



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

FACULTAD DE CIENCIAS

FÍSICA

DESARROLLO DE VOCACIONES CIENTÍFICAS EN ESTUDIANTES DE FÍSICA

DEL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

MAESTRO EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

PRESENTA:

OMAR MACEDA RAMÍREZ

TUTOR PRINCIPAL:

DR. FERNANDO FLORES CAMACHO, INSTITUTO DE CIENCIAS APLICADAS Y

TECNOLOGÍA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

DRA. BENILDE GARCÍA CABRERO, FACULTAD DE PSICOLOGÍA

DR. RAÚL ARTURO ESPEJEL MORALES, FACULTAD DE CIENCIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD.MX. ABRIL, 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mi familia

Agradecimientos

Quisiera expresar mi agradecimiento especialmente al Dr. Fernando Flores Camacho, por el apoyo y constante seguimiento a mi trabajo durante la maestría y la elaboración de la tesis.

Al Mtro. Jesús Manuel Cruz Cisneros, quien tuvo siempre la disposición de permitirme implementar mi trabajo con los grupos a su cargo.

A todas y todos los estudiantes que participaron en las actividades que diseñé.

A la Dra. Benilde García Cabrero y al Dr. Raúl Arturo Espejel Morales, quienes como integrantes del Comité Tutor ayudaron con sus observaciones a complementar este trabajo.

Al Dr. Miguel Cervantes Solano, por sus observaciones sobre el texto.

Especialmente agradezco a la Dra. Mirna Villavicencio por su apoyo a lo largo de la Maestría y por aceptar participar como jurado de este trabajo.

A todas y todos las y los profesores, quienes contribuyeron de múltiples formas a entender cuan compleja e intrincada es la labor docente. Particularmente, agradezco a la Dra. Ma. del Pilar Segarra Alberú, por acercarme a una buena parte de las referencias usadas en este trabajo.

Finalmente, al Conacyt y a todas las personas que gestionan el sistema de becas, sin cuyo apoyo material me habría sido imposible completar mis estudios.

Resumen

Se elaboró e implementó una estrategia didáctica con estudiantes de 5^o semestre del Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur (CCH Sur), usando la Indagación Dirigida por la Argumentación (ADI), sobre el tema de Radiación Electromagnética, con el objetivo de fomentar actitudes, intereses y motivaciones (I/M/A) positivas hacia la ciencia. El cambio en las I/M/A fue medido usando un análisis pre-post test de tres secciones de la prueba TOSRA (*Test of Science Related Attitudes*), con traducción propia. Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis cualitativo sobre la reflexión escrita llevada a cabo por los estudiantes, sobre sus aprendizajes y sobre la naturaleza de la construcción del conocimiento científico.

Abstract

A didactic sequence, based on the Argument Driven Inquiry Model (ADI), was designed for its implementation in the Electromagnetic Radiation lesson, in a high school Physics course. The school is located in Mexico City. The effect on the students' Interests, Motivations and Attitudes (I/M/A) towards science was assessed by the application of three sections of the Test of Science Related Attitudes (TOSRA), translated to Spanish by the author. In addition, a qualitative analysis was performed on the students thoughts, expressed in an open questionnaire, about the nature of the construction of scientific knowledge and what they learned through the sequence.

Índice general

1. Justificación	1
Marco Teórico	10
2. Introducción	11
3. Componentes de la vocación científica	15
3.1. Actitudes hacia la ciencia	17
3.2. Motivaciones para estudiar ciencia	20
3.3. Interés hacia la ciencia	23
4. Aprendizaje basado en la indagación	31
4.1. Argumentar y modelar para aprender por indagación	34
Método	42
5. Metodologías para el estudio de las vocaciones científicas	43
5.1. Objetivos	44
5.2. Elección del instrumento	44
5.3. Instrumento	49
5.4. Población Objetivo	49
5.5. Desarrollo de la estrategia	49
5.5.1. Aprender electromagnetismo con indagación	49
5.5.2. Estrategia Piloto	53
5.5.3. Estrategia Implementada	54

5.6. Implementación	56
5.6.1. Secuencia didáctica	56
5.6.2. Narración de la estrategia aplicada	60
Resultados y conclusiones	70
6. Análisis de resultados	71
6.1. Análisis cuantitativo	71
6.2. Análisis cualitativo	78
6.3. Discusión	85
7. Conclusiones	93
Anexos	96
A. Cuestionario de Actitudes, motivación e indagación hacia la ciencia	97
B. Materiales para la estrategia didáctica	101
B.1. Guía de actividades para el alumno	101
B.1.1. Rúbrica para la evaluación por pares	106
C. Sobre la Jaula de Faraday	109
C.1. Caso con un conductor hueco	110
C.2. Caso de una malla metálica	113
Referencias	117

Capítulo 1

Justificación

En una civilización completamente diferente nuestro sistema educativo está tratando de proveer una guía para nuestros jóvenes usando el mismo lenguaje y las mismas ideas de hace cincuenta años

(Turski, 2018, p. 2)

La opinión anterior, realizada en el marco del seminario titulado *Research-based proposals for improving physics teaching and learning—focus on laboratory work* organizado por el Grupo Internacional de Investigación en Enseñanza de la Física (GIREP, por sus siglas en francés), refleja una de las preocupaciones constantes en la educación. En el mundo actual, altamente dependiente de la ciencia y la tecnología, Turski enfatiza en su discurso de apertura la necesidad de que los estudiantes entiendan los elementos de la Física, la Química, la Biología y las Matemáticas, que les permitan analizar y proponer soluciones a los problemas energéticos actuales y formen parte del desarrollo de tecnología del mundo actual. Sin embargo, concluye que un modelo educativo basado en los problemas de libro de texto, descontextualizados, pensados para el siglo XX, no se puede lograr este objetivo.

Esta opinión no está aislada. Alves Vizzotto y Del Pino (2020) señalan que la *aspiración* de que el conocimiento científico adquirido en las aulas le permita a los estudiantes entender la dimensión científica y tecnológica de su mundo, así como desarrollar un pensamiento crítico y la capacidad de tomar decisiones responsables sobre temas sociales y científicos, es lo que se conoce como alfabetización o enculturación científica. Este constructo, denomi-

nado *scientific literacy* en inglés, surge, de acuerdo con Hodson (2011), en la investigación educativa estadounidense a finales de los años 50 del siglo pasado, y aparece, de forma independiente, en los trabajos de Paul Hurd, Richard McCurdy, y en el reporte de la Fundación Rockefeller, los tres en el año de 1958. Asimismo, Hodson indica que el trabajo de Pella de 1966 es el primer esfuerzo por caracterizar la alfabetización científica. En contraste, Hodson señala que en Europa la tradición de fomentar un entendimiento público de la ciencia data de principios del siglo 19, y en el caso del Reino Unido, conformada por actividades de sociedades e institutos, conferencias abiertas al público, demostraciones científicas y diversos libros para el aprendizaje autónomo.

