producciones escritas y contribuciones orales.

En su texto escrito, la participanteP_5 señaló: «Al principio todos pensaban que era bueno. Pero con el tiempo comenzaron a enfermarse. Fue entonces cuando se dieron cuenta de que la radiación podía ser dañina». Este fragmento pone de manifiesto la asimilación de la idea de que los conocimientos científicos se construyen social e históricamente, y pueden revisarse ante nuevas situaciones y descubrimientos. La frase marca, además, un contraste entre el optimismo inicial respecto a la radiactividad y el reconocimiento posterior de sus efectos nocivos. De manera complementaria, el texto escrito de P_2 aporta otro ejemplo: «Se establecieron algunas precauciones sobre el uso de la radiactividad». Aquí, el participante demuestra haber comprendido que las prácticas relacionadas con la ciencia también evolucionan con el tiempo, acompañando los avances en la comprensión de los riesgos y beneficios involucrados.

Otros fragmentos escritos refuerzan esta comprensión colectiva. La participanteP_{11} afirmó: «La población no tenía información sobre los riesgos», mientras que el participante P_6 escribió: «Pocos sabían de los peligros de la radiactividad». Estos registros revelan la percepción de que el conocimiento científico se limitaba a ciertos grupos y que la ampliación de ese conocimiento se fue dando progresivamente, con base en nuevas evidencias. P_{14}, en su relato, destacó: «Las chicas no sabían nada. Solo pintaban las manecillas», lo que pone de manifiesto el desconocimiento de las obreras sobre los riesgos y la falta de acceso a información científica confiable.

Durante los debates orales, los estudiantes también demostraron comprender el carácter provisional de la ciencia. La participante P_{11} afirmó: «Fue solo después de que murieran varias personas que comenzaron a investigar... antes nadie decía nada». Esta observación pone de manifiesto la visión de que la ciencia, en este episodio, actuó de manera reactiva, viéndose presionada por las consecuencias a revisar sus posturas. Esta percepción también surgió durante la ronda de conversación sobre el accidente con el cesio-137, en la etapa de planteamiento inicial del problema, cuando el participante P_{14} comentó: «Cuando ocurrió el primer accidente fue que empezaron a darse cuenta de que hacía daño». El comentario pone de manifiesto la comprensión de que, muchas veces, el conocimiento científico se pone en marcha o se reformula, lo que demuestra su naturaleza provisional. Además, durante las interacciones, el participante P_6 comentó: «La ciencia se equivocó al principio, pero luego lo corrigió». Esta formulación resume la comprensión de que el conocimiento científico se construye a través de intentos, aciertos, errores y revisiones, y siempre está sujeto a transformación.

Tales manifestaciones demuestran que los participantes no expresaron una visión de la ciencia como poseedora de verdades absolutas e incuestionables, sino que señalaron que los conocimientos están sujetos a cambios. La concepción de la ciencia como algo provisional y en constante transformación se manifestó de manera significativa. Esta comprensión es fundamental para abordar la temática de la NdC, especialmente para la percepción de la ciencia como un proceso no lineal, sujeto a controversias y reconstrucciones (Gil-Pérez et al., 2001; Azevedo y Scarpa, 2017). Al relacionar las consecuencias del uso de la radioterapia con el cambio de postura por parte de las instituciones científicas y médicas, los participantes demuestran una lectura crítica de la construcción del conocimiento, tal como lo propone Martins (2015), al afirmar que la formación científica debe incorporar dimensiones históricas, epistemológicas y sociales.

Eje 5: Justicia social y postura crítica

El quinto eje pone de manifiesto cómo los participantes se sensibilizaron ante las injusticias vividas por las Chicas de la Radio, lo que les generó sentimientos de indignación, empatía y deseo de reparación social. A lo largo de los trabajos escritos y las discusiones, es posible observar el surgimiento de una mirada crítica sobre la relación entre ciencia, poder y justicia, lo que denota un avance significativo en la formación de una postura ciudadana frente a los impactos sociales de la ciencia.

En los trabajos escritos, se expresó con claridad la indignación ante la indiferencia institucional. El

participanteP_9, por ejemplo, escribió: «Ellas querían justicia. Querían que otras personas supieran que la radio estaba enfermando». Esta afirmación evidencia una comprensión aguda de la dimensión ética y política del caso, al reconocer tanto el sufrimiento vivido por las trabajadoras como la importancia de compartir ese conocimiento con otros —como un gesto de denuncia y de lucha por el reconocimiento—. También en la etapa escrita, P_{10} afirmó: «A ellos solo les importaban las ventas, no las mujeres. Eso está muy mal». El participante demostró conciencia crítica al identificar las ganancias como prioridad de las instituciones involucradas, en detrimento de la salud y la dignidad de las trabajadoras. Aquí hay un juicio ético que denuncia la lógica mercantilista que regió las decisiones empresariales. Otro ejemplo relevante aparece en el texto de P_8, quien observó: «Se adoptaron medidas de seguridad para los productos después de la muerte del rico en EE. UU.». Esta frase revela una crítica implícita a la selectividad de las políticas de protección y reparación, sugiriendo que solo después de la muerte de una persona socialmente valorada hubo una reacción efectiva. Se trata de un indicio de que el participante fue capaz de asociar el episodio con las desigualdades estructurales que afectan a quienes tienen o no tienen visibilidad y poder.

Durante los debates, este sentido de justicia también se expresó en las intervenciones: P_{13}: «Se olvidó a las mujeres. Sufrieron y nadie hizo nada durante mucho tiempo»; P_6: «La justicia tardó en juzgar los casos»; P_9: «Nadie las ayudó, parecía que no importaba»; P_{10}: «Ellas querían justicia. Querían que otras personas supieran que la radio se estaba deteriorando»; P_7: «Solo les importaban las ventas, no las mujeres». Estas manifestaciones apuntan a una implicación emocional y cognitiva que trasciende el contenido factual, revelando que los participantes no solo aprendieron sobre el caso, sino que lo interpretaron a la luz de valores éticos y de principios de equidad y derechos humanos. Este tipo de compromiso concuerda con las observaciones de Leal y Forato (2021), quienes destacan el potencial del caso de las Chicas de la Radio como narrativa didáctica capaz de acercar la ciencia y la ciudadanía, promoviendo debates sobre los derechos, la reparación histórica y la centralidad de la vida humana frente a los intereses económicos y políticos.

Al identificar las injusticias que sufren las trabajadoras, los participantes expresaron la idea de que la ciencia —lejos de ser neutral— puede utilizarse tanto para promover la emancipación como para perpetuar las desigualdades. De este modo, este eje pone de manifiesto que las prácticas pedagógicas desarrolladas permitieron a los participantes experimentar el conocimiento científico no como algo aislado o puramente técnico, sino como parte de disputas simbólicas y materiales, con efectos reales sobre las vidas humanas.

6. CONSIDERACIONES FINALES

La investigación empírica realizada demostró que los participantes fueron capaces de movilizar conocimientos históricos, éticos y sociales a partir de la lectura de las narrativas histórico-pedagógicas y de las discusiones en el aula. Se alcanzaron comprensiones significativas sobre la ciencia como construcción social, sujeta a intereses económicos y políticos, además de reflexiones sobre la desigualdad de género, los derechos laborales, la responsabilidad científica y la comunicación del conocimiento. Las opiniones de los participantes —tanto en los trabajos escritos como en los debates en el salón de clases— revelaron diferentes niveles de apropiación de los contenidos explorados, que variaron desde la asimilación de aspectos técnicos, como los efectos de la radiactividad, hasta reflexiones sobre la negligencia institucional, la desigualdad de género, el carácter provisional del conocimiento científico y la justicia social.

Los resultados obtenidos evidencian que los participantes, de manera relativamente satisfactoria:

- Comprendieron la ciencia como una práctica histórica, ética y socialmente situada, alejada de la idea de neutralidad y de verdad absoluta;
- Reconocieron las desigualdades de género y los procesos de invisibilización sistemática de las mujeres;
- Identificaron relaciones entre ciencia, economía y poder, comprendiendo los intereses institucionales que subyacen a la omisión y la manipulación del discurso científico;
- Manifestaron empatía, indignación y sentido de la justicia, elementos fundamentales para la formación de una postura crítica y ciudadana.