Adicionalmente, Hodson (2008) reconoce que lograr un nivel aceptable de alfabetización científica implica haber desarrollado la alfabetización en el sentido tradicional. Por ello, señala que es necesario que los estudiantes lean y escriban con una cierta fluidez, de forma que entiendan el lenguaje especializado de la ciencia para poder aprenderla, en tanto el análisis, interpretación y evaluación de diferentes tipos de textos es importante en el mundo actual, donde la información científica se obtiene de Internet y se muestra en medios de comunicación masivos, puesto que se expresa a través de textos, gráficas, diagramas, tablas, fórmulas químicas y representaciones matemáticas. Hodson añade que, para poder entender dicha información es necesario que los estudiantes sepan álgebra básica, interpreten información de gráficas y estadísticas y tengan un entendimiento básico de la probabilidad, además de que es importante que sepan convertir datos empíricos de laboratorio y de campo en texto y puedan compartir ideas, pensamientos, creencias y sentimientos en formas inteligibles para distintos tipos de audiencias. De este modo, Hodson considera que para ser un alfabetizado científico pleno, los estudiantes deben ser capaces de distinguir entre ciencia bien hecha, ciencia mal hecha y lo que no es ciencia, haciendo juicios críticos sobre sus creencias y hacer uso del conocimiento para tomar decisiones informadas a nivel personal, de trabajo y comunitario. Para ello, es necesario reconocer que la ciencia es un producto cultural y como tal tiene mensajes implícitos sobre intereses, valores, poder, clase, género, origen étnico y orientación sexual. Opitz et al. (2017) señalan que existe un interés continuo en definir y medir lo que significa la alfabetización científica. Para ello, realizaron una revisión sobre los tests que miden la alfabetización científica, hallando que las conceptualizaciones de los mismos consideran dos

aspectos. Por un lado, los conocimientos sobre ciencia en general o sobre una disciplina específica, y por otro lado, algunas de las ocho habilidades que componen, desde su perspectiva, al razonamiento científico: 1) Identificación de un problema, 2) Elaboración de preguntas, 3) Generación de hipótesis, 4) Construcción y rediseño de artefactos, 5) Generación de evidencia, 6) Evaluación de evidencia, 7) Formulación de conclusiones, 8) Comunicación y escrutinio. En su estudio identifican 38 tests que miden al menos una de las mencionadas habilidades. Entre ellos, el más conocido su alcance mediático y cobertura global, es la prueba PISA (*Programme for International Student Assessment*).

La prueba PISA es un test estandarizado diseñado para evaluar «los conocimientos y habilidades clave para su participación en la vida social y económica» (OECD, 2019, p. 27). El nivel de alfabetización científica se define en una escala de 6 puntos, considerando su capacidad para involucrarse en discusiones sobre ciencia y tecnología, explicar fenómenos de forma científica, evaluar y diseñar indagación científica e interpretar datos científicos. Asimismo, en dicha prueba se analiza por separado su habilidad lectora y su habilidad matemática. Además de PISA, el TOSLS (*Test of Scientific Literacy Skills*), de Gormally et al. (2012), está diseñando para medir, en el área de Biología y Medicina, tanto el entendimiento de los métodos que permiten el desarrollo del conocimiento científico, como el dominio en la recolección, análisis e interpretación de datos cuantitativos.

Un test no considerado en la revisión de Opitz es el SLA (*Scientific Literacy Assessment*), de Fives et al. (2014), en el cual se miden seis componentes de la alfabetización científica: 1) Rol de la ciencia, 2) Pensamiento y quehacer científico, 3) Ciencia y sociedad, 4) Alfabetización de la ciencia en los medios, 5) Matemáticas en la ciencia, 6) Creencias y motivación hacia la ciencia. Asimismo, Martínez Rizo (2022) considera que las encuestas sobre cuestiones fundamentales de la ciencia al público general, realizadas por los gobiernos de diferentes países, son otro ejemplo de medición de cultura científica o alfabetización científica. Como muestra de ello, considera que en México, desde 1997, se aplica la Encuesta sobre la Percepción Pública de la Ciencia y la Tecnología, que incluye, además de preguntas sobre la validez de ciertos hechos científicos (como la rotación de la Tierra en torno al Sol), preguntas sobre concepción de la ciencia, la credibilidad de los científicos, el interés por temas científicos y por estudiar carreras científicas.

En el informe de PISA 2018, OECD (2019), los resultados para México muestran un estancamiento con respecto a la primera aplicación realizada en 2003. Así, se reporta que el 35 % de los estudiantes no tiene un nivel mínimo de competencia en alguna de las tres áreas de la prueba, por arriba del promedio de los países de la OCDE, éste último correspondiente a un 13 %. Márquez Jiménez (2017) señala que, al considerar los resultados de PISA para analizar el nivel de conocimiento de los alumnos, más que denostar al sistema educativo mexicano por la posición que obtuvo el país en la lista, conducta que adoptan los medios de comunicación en cada edición, e inmediatamente copiar políticas educativas de países mejor posicionados, como se ha ocurrido en la década pasada para justificar reformas educativas, es necesario tomar en cuenta tanto contexto como los diversos factores involucrados en el aprendizaje. Asimismo, Martínez Rizo (2022) concluye, en su estudio sobre los diversos cuestionarios de opinión, que lo relevante de las mediciones sobre alfabetización científica, ya sean cuestionarios estandarizados o encuestas de opinión, es que la educación en ciencias, en diferentes partes del mundo, ha fracasado al proporcionar elementos que permitan a las personas tomar decisiones que impliquen hacer uso del conocimiento científico.

Los participantes de PISA son jóvenes de 15 años, por lo cual en México se encuentran dentro de la Educación Media Superior (EMS). Para este nivel educativo, Alvarado Zamorano (2014) encuentra en su diagnóstico sobre la enseñanza de las ciencias en la EMS dos tipos problemas: a) históricos del sistema, como lo son una menor atención presupuestal (en comparación al que se le otorga a los sistemas básico y superior), el abandono escolar y las altas tasas de reprobación; b) políticos y sociales, como son las constantes reformas educativas, entre las cuales se encuentran 1) la obligatoriedad del sistema y la eventual universalización (planeada para 2022, que obligan al subsistema de la EMS a aumentar la cobertura), 2) la presión institucional y social por una mayor profesionalización docente, 3) diversos cambios sociales.

Alvarado Zamorano (2014) señala la deficiente profesionalización docente como responsable de una práctica improvisada. Como resultado, los docentes entienden el conocimiento científico sin elementos suficientes de la historia de la ciencia, de su filosofía y sociología, enfocada en los aspectos metodológicos (procedimientos, operaciones, algoritmos) que forman una visión unidimensional e inmutable del conocimiento científico y donde el trabajo

en laboratorio no es el eje de los procesos de enseñanza-aprendizaje. Ello resulta en una educación en ciencia esencialmente memorística, lo que explica por qué los estudiantes no desarrollan habilidades para adquirir el conocimiento científico. Así, las tareas tradicionales son repetitivas e irrelevantes, y no se incentiva la comprensión lectora, la redacción de textos científicos, la expresión oral, el análisis crítico de la información, la formulación de hipótesis, el desarrollo de estrategias para validar conocimientos y la resolución de problemas que no sean del libro de texto.

Asimismo, Zorrilla Alcalá (2016) señala que la precariedad del sistema EMS reside en una indiferencia sistémica ante los problemas y la calidad educativa. Su análisis histórico y sociológico apunta que la constitución de la EMS en México como una institución responde a una subordinación de lo educativo a los principios del sistema político mexicano, fenómeno que denomina *anomia educativa*. Por ello, señala que la transición a un sistema educativo más igualitario debe residir en el cambio estructural o sistémico, mientras que en lo que concierne a la labor docente, considera necesario la adopción de innovaciones para mejorar el desempeño de los alumnos, particularmente aquellas que favorezcan la alfabetización científica.

Adicionalmente, es necesario apuntar que los diagnósticos anteriores no consideran las implicaciones de la *nueva normalidad* derivada de la pandemia por el virus SARS-CoV2, entendida por este autor como el efecto de las reglas creadas y por crear para mitigar el efecto de una enfermedad que seguirá presente durante mucho tiempo. Martínez Rizo (2022) señala que un síntoma de la deficiente alfabetización científica en el mundo corresponde al surgimiento (o mediatización) de múltiples grupos negacionistas de la pandemia y antivacunas, cuyas posturas fueron adoptadas por diferentes figuras políticas y mediáticas.

Las reflexiones del 1^{er} Encuentro interinstitucional de fortalecimiento e innovación educativa del bachillerato de la Ciudad de México 2021, recogidas por Jurado Cuéllar et al. (2021), sobre el futuro de la labor docente de la EMS en la Ciudad de México, expresan lo siguiente:

Se considera de importancia replantear la labor docente; propiciar cambios en la enseñanza tradicional; considerar a los alumnos productores y constructores del conocimiento; repensar los espacios áulicos como ambientes incluyentes que vinculen la escuela, la sociedad y a los estudiantes; construir nuevos paradigmas de interacción social-personal con tecnologías y en contextos cara a cara; promover las habilidades socio-emocionales, considerar el papel de la empatía en el contexto de la contingencia y efectuar una profunda reflexión de la actitud del docente en sus grupos junto con la necesidad de su acercamiento e identificación con los estudiantes.

Jurado Cuéllar et al. (2021), p.6

La propuesta de esta reflexión puede interpretarse como la reconciliación del docente con su práctica, con sus pares, con sus alumnos y con la sociedad en general (y por extensión, con la humanidad en su conjunto), a través de una práctica docente abierta al cambio.

Mendoza Ibañez y Posadas Velázquez (2021) describen que el modelo del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) fue concebido, desde su origen, como innovador, interdisciplinario y centrado en el alumno, por ello, permanece actual y se ha mantenido vigente en las transformaciones de la institución (ocurridas en 1996, 2003 y 2016), en tanto en la última revisión que se ha hecho del mismo se concluyó que es un modelo compatible con la alfabetización científica. Dicho modelo educativo, cuyos postulados son *aprender a aprender*, *aprender a hacer*, *aprender a ser* y *aprender a convivir*, fue revisado en 2011 por áreas de conocimiento, como parte del Diagnóstico Institucional para la Revisión Curricular, cuya versión para las ciencias experimentales corresponde al documento elaborado por Sosa Reyes et al. (2012). Este documento coincide con las observaciones de Alvarado Zamorano (2014) para la EMS en general, como son la persistencia de la educación tradicional, carencias en los laboratorios y bajo desempeño académico, además de concluir que el modelo y los postulados del CCH son consistentes con los objetivos de diferentes modelos de alfabetización científica, particularmente el de PISA. En ese sentido, el modelo del CCH permite, en principio, que el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales ocurra en un espacio de oportunidad para la educación no tradicional, aún con las carencias materiales que comparte con las otras instituciones de la

EMS.

A partir de las consideraciones presentadas anteriormente, se tiene que perseguir la alfabetización científica en la EMS es un objetivo deseable por su relevancia en la formación de los estudiantes, y viable por la existencia de instituciones como el CCH, donde históricamente se ha fomentado una educación no tradicional. Tytler (2014) señala que, al considerar el objetivo de lograr la alfabetización científica se plantea un conflicto aparente entre desarrollar una educación que enfatiza el volver atractiva la ciencia para estudiantes que no necesariamente están interesados en temas científicos, en contraste con una educación que se enfoque en los fundamentos de las disciplinas científicas, pensando en aquellos estudiantes que desean estudiar ciencia o les atraen los temas científicos. En el primer caso, el objetivo es que los estudiantes puedan participar en actividades que los atraigan hacia la ciencia y además les ofrezcan una perspectiva sobre cómo funciona la ciencia, mientras que en el segundo caso se busca garantizar el éxito académico o la formación de futuros científicos.

Hodson (2008) clasifica a los discursos que acompañan a esta división como un conflicto entre la educación de *alto rango* para los futuros científicos y de *bajo rango* para los demás estudiantes y considera que es lastre de la educación tradicional. Señala que, para superar este problema, es necesario desarrollar en los alumnos una alfabetización científica que sea crítica, lo que se traduce en un enfoque de educación científica riguroso, analítico, escéptico, de mente abierta y reflexivo, con una enseñanza más politizada y basada en la solución de problemáticas sociales, donde esta última se convierte en una meta central que busca equipar a los estudiantes con la capacidad y el compromiso de tomar acciones apropiadas, responsables y efectivas en asuntos de importancia social, económica, ambiental y moral-ética. De este modo, la educación científica tendría por objetivo que «todos los estudiantes, sin importar su género, origen étnico, religión, orientación sexual, ubicación geográfica y nivel de conocimiento, logren adquirir un cierto nivel de alfabetización científica crítica» (Hodson, 2008 pp. 1-2).

Asimismo Hodson (2011) añade que es necesario que tanto docentes como alumnos analicen las emociones, valores y aspiraciones que subyacen nuestras acciones políticas, particularmente las relacionadas con respecto al cambio climático y a la justicia social, por lo cual, dada su relevancia en el mundo actual, dicho análisis debe tener lugar dentro de las aulas y

debe ser responsabilidad de la educación en ciencias fomentar su desarrollo.

Trumper (2006) señala que los intereses, las preferencias, motivaciones y actitudes corresponden a constructos del dominio afectivo, en contraste con los constructos del dominio cognitivo, relacionados con los aprendizajes. En su estudio, en el cual analiza los factores que afectan el interés de los estudiantes de bachillerato en la Física, señala que una de sus conclusiones más relevantes es que al concentrarse en desarrollar en el aula respuestas afectivas favorables, los estudiantes pueden hallar satisfacción personal en *hacer ciencia*, de modo que deseen continuar haciéndolo, ya sea para poder ingresar a una carrera científica o para disfrutar de las clases de ciencia. Tytler (2014) señala al trabajo de Ainley de 2011 y al concepto de *juego serio* de John Dewey como parte de una perspectiva que considera que la condición esencial para el aprendizaje es que en las actividades educativas se desencadene la atención y el disfrute, por lo cual lo afectivo y lo cognitivo representan «lados opuestos de una misma moneda» (Tytler, 2014 87 p).

Duckworth y Seligman (2017) señalan que el éxito académico de los estudiantes está asociado fuertemente con aspectos emocionales, tales como el autocontrol y la perseverancia o compromiso con las metas (en inglés, *grit*). Dichas características, así como habilidades asociadas, se engloban en lo que se han denominado como habilidades no cognitivas, características de la personalidad o temperamento, competencias sociales y emocionales, funciones ejecutivas, y fortalezas de carácter. Por ello, consideran que es importante diversificar las actividades educativas hacia el desarrollo de estas habilidades, de manera que los estudiantes puedan lograr el éxito académico y personal.

De este modo, una característica adicional sobre la mejora de la educación en ciencia es el reconocimiento del papel de las respuestas emocionales de los estudiantes, particularmente, que los docentes identifiquen, como un primer desafío para lograr la alfabetización científica, que las clases tengan una respuesta afectiva favorable, ya sea para que los alumnos se interesen en aprender ciencia para poder desenvolverse como ciudadanos o como científicos. Por ello, este trabajo busca poner a prueba la propuesta de que es posible lograr ambos objetivos educativos al fomentar un aprecio por el conocimiento científico y su elaboración, por medio del involucramiento de los estudiantes en actividades donde son los estudiantes quienes elaboran el conocimiento científico. Así, el enfoque será sobre el aspecto afectivo de los

estudiantes, de manera que, si bien se reportan diferentes aspectos sobre el entendimiento de los alumnos sobre la ciencia involucrada en la estrategia, lo que se busca es observar el cambio que produce en las intenciones de los estudiantes para estudiar una carrera científica, al considerar los elementos que les permiten disfrutaran las clases de ciencias experimentales (en particular la Física) y la manera en que perciben y adoptan diferentes aspectos de la ciencia, ello, al participar en una propuesta de aula distinta, no tradicional, diseñada para ser cercana a su contexto, donde existen espacios para discutir y elaborar ideas científicas. Así, se espera que los estudiantes, al permitirles desarrollar elementos afectivos y cognitivos distintos a los ofrecidos por la educación tradicional, puedan posteriormente tomar una decisión informada y afectivo/racional sobre su futuro académico, lo que en adelante se denomina vocación científica.

Marco Teórico

Capítulo 2

Introducción

Anteriormente, se señaló que a los estudiantes que eligen o están interesados en estudiar una carrera científica se les considera como estudiantes con una vocación científica. En las últimas décadas, la caída en el número de estudiantes que ingresan a carreras científicas en Europa y en otras partes del mundo ha llevado a diferentes organizaciones mundiales a hacer un llamado generalizado para fomentar las vocaciones científicas. Estos llamados, similares a los que abogan por la alfabetización científica, no estarían exentos de simplificar el problema de la elección de carrera. Sobre el término vocación, Emmanuele y Cappelletti (2001) señalan que existen abusos sobre su uso. Originado en la tradición católica, la vocación era la inclinación hacia ciertas ocupaciones, como la medicina, la abogacía y la enseñanza (particularmente, la enseñanza de la religión), la cual era otorgada como un regalo divino a las personas. El paso hacia una sociedad industrial llevó a su caracterización como una institución o imaginario, es decir, como algo certero o tangible y como un anhelo de incorporarse a la sociedad laboral.