El análisis de los trabajos escritos, comparado con las aportaciones orales, indicó que la secuencia didáctica no solo contribuyó al aprendizaje de aspectos relacionados con el tema de la radiactividad, sino que también promovió la formación de una visión más crítica y humanizada de la ciencia. El episodio de «Las chicas de la radio» demostró ser, en este sentido, un recurso poderoso para discutir temas transversales y promover la alfabetización científica de manera contextualizada. Entendemos que iniciativas como esta contribuyen a superar los enfoques centrados en el contenido y descontextualizados de la enseñanza de las ciencias, acercando a los estudiantes a una comprensión más amplia y ciudadana

de la ciencia.

Sin embargo, es importante destacar que deben reconocerse algunas limitaciones del estudio. La intervención se llevó a cabo en una clase de 9.º grado de la educación básica, lo que restringe la posibilidad de generalizar los resultados a otros contextos escolares. Además, el tiempo disponible para la aplicación de la secuencia didáctica limitó algunos debates. Otro aspecto a considerar es el hecho de que la investigadora también desempeñara el papel de docente a cargo de la clase, lo que pudo haber influido en la dinámica de las interacciones y en la realización de las actividades. Reconocer estas limitaciones no resta importancia a los hallazgos, sino que refuerza la necesidad de nuevas investigaciones en diferentes contextos y grados escolares, con el fin de ampliar la comprensión sobre las potencialidades didácticas de la HFC.

REFERÊNCIAS

Allchin, D. (2004). *Teaching the nature of science: Perspectives & resources*. SHiPS Education Press.

Azevedo, N. H., & Scarpa, D. L. (2017)**.** Revisão sistemática de trabalhos sobre concepções de Natureza da Ciência no ensino de Ciências. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, *17* (2), 579–619. https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2017172579

Bardin, L. (2004). *Análise de conteúdo*. Edições 70.

Brasil (1997). *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências – Ensino Fundamental*. MEC/SEF.

Brasil (2001). *PCN+: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. MEC/SEMTEC.

Brasil (2018). *Base Nacional Comum Curricular* – Ensino Fundamental. MEC.

Cordeiro, M. D., & Peduzzi, L. O. Q. (2010). As conferências Nobel de Marie e Pierre Curie: A gênese da radioatividade no ensino. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *27*(3), 473–514. https://doi.org/10.5007/2175-7941.2010v27n3p473

Delizoicov, D., Angotti, J. A. P. & Pernambuco, M. M. (2002). *Ensino de Ciências: Fundamentos e métodos*. Cortez.

Drummond, J. M. H. F., Nicácio, J. D. S., Skeete Jr, A. W., da Silva, M. M., Câmara, A. T. A., & Bezerra, F. V. (2015). Narrativas históricas: gravidade, sistemas de mundo e natureza da ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino De Física*, *32*(1), 99–141. https://doi.org/10.5007/2175-7941.2014v32n1p99

Forato, T. C. M., Pietrocola, M., & Martins, R. A. (2011). Historiografia e Natureza da Ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *28*(1), 27-59. https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27

Forato, T. C. M., Martins, R. A., & Pietrocola, M. (2012) Enfrentando obstáculos na transposição didática da história da ciência para a sala de aula. In L. O. Q. Peduzzi, A. F. P. Martins & J. M. H. FERREIRA. (Org.) *Temas de história e filosofia da ciência no ensino* (pp. 123-154). EDUFRN.

Gil-Pérez, D., Montoro, I. F., Alís, J. C., Cachapuz, A., & Praia, J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, *7*(2), 125–153. scielo.br/j/ciedu/a/DyqhTY3fY5wKhzFw6jD6HFJ/?format=pdf&lang=pt

González García, M. I., & Pérez Sedeño, E. (2002). Ciencia, Tecnología y Género. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación, 2*, 1-19. https://core.ac.uk/download/pdf/36021308.pdf

Hidalgo, J. M. (2023). Inserindo a História da Ciência na formação docente: desafios e possibilidades. *Revista Ciências & Ideias*,*14*, e23142173. https://doi.org/10.22407/2176-1477/2023.v14.2173