Asimismo, la elección de carrera es una decisión a la que se enfrentan los estudiantes en diferentes momentos de su vida, en las cuales la educación tiene un papel muy importante. Estas preferencias y decisiones tomadas en torno a la elección de carrera o de empleo han sido estudiadas por la psicología vocacional, por lo cual se puede hablar de intereses vocacionales, problemas y barreras al elegir una carrera (Fouad, 2007), así como de problemas vocacionales o de lo vocacional como un campo de intervención en salud pública y educación (Rascovan, 2005). En su revisión sobre el estado de la investigación en psicología

vocacional, Fouad (2007) resume en siete puntos las influencias halladas sobre la elección de carrera: 1) la satisfacción personal con el trabajo que un individuo ha elegido no sólo depende de su personalidad de trabajo y del ambiente de trabajo; 2) las aspiraciones que se muestran o tienen en la niñez no predicen la elección de carrera, pero pueden ayudar al individuo a mediar con los efectos de ambientes con bajo estatus socioeconómico, instrucción deficiente, pocas oportunidades educativas, entre otros ambientes adversos; 3) la exploración de diferentes opciones de carreras por parte del individuo se promueve: a) mejorando su adaptabilidad a múltiples carreras, b) si cuenta con relaciones humanas positivas, c) si tiene apertura a experiencias distintas, d) si posee un capital social y psicológico alto; 4) el individuo posee una autoeficacia alta sobre actividades relacionadas con la elección de carrera; 5) las oportunidades y dificultades reales y percibidas de los individuos acorde a lo que se espera de su género, clase social y orientación sexual; 6) indecisión y ansiedad a la hora de tomar decisiones; 7) la orientación y la intervención vocacional basada en tareas, en interpretación de las evaluaciones educativas, en información sobre el mundo laboral, apoyo social y la convivencia con modelos a seguir ayuda al individuo a tomar mejores decisiones. Desde una perspectiva teórica, Rascovan (2005) considera de vital importancia resaltar que la sociedad actual vive un «derrumbe de la sociedad salarial» esto es, para los individuos pensar cómo vivir en el futuro o qué estudiar ya no implica pensar únicamente en dedicarse de por vida a un sólo trabajo, en un sólo lugar. En ese sentido, en su propuesta de orientación vocacional crítica, considera que la orientación vocacional debe proporcionarse en la escuela para promover una identidad vocacional, lo que implica dotar al sujeto de elementos que lo ayuden a crear su propio camino, un *itinerario vocacional*, para lo cual es necesario generar espacios donde no tenga que identificarse con un papel, función o utilidad social.

La escuela en su conjunto (institución y comunidad) forma parte de todo el proceso, de manera *diacrónica*, es decir, durante los procesos de enseñanza-aprendizaje y *sincrónica*, durante los momentos en que los estudiantes toman decisiones. De este modo, la escuela debe cumplir tres funciones: 1) escolar, como tarea colectiva de docentes, estudiantes, padres y profesionales; 2) curricular, que promueva aprendizajes significativos para la incorporación al trabajo y desarrollo de pensamiento crítico; 3) participativa, que favorezca la implicación en el proceso por parte de los estudiantes.

A pesar de que el panorama general es que la carrera profesional ya no es el camino más buscado o ideal, Rascovan (2005) reconoce que este sigue existiendo para algunas profesiones, como el área jurídica y los académicos. Hodson (2011) señala que, en contraste con la visión tradicional de científico, el cual trabaja en centros de investigación, ubicados en universidades u otras dependencias de gobierno, en el siglo XXI los científicos usualmente se encuentran colaborando en grandes grupos de investigación, con personas de diferentes áreas de conocimiento, a veces afiliadas a distintas instituciones públicas y privadas, y desempeñando ya sea labores de investigación, administración y emprendimiento. Considerando ambas opiniones, se tiene que una parte de quienes se desarrollarán como científicos lo harán como académicos, por lo que habrá que fortalecer sus decisiones en torno a los aspectos académicos. Otros, en cambio, pasarán a formar parte de la investigación en sectores privados, no necesariamente académicos, como las industrias o el emprendimiento. En ambos casos, el trabajo científico requiere llevar a cabo un amplio rango de actividades donde exista un dominio de múltiples áreas del conocimiento científico y del trabajo multi e interdisciplinario, lo que parece indicar que es una necesidad fomentar una educación que oriente al estudiante en su camino vocacional científico.

Por otro lado, Vázquez Alonso y Manassero Mas (2009) indica que involucrarse en el trabajo científico implica reconocer el papel de la ciencia en el desarrollo de la sociedad actual y el de los científicos en la toma de decisiones de carácter público, la generación y comunicación del conocimiento científico para diferentes públicos, además de las oportunidades laborales para desenvolverse en una carrera científica. Asimismo, dichos autores señalan que la investigación educativa ha encontrado que los estudiantes que escogen una carrera científica presentan actitudes favorables hacia la ciencia escolar y la ciencia en general y disfrutan para aprender sobre temas de ciencia dentro y fuera del aula.

De manera más amplia, la revisión de Potvin y Hasni (2014a) señala que el interés, la motivación y las actitudes (en adelante, I/M/A) de los estudiantes hacia las ciencias y hacia la tecnología, son constructos relevantes en la investigación sobre enseñanza de las ciencias y particularmente, cuando son positivos (a favor), son predictores de la vocación científica. Así, encuentran que la elección de una carrera científica está influida principalmente por el nivel inicial de alfabetización científica, las intervenciones escolares, el género, la cultura,

la familia, la autoestima, los logros, los pasatiempos y las experiencias previas, así como las percepciones (positivas o negativas) que se tengan sobre la ciencia y la tecnología. En el espectro latinoamericano, el estudio por edades con estudiantes universitarios e investigadores argentinos de Stekolschik et al. (2007) encuentra factores dentro y fuera de la escuela, como son la familia, una exposición amplia a la *comunicación pública de la ciencia* (es decir, la lectura de libros y artículos periodísticos, productos audiovisuales, entre otros), el tipo de enseñanza y los modelos a seguir con influencia mediática.

Siguiendo estas conclusiones, en el siguiente capítulo se presentan diferentes enfoques para estudiar las I/M/A, detallando su relación con prácticas educativas que fomentan I/M/A positivas hacia la ciencia. De este modo, lo que se busca es presentar una estrategia didáctica diseñada para desarrollar I/M/A positivas, tal que pueda aplicarse como parte del proceso educativo.

Capítulo 3

Componentes de la vocación científica

En el capítulo anterior se reconoció que los I/M/A de los estudiantes hacia la ciencia influyen en su decisión de seguir una carrera científica. Sin embargo, dicha decisión forma parte de un proceso largo en el que el o la estudiante está expuesto a diferentes formas de instrucción y situaciones que pueden favorecer I/M/A positivas o negativas. Potvin y Hasni (2014a) señalan que las I/M/A positivas se han relacionado con diferentes variables. Una de las más investigadas corresponde a las diferencias por sexo, cuyos resultados no son concluyentes sobre si los chicos tienen I/M/A más positivas en general. Sin embargo, ciertos temas o asignaturas (Física, por ejemplo), tienen mayor valoración positiva por parte de los chicos. Otras variables incluyen las diferencias por nivel de desarrollo del país, las cuales indican que los países desarrollados presentan I/M/A menos positivas que aquellos en vías de desarrollo, sin embargo, en su revisión no hay artículos recolectados de América Latina. Otras diferencias incluyen factores sociales: estudiantes con padres con actitudes positivas hacia la ciencia tienen actitudes positivas, pero su motivación para estudiar ciencia no es alta; el origen étnico de los estudiantes, por ejemplo, en Estados Unidos, los estudiantes blancos presentan I/M/A más positivas en contraste con otros grupos étnicos; y el nivel socioeconómico, con evidencia contradictoria.

Uno de los fenómenos más documentados en la investigación sobre el aspecto emocional de la educación es la caída de las I/M/A hacia las ciencias conforme aumentan los años de escolaridad. En su trabajo sobre este fenómeno Potvin y Hasni (2014b) hallaron diferentes estudios que encuentran la caída de alguna o varias de las I/M/A a partir de la secundaria, e

incluso desde la primaria, en diferentes países europeos y asiáticos. También citan revisiones que hallan estudios donde se registra dicho fenómeno desde 1976. En dichas revisiones no se encuentran datos sobre México, sin embargo, como parte de una revisión adicional para este trabajo de tesis se hallaron algunos estudios que indican que los estudiantes tienen actitudes hacia la ciencia que van de indiferentes a favorables y que están motivados en sus clases de ciencia. Dichos estudios se discutirán con más detalle posteriormente.

Asimismo, Potvin y Hasni (2014b) listan otras observaciones: 1) las diferencias por género son pequeñas y dependen del contexto y la disciplina, por ejemplo se observan por grupo de edad, por ejemplo, es mayor para los hombres en edades tempranas y mayor para las mujeres durante la adolescencia; 2) la percepción de que la ciencia es difícil afecta el entusiasmo de estudiarla, particularmente cuando el enfoque de la instrucción es el rendimiento de los estudiantes; 3) el declive ocurre de forma más pronunciada en la transición de la primaria a la secundaria; 4) si bien existe un consenso sobre la caída de las I/M/A, se espera que la forma específica en que ocurre o no ocurre depende de cada grupo; 5) existen subconstructos que no decaen, como la atracción hacia el contenido (la ciencia es interesante o divertida), la importancia de la ciencia para la humanidad o las actitudes positivas hacia la actividad científica.

Para explicar este fenómeno, Potvin y Hasni (2014b) sugieren adoptar diferentes explicaciones, las cuales consideran lo que ocurre dentro y fuera de la escuela. En el primer caso, se señala que la instrucción en ciencia se percibe por los estudiantes como poco práctica e irrelevante, además de señalar que el tipo de enseñanza que reciben puede influir el autoconcepto de los estudiantes sobre su desempeño en ciencia, en las actitudes de los pares, el apoyo y motivación que proporciona el docente y la participación de los estudiantes en actividades científicas. Entre las causas que se encuentran fuera de la escuela, los autores señalan que gradualmente la educación se enfoca en exigir a los estudiantes resultados en pruebas que deciden su futuro, por lo que su motivación para estudiar ciencia está orientada a cumplir dicho objetivo. Por otro lado, se considera que el desarrollo de los jóvenes favorece en ellos dos percepciones, una, en la que consideran a la escuela como un lugar donde sólo pueden llevar a cabo habilidades académicas, y otra en la que aquello que no es compatible con su desarrollo de la identidad deja de ser interesante. Estas últimas hipótesis buscan explicar la

brecha que se observa con el paso de la primaria a la secundaria.

El panorama anterior sugiere que es posible y necesario determinar cuáles son las prácticas o innovaciones educativas que aumentan las I/M/A, en qué consisten, cuáles han mostrado mejores resultados para el nivel medio superior, adicionalmente, cómo se relacionan con los criterios que definen a las I/M/A, y cómo puede entenderse que la instrucción innovadora mejora las I/M/A. Por ello, a continuación se describen tres de los predictores usados para conocer si un estudiante elegirá una carrera científica: las actitudes hacia la ciencia, las motivaciones para estudiar ciencias y la forma en que se desarrolla el interés en estudiar una carrera científica.

3.1. Actitudes hacia la ciencia

Potvin y Hasni (2014a) señalan que las actitudes hacia la ciencia son el principal constructo que ha sido investigado en relación con la enseñanza de las ciencias. Sin embargo, existen muchos problemas respecto a la poca claridad con que se usan los constructos (no sólo actitudes) así como la relación que tienen con el aprendizaje y entre ellos. De este modo, Tytler (2014) lista tres temas clave en la investigación sobre actitudes hacia la ciencia: 1) la relación de las actitudes con la calidad del aprendizaje, ya sea como un requisito previo para aprender o como un aspecto fundamental del aprendizaje; 2) la relación entre actitudes y el involucramiento de los estudiantes con la ciencia; 3) la distinción entre actitudes hacia la ciencia y actitudes científicas.

Los tres temas surgen por diferentes observaciones y preocupaciones. En el caso del primer tema, la preocupación surge al preguntarse en qué momento de la instrucción debe priorizarse el trabajo con las actitudes de los estudiantes. La evidencia apunta que el aprendizaje conceptual se ve afectado por rasgos personales como la motivación, aspectos epistemológicos y estéticos. Asimismo, que las actitudes de los estudiantes y la naturaleza de los procesos de aprendizaje de la ciencia escolar pueden vincularse con la personalidad de los alumnos. Adicionalmente, menciona que diversos estudios consideran dos funciones de las actitudes de los estudiantes: 1) que son precursores necesarios para participar en las secuencias de aprendizaje, 2) son resultado de participar en secuencias de aprendizaje.

El segundo tema está vinculado, fundamentalmente, con el declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes. Asimismo, la relación entre sus actitudes y la forma en que se interesan en las clases se manifiesta de dos formas: como el involucramiento de los estudiantes, como participantes activos, en las actividades de las clases de ciencias y/o a través de una serie de compromisos de largo plazo; 2) como la participación en actividades de ciencia fuera de clases. En el primer caso, esto podría resultar, en el largo plazo, en la creación de un público más cercano a la ciencia.

El tercer punto apunta a la poca claridad con que se suelen medir las actitudes y la relación que tienen con otros constructos como la motivación o el interés. Tytler (2014) señala que la distinción fue establecida por Leopold Klopfer en 1971, quien considera a las actitudes científicas como el conjunto de actitudes que caracterizan la naturaleza del trabajo científico, por ejemplo: 1) tener un compromiso con la evidencia como base de la creencia en los argumentos racionales; 2) tener un escepticismo hacia las hipótesis y afirmaciones sobre el mundo material; 3) tener curiosidad acerca de aspectos del mundo natural. Por ello, Osborne et al. (2003) consideran que las actitudes científicas son cognitivas por naturaleza y por ello contrastan con las actitudes hacia la ciencia, que son afectivas, en tanto corresponden a sentimientos, creencias y valores que se tienen por algún objeto como el esfuerzo científico, la ciencia escolar, el impacto de la ciencia en la sociedad o hacia los científicos.

Adicional a la separación entre actitudes científicas y actitudes hacia la ciencia, Tytler (2014) lista otros constructos relacionados con la investigación educativa en actitudes: 1) exhibir actitudes favorables hacia la ciencia y hacia los científicos, lo que puede incluir interés en lo que los científicos hacen, percepciones sobre los científicos y su trabajo, valorar el proyecto científico y los enfoques científicos basados en evidencia; 2) exhibir actitudes favorables hacia la ciencia escolar, manifestado como disfrutar hacer actividades científicas o en comparación con otras asignaturas; 3) valorar los enfoques basados en evidencia característicos de la ciencia y adoptar actitudes científicas, como son objetividad, compromiso con los argumentos racionales, persistencia y curiosidad; 4) disfrutar las experiencias del aprendizaje de las ciencias, que incluyen el concepto de la ciencia es divertida o la apreciación en explorar los objetos de la ciencia; 5) el desarrollo de intereses en la ciencia o comprometerse a seguir una carrera científica o en conseguir un trabajo relacionado con la ciencia; 6) un sentido de

autoeficacia en relación a la ciencia, en contraste con la ansiedad hacia el estudio de la ciencia; 7) motivación para hacer ciencia y aprender ciencia.