Leal, K. P. (2023) *A ciência dos discursos publicitários de produtos radioativos do início do século XX: reflexões para o ensino de ciência a partir da história das garotas do rádio*. [Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo]. https://doi.org/10.11606/T.81.2023.tde-15082023-163918

Leal, K. P., & Forato, T. C. M. (2021). As garotas do rádio e sua busca por justiça e dignidade. *Revista Brasileira de História da Ciência*, *14*(2), 252-275. https://doi.org/10.53727/rbhc.v14i2.539

Martins, A. F. P. (2007). História e Filosofia da Ciência no ensino: há muitas pedras nesse caminho... *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *24*(1), 112-131. https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6056

Martins, A. F. P. (2015). Natureza da Ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em “temas” e “questões”. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *32* (3), 703-737. https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n3p703

Martins, R. A. (2006). Introdução: a história das ciências e seus usos na educação. In C. C. Silva (Org.). *Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino* (pp. 22-34). Livraria da Física.

Matthews, M. R. (1995). História, Filosofia e Ensino de Ciências: A tendência atual de reaproximação. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, *12* (3),164-214.

Medeiros, I. S. (2025). *As “Garotas do Rádio”: um episódio da história da Radioatividade no ensino fundamental* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. https://repositorio.ufrn.br/items/789e8218-de40-4b59-a087-66085c982d89

Méheut, M., & Psillos, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, *26*(5), 515–535. https://doi.org/10.1080/09500690310001614762

Oliveira, R. A., Martins, A. F. P., & Silva, A. P. B. (2021). Natureza da ciência por meio de narrativas históricas: Limites e potencialidades. *Experiências em Ensino de Ciências*, *16*(2), 457–478. https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/935

Peduzzi, L. O. Q., & Raicik, A. C. (2020). Sobre a Natureza da Ciência: asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, *25*(2), 19-55. https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19

Prestes, M. E. B., & Caldeira, A. M. A. (2009). Introdução. A importância da história da ciência na educação científica. *Filosofia e História da Biologia*, *4*, 1-16. https://www.abfhib.org/FHB/FHB-04/FHB-v04-0-Maria-Elice-Prestes-Ana-Maria-Caldeira.pdf

Psillos, D., Tselfes, V., & Kariotoglou, P. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching–learning sequences: The case of fluids. International Journal of Science Education, *26*(5), 555–578. https://doi.org/10.1080/09500690310001614771

Rodrigues, G. M. O., Rodrigues Junior, E., & Oliveira, P. J. P. (2020). A história da ciência na educação científica: uma revisão de literatura. *Caderno de Física da UEFS*, *18*(2), 2601.1–23. https://doi.org/10.13102/cad.fs.uefs.v18i02.10546

Schiebinger, L. (2001). *O feminismo mudou a ciência?* EDUSC.

Schirmer, S. B., & Sauerwein, I. P. S. (2015). Recursos didáticos e história e filosofia da ciência em sala de aula: uma análise em periódicos de ensino nacionais. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, *14*(3), 61–77. https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4293

Silva, C. C., & Moura, C. B. (2008). A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, *30* (1), 1602-1612. https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000100016

The Daily Notes. (1928, June 22). Madame Curie tells danger in radium. The Daily Notes. https://www.newspapers.com/article/the-daily-notes-marie-curie-comments-on/48277569/

Vital, A., & Guerra, A. (2016). Textos para ensinar física: princípios historiográficos observados na inserção da história da ciência no ensino. *Ciência & Educação*, *22* (2), 351–370. https://doi.org/10.1590/1516-731320160020006

Vital, A., & Guerra, A. (2017). A implementação da história da ciência no ensino de física: Uma reflexão sobre as implicações do cotidiano escolar. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, *19*, e2780. https://doi.org/10.1590/1983-21172017190127

Xavier, A. M., Lima, A. G., Vigna, C. R. M., Verbi, F. M., Bortoleto; G. G., Goraieb, K., Collins, C. H., & Bueno, M. I. M. S. (2007). Marcos da História da Radioatividade e tendências atuais. *Revista Química Nova*, *30* (1), 83-91. https://www.scielo.br/j/qn/a/c4djyQQXBCLfrZNfFNWB7nC/?format=pdf&lang=pt&utm_source