En su estudio con estudiantes españoles interesados en estudiar una carrera científica, Vázquez Alonso y Manassero Mas (2009) hallaron actitudes, dentro y fuera de la escuela, que pueden considerarse como predictores de la vocación científica. En el primer caso, algunas de estas actitudes son: 1) Trabajar con máquinas o herramientas; 2) Hacer, diseñar o inventar algo; 3) Usar equipo de laboratorio (química, óptica o electricidad); 4) Las creencias sobre la ciencia escolar para mejorar las oportunidades de carrera; 5) Gustar más que la mayoría de las otras asignaturas; 6) Abrir perspectivas a nuevos y excitantes trabajos. Entre las actividades fuera del aula, se encuentran: 1) Abrir un aparato; 2) Buscar constelaciones; 3) Visitar un museo; 4) Hacer productos lácteos; 5) Leer libros o revistas; 6) Separar basuras; 7) Medir la temperatura con un termómetro; 8) Jugar, crear y revisar un documento en computadora. Uno de los resultados más importantes de este estudio es que a los estudiantes que aprecian la ciencia escolar tienen una vocación científica mayor, por lo cual sugieren que la educación se enfoque en hacer atractivas las clases de ciencia, siendo parte de ello la posibilidad de mostrar las oportunidades de trabajo que involucran hacer o estudiar ciencias. Asimismo, los autores señalan que la importancia de los predictores que podrían parecer anecdóticos (como *trabajar con máquinas* o *usar un termómetro*) son relevantes en relación con lo cotidiano y con la forma en que los estudiantes perciben la ciencia en espacios que no son estrictamente escolares.

De las investigaciones anteriores, se destaca que es una necesidad del docente reconocer que los estudiantes poseen un abanico de actitudes sobre lo que significa la ciencia, su valor en la sociedad y la forma en que la ciencia en la escuela es o no relevante en su vida actual y futura. Dichas actitudes entran en juego durante la instrucción, incidiendo sobre la forma en que el material escolar pueda o no conectar con sus experiencias al estudiar ciencia o con sus expectativas. Al ser un constructo tan amplio, las actitudes hacia la ciencia y las actitudes científicas de los estudiantes suelen englobar otros constructos como interés y motivación, los cuales también han mostrado ser relevantes por sí mismos, por lo que serán descritos en las siguientes secciones.

3.2. Motivaciones para estudiar ciencia

Glynn et al. (2007) definen la motivación como «el estado interno que despierta, dirige y mantiene el comportamiento de los estudiantes para lograr ciertas metas». Afirman que la investigación sobre la motivación para aprender ciencias busca responder el por qué lo estudiantes se esfuerzan, con qué intensidad lo hacen y durante cuánto tiempo lo hacen, así como los sentimientos y emociones que los caracterizan durante este proceso, lo anterior, dentro del marco socio cognitivo de la motivación, desarrollada principalmente por Albert Bandura a lo largo de la segunda mitad del siglo XX.

En dicho marco teórico, se supone que los estudiantes tienen un sistema de autorregulación, el cual afecta sus creencias y participa en el desarrollo de la motivación, lo que modifica el comportamiento de forma cognitiva y afectiva. La autorregulación se enmarca dentro de una concepción más general sobre el comportamiento, que de acuerdo con Woolfolk (2014) y con Schunk y DiBenedetto (2020) es un sistema dinámico llamado causalidad triárquica recíproca o de interacciones recíprocas (*triadic reciprocity* en inglés), según el cual, los factores personales, el entorno físico y social y la conducta se influyen entre sí. A estos elementos del sistema de interacciones se les denomina con diferentes nombres: variables, procesos o factores. En el caso de las variables personales se cuentan las creencias, las expectativas, las actitudes y los conocimientos; en el caso de las variables ambientales, también conocidas como procesos ambientales o influencias sociales se cuentan los recursos, las consecuencias de los actos, la relación con otras personas, los modelos a seguir, profesores y los diferentes entornos físicos; en el caso de los resultados del rendimiento, conductas o procesos conductuales, se consideran los actos individuales, las decisiones y las declaraciones verbales.

Para explicar la motivación de los estudiantes hacia un área académica específica (como puede ser la ciencia) y el éxito académico Glynn et al. (2007) señalan que la investigación ha resaltado la importancia de seis constructos que se encuentran dentro del sistema autorregulatorio: la motivación intrínseca y extrínseca, la motivación orientada hacia las metas, la autodeterminación, la autoeficacia y la ansiedad por la evaluación. De este modo, cuando se tiene motivación para hacer algo por que se disfruta hacerlo, por el gusto de hacerlo, sin recompensas o incentivos, se denomina motivación intrínseca. En cambio, cuando se está

motivado para hacer algo porque existe una finalidad, la cual no está relacionada con la actividad, se denomina motivación extrínseca. Sobre esta división, Woolfolk (2014) menciona que es imposible saber sólo a partir de la observación si una conducta está motivada de forma intrínseca o extrínseca. En este sentido, la diferencia entre ambos tipos radica en la razón que tiene el individuo para actuar, particularmente, si el *locus de causalidad* de la acción es interno o externo, es decir, si lo que detona la motivación está dentro o fuera del individuo. Por ello, señala que la motivación intrínseca y extrínseca se pueden entender como extremos de un continuo. Ahora bien, cuando un individuo adopta libremente causas externas para actuar, pensando que de ello obtendrá un beneficio, su motivación se encuentra en un punto medio, y entonces se dice que el individuo ha interiorizado una causa externa. Es decir, esto implica que es posible pasar de estar motivado de forma extrínseca a estar motivado de forma intrínseca. En particular, este proceso puede ocurrir en la enseñanza cuando se aplican estrategias educativas que fomentan las capacidades en desarrollo y que conectan con los intereses de los estudiantes.

Respecto a la motivación orientada por las metas, Glynn et al. (2009) señalan que corresponde a la relevancia personal que otorgan los estudiantes al aprendizaje (particularmente al de las ciencias) con respecto a sus metas personales. De esta forma, se clasifica a los estudiantes de acuerdo al tipo de metas: de aprendizaje y de desempeño. Así, los estudiantes con metas de aprendizaje tienden a estar intrínsecamente motivados, ya que buscan el entendimiento de los contenidos y poseen una mayor cantidad de habilidades y conocimientos científicos, mientras que los estudiantes con metas de desempeño tienden a estar extrínsecamente motivados, buscando obtener mejores calificaciones e impresionar a sus profesores.

Dos de los factores que influyen directamente en la motivación son la orientación por metas y la autodeterminación. Glynn et al. (2009) señalan que la autodeterminación se entiende como la percepción de los estudiantes sobre el control que creen tener sobre su aprendizaje. Al fomentarla, por ejemplo, al permitir que los estudiantes elijan temas de laboratorio, su motivación aumenta. Asimismo, señala que se ha observado que la ansiedad por la evaluación, es decir, las preocupaciones de los estudiantes generadas por los mecanismos de evaluación educativa, disminuye la motivación y el logro académico.

De los constructos listados anteriormente, el último corresponde a la autoeficacia, el cual es

un concepto clave de la teoría social cognitiva. Para Bandura (1999) es un sistema de creencias en las acciones de uno mismo para poder producir los efectos que uno desea de ellas. Schunk y DiBenedetto (2020) señalan que la autoeficacia puede entenderse como un proceso cognitivo de valoración de la eficacia propia y el cual se desarrolla al hacer uso de diferentes fuentes de información, las cuales son: 1) los logros, correspondientes al reconocimiento del individuo y de otros hacia sus propios méritos; 2) las experiencias vicarias, o también llamado aprendizaje observacional, son las situaciones donde el individuo aprende sin realizar la actividad, por lo cual presta atención a un modelo, retiene lo que hace, y posteriormente es capaz de producir el comportamiento del modelo, lo que da como resultado que el individuo está motivado para hacer la actividad; 3) ciertas formas de persuasión social; 4) índices fisiológicos y emocionales, como la ansiedad. De este modo, conforme los estudiantes, de manera progresiva, llevan a cabo una tarea reciben retroalimentación por parte de ellos mismos y de otros, lo que permite desarrollar la creencia de que se están realizando avances significativos, aumentando la autoeficacia y la motivación.

Schunk y DiBenedetto (2020) agregan que históricamente los logros, también conocidos como experiencias reales de desempeño (*mastery experiences* en inglés) ¹ o experiencias enactivas, han sido reconocidos como la principal fuente de autoeficacia. Sin embargo, la influencia que pueden tener los otros factores entre sí y su efecto total sobre la autoeficacia no han sido completamente comprendidos. Un paso en esta dirección es el trabajo de Capa-Aydin et al. (2018) sobre la autoeficacia de las habilidades cognitivas para la química de alumnos de bachillerato turcos. En su trabajo encontraron, usando modelado multinivel y modelos de ecuaciones estructurales, que las interpretaciones de las experiencias de desempeño de los alumnos están potencialmente influidas por su estado fisiológico y por la persuasión social. Asimismo, en dicho modelo se observa que las experiencias de desempeño, junto a las experiencias vicarias, tienen el mayor potencial de elevar la autoeficacia, particularmente, las experiencias vicarias parecen tener un efecto directo. Señalan que un aspecto importante que pudo influir sobre la autoeficacia de los alumnos es que la mayoría contaban con buenas calificaciones en química, por lo cual se evaluaron de forma positiva. Con estos resultados, algunas de las sugerencias que realizan Capa-Aydin et al. (2018) para

¹se emplea en adelante la traducción del término original usada por Murrieta Loyo (2019)

favorecer la autoeficacia de los alumnos en las aulas son: 1) crear oportunidades para que los alumnos experimenten éxito, puedan ser apoyados a realizar sus actividades por el docente y sus compañeros y un entrenamiento sobre regulación de emociones; 2) estimular el uso de habilidades cognitivas de alto nivel (pensamiento crítico, resolución de problemas, toma de decisiones) usando actividades de indagación; 3) retroalimentación que enfatice la calidad del trabajo académico en forma positiva, como lo es añadir información específica sobre mejoras; 4) usar el trabajo colaborativo como una oportunidad para que los estudiantes observen a sus colegas como modelos de aptitudes académicas; 5) incluir espacios de metacognición para que los estudiantes conozcan sus debilidades y fortalezas, de manera que puedan desarrollar y entender su autoeficacia.

3.3. Interés hacia la ciencia

Tytler (2014) señala que la investigación en psicología educativa ha clasificado al interés tanto como un constructo actitudinal como una variable motivacional. Por otro lado, Su (2020) señala en su revisión que existen al menos *tres caras y dos brechas* en la investigación sobre los intereses. Por un lado, la psicología vocacional otorga a los intereses un valor predictivo, mientras que la psicología organizacional no lo hace. Ambas comparten la noción de que los intereses son características del individuo, o predisposiciones, que les permiten involucrarse con ciertas actividades o lugares. En contraste, la psicología educativa considera que los intereses son un estado psicológico, que corresponden a sentimientos de curiosidad, fascinación y disfrute que se desencadenan cuando se interactúa con un objeto o se realiza una actividad.

Siguiendo los desarrollos de la psicología educativa, se encuentra que uno de los trabajos más prominentes y que ha sido aplicado para analizar las características y desarrollo del interés es el Modelo de Cuatro Fases del Desarrollo del Interés (Four-Phase Model of Interest Development) de Hidi y Renninger (2006). Dichas autoras destacan que el interés tiene una fuerte influencia en el aprendizaje, en tanto afecta la atención, las metas y los niveles de atención. Así, Hidi y Renninger (2006) definen el interés como «el estado psicológico de involucramiento o la predisposición para volverse a involucrar con una clase particular de

objetos, eventos o ideas a lo largo del tiempo», donde los objetos, eventos e ideas se denominan contenido. Añaden que la investigación educativa ha dividido tradicionalmente al interés en dos tipos: situacional e individual. El interés situacional se refiere a la atención enfocada y a la reacción afectiva que se desencadena en el momento en el que ocurre un estímulo, estado que puede mantenerse con el tiempo. En cambio, el interés individual se refiere a la predisposición de un individuo para involucrarse constantemente con un contenido, así como el estado psicológico que ocurre cuando esta predisposición es activada. Adicionalmente puntualizan que el interés difiere de otras variables motivacionales por tres razones: 1) sus componentes afectivas (emociones) y cognitivas (actividades perceptuales y representacionales) son sistemas separados que interactúan; 2) se ha hallado que las componentes afectivas y cognitivas tienen un raíz biológica; 3) el interés es resultado de una interacción entre una persona y un determinado contenido educativo, ya que es el contenido y el ambiente el que dirige el interés y contribuye a su desarrollo, mientras que el potencial para el interés está en el individuo, esto es, el interés siempre es específico al contenido (por ejemplo, varía de acuerdo a las asignaturas o al material educativo) y no una predisposición que aplica para todas las actividades.

Dentro de las concepciones de interés situacional y personal se considera que existen dos fases, una en la cual se desencadena el interés y otra en la que se establece. De este modo, en el Modelo de Cuatro Fases se incorporan ambas fases.

- Primera fase: **Desencadenamiento del Interés Situacional**. Corresponde al estado psicológico del interés que resulta de cambios a corto plazo en el procesamiento afectivo y cognitivo. Ocurre cuando el individuo: se encuentra en ambientes o se le presentan textos con características incongruentes e información sorprendente; identifica personajes de relevancia personal; intensidad. Es típicamente incentivado de forma externa, a través de ambientes de aprendizaje como el trabajo grupal, el uso de rompecabezas, computadoras, etc. El interés situacional desencadenado puede ser un precursor para la predisposición para el re-involucramiento en fases más avanzadas del desarrollo del interés.
- Segunda fase. **Interés situacional sostenido**. Estado psicológico del interés subse-

cuenta a un estado desencadenado, que involucra la atención enfocada y persistente durante un periodo de tiempo extendido, lo que vuelve a ocurrir y/o persiste nuevamente. El interés situacional se mantiene y se sostiene a través de lo significativo que sean las actividades para el individuo y a través de su involucramiento, típicamente, de forma externa. Ambientes educativos como el aprendizaje basado en proyectos, el trabajo cooperativo y la tutoría uno a uno pueden ayudar a mantener el interés situacional. Un interés situacional sostenido puede o no ser precursor del desarrollo de una predisposición para volverse a involucrar con cierto contenido, como sí ocurre con otras fases del interés.

- Tercera Fase. **Interés Individual Emergente.** Estado psicológico del interés y de las primeras fases de una predisposición duradera que busca el involucramiento constante con una cierta clase de contenidos a lo largo del tiempo. Está caracterizado por sentimientos positivos, conocimiento almacenado y valor almacenado. Considerando su experiencia previa de involucramiento, el estudiante valora la oportunidad de re-involucrarse en tareas relacionadas con su interés individual emergente y optará por llevarlas a cabo si se le da la oportunidad de elegir. El estudiante empieza a generar sus propias preguntas acerca del contenido de un interés individual, al tiempo que le puede permitir anticipar pasos en su trabajo con el contenido. Típicamente, el interés emergente individual es autogenerado, sin embargo, requiere de un apoyo externo, en la forma de modelos u otros como pares y expertos, en ambientes desafiantes, por lo cual las condiciones de instrucción o del ambiente de aprendizaje pueden permitir el desarrollo de este tipo de interés, al tiempo que esto puede llevar o no a un interés individual bien desarrollado.
- Cuarta fase. **Interés individual bien desarrollado.** Estado psicológico del interés y una predisposición relativamente persistente para re-involucrarse con una clase particular de contenido a lo largo del tiempo. Se caracteriza por tener sentimientos positivos, una cantidad mayor de conocimientos y valores hacia un contenido particular, respecto a otras actividades, por la generación y búsqueda de respuestas a preguntas que surgen de su curiosidad, a mantener esfuerzos creativos y constructivos, al tiempo

que le permite anticipar pasos subsecuentes en su trabajo con el contenido, genera más tipos de estrategias para ciertas tareas, asimismo, lleva al estudiante a considerar el contenido y el contexto de una tarea en el proceso de un problema o la comprensión de un pasaje. Un aprendiz con este tipo de interés persevera en su trabajo, incluso ante la frustración. Las condiciones instruccionales o del entorno de aprendizaje pueden facilitar el desarrollo y profundización de este tipo de interés al proveer oportunidades de interacción y desafíos que lleven a la construcción del conocimiento.

Anteriormente se señaló que el interés se ha estudiado particularmente en su relación con la motivación o como parte de las diferentes variables motivacionales. En su revisión, Glynn et al. (2015) afirman que el interés individual, en alguna de sus dos etapas, es la característica más importante de la motivación intrínseca, y que tanto la motivación intrínseca como la autoeficacia se apoyan mutuamente y están relacionadas con el éxito en la ciencia. En este sentido, el interés puede alimentar la motivación intrínseca y llevar a experiencias de desempeño (mastery experiences), la principal fuente de autoeficacia. La autoeficacia, a su vez, puede aumentar la motivación intrínseca, incluyendo el interés.

Como parte de estas conclusiones, sugieren que se pregunte a los estudiantes cuáles son las preguntas que son de su interés, con el objetivo de usarlas al desarrollar cursos, lo que implica incluir preguntas que presentan controversias éticas. Sugieren además la incorporación de científicos (hombre y mujeres) que forman parte de la comunidad en las actividades escolares, de manera que puedan compartir su trayectoria, las responsabilidades de su carrera, así como los desafíos profesionales y personales a los que se han enfrentado, lo que los convierte en posibles modelos a seguir. Finalmente, destacan la importancia de conocer el efecto de la enseñanza en el interés y en la autoeficacia de los estudiantes. Particularmente señalan que los últimos dos años de bachillerato y los dos primeros de la licenciatura son cruciales para desarrollar el interés en un área específica, mientras que los primeros años deben enfocarse en desarrollar la autoeficacia de los alumnos para evitar que se alejen de una carrera científica.

Bryan et al. (2011), quienes conforman el equipo trabajo de Glynn, realizaron un estudio, usando una metodología mixta, con alumnos de bachillerato estadounidenses, cuyos resultados permitieron construir la relación entre el interés, la motivación intrínseca y la auto-

eficacia. De este modo, sugieren que, para aumentar la motivación intrínseca, se conecten los conceptos con las vidas presentes y futuras de los alumnos al explicar la importancia de la alfabetización científica, describir oportunidades de desarrollarse profesionalmente en la ciencia, por medio de la presentación de profesionales que funcionen como modelos a seguir. Otras fuentes de motivación hacia la ciencia en la escuela son las actividades de manos a la obra, contar con profesores que dominen los contenidos, sean inspiradores, entusiastas y amables, además de que los estudiantes con buenas calificaciones se sienten más motivados en general. Por otro lado, las clases con una sobrecarga de información o que usan demasiadas presentaciones electrónicas desaniman a los estudiantes, en cambio, prefieren aquellas donde hay más autonomía, indagación e interacción social, como laboratorios, salidas de campo y proyectos colaborativos, y entre quienes quieren estudiar cursos avanzados, esperan que el contenido de las clases sea desafiante y que los profesores sean talentosos.

De manera complementaria, Durik et al. (2015) han estudiado la forma en que el interés individual y el *auto concepto de la habilidad*² de los estudiantes afecta su forma de interactuar con diferentes tipos de mejoras instruccionales diseñadas para aumentar el interés situacional. Para ello, primero dichos autores consideran que el auto concepto de la habilidad aglutina tres tipos de percepciones de los estudiantes, la competencia percibida (su percepción sobre sus niveles de competencia), su autoeficacia y sus expectativas de éxito (percepciones sobre su competencia en el futuro). Señalan que la necesidad de incluir este constructo es la de describir a los estudiantes que están interesados antes de participar en actividades educativas, en tanto consideran que el interés situacional descrito por Hidi y Renninger (2006) se refiere a la manera en que los estudiantes se involucran con el conocimiento durante las actividades educativas.

El estudio de Durik et al. (2015) se concentra en dos tipos de mejoras, las que atraen la atención sobre el conocimiento y las que enfatizan la utilidad personal de los temas a tratar. Las primeras son aquellas características que se añaden a las actividades con el objetivo de aumentar la novedad, complejidad o incertidumbre (denominadas *catch features*, características llamativas), las cuales han mostrado captar la atención de los estudiantes, así como

²*self concept of ability*, la percepción de los estudiantes sobre sus habilidades y conocimientos en un determinado tema, asignatura o área de conocimiento

fomentar la curiosidad y la exploración. Entre estas características se cuentan imágenes llamativas, colores brillantes y humor, las cuales han mostrado que, cuando se agregaron a las actividades de matemáticas, tienen un efecto mayor sobre el interés situacional conforme es menor el interés personal inicial de los estudiantes. Por otro lado, las mejoras sobre la utilidad personal del contenido se dividen en dos tipos, las que expresan los alumnos (valor autogenerado) y las que expresan los docentes (valor comunicado). Durik et al. (2015) encuentran que la construcción de utilidad autogenerada mejora el interés situacional conforme disminuye el auto concepto de la habilidad de los estudiantes. En contraste, cuando en el material se añade información sobre la utilidad del mismo en otras clases, exámenes o carreras, el interés situacional aumentó conforme el nivel inicial del interés personal de los estudiantes es mayor. En ese sentido, consideran que el autoconcepto sobre la utilidad parece ser el indicador más importante sobre cómo crear mejoras para la utilidad del contenido, en tanto ambos inciden sobre las percepciones de los estudiantes.

Ahora bien, para explicar estas observaciones, Durik et al. (2015) aplicaron el modelo de procesos, originalmente planteado para describir el surgimiento de la motivación intrínseca, a la relación entre cómo las metas que los estudiantes adoptan para interactuar con las actividades afectan su respuesta a la enseñanza. Este modelo considera que los individuos tienen metas que pueden coincidir o chocar con la situación educativa, fomentando o no el interés situacional. Las metas de los individuos corresponden a metas propósito (*purpose goals*) y metas objetivo (*target goals*), donde las primeras son las que determinan el objetivo principal para realizar una actividad, mientras que las segundas están determinadas por las actividades intermedias que se llevan a cabo para cumplir el objetivo. Así, los estudiantes con poco interés individual tienen metas que les dificultan involucrarse con los temas, como la apatía, el aburrimiento y el querer alejarse de ambientes competitivos, por ello, añadir características vistosas a los materiales educativos ayuda a enfocarlos, mientras que permitirles crear un valor propio al contenido les permite mantenerse en una zona segura donde puedan involucrarse con el contenido. Por otro lado, los estudiantes con mayor interés individual tienen como meta aprender, mejorar y poner a prueba su dominio sobre el tema, por lo cual las características llamativas los distraen, mientras que al serles comunicada información sobre la utilidad de los temas que está más allá de su nivel de competencia actual les permite de-

sarrollar un interés situacional mayor. Por ello, señalan que en las actividades de manos a la obra o de indagación que sólo se enfocan en captar la atención de los estudiantes debe existir una vinculación cognitiva que fomente el entendimiento para evitar una disminución en el interés individual. Asimismo, que es necesario que el involucramiento de los estudiantes con las actividades educativas responda a un contexto social amplio, que incluye cómo las ideas sobre la ciencia respecto a otras disciplinas y características personales de los estudiantes como el género, estereotipos sociales y creencias, afectan el rol que adoptan y la competencia auto percibida, lo que a su vez impacta la forma en que un individuo valora la utilidad y relevancia personal de una disciplina.

Los enfoques presentados señalan que los I/M/A pueden modificarse y en principio están determinados por la historia personal del individuo, su contexto social y familiar y por la escuela y el tipo de instrucción que reciben. De este modo, la vocación científica puede entenderse como la convicción informada del estudiante de formarse como profesionista en alguna carrera científica. Asimismo, la vocación científica se compone de dos dimensiones, una social y otra subjetiva, las cuales están atravesadas por las motivaciones, intereses, actitudes (I/M/A) de los estudiantes; es decir, los I/M/A llevan al estudiante a aceptar cambios o a reafirmar su decisión de estudiar o no una carrera científica. De entre los diferentes enfoques educativos, diferentes estudios señalan, sugieren o reportan que el Aprendizaje basado en la Indagación permite *cultivar* I/M/A hacia la ciencia. Por ello, en el siguiente capítulo se profundiza sobre las características de este enfoque de enseñanza-aprendizaje, su origen y algunas críticas que surgen hacia su empleo y el tipo de resultados que se han obtenido al utilizarse.

Capítulo 4

Aprendizaje basado en la indagación

Una de las propuestas educativas que han probado crear I/M/A positivas hacia la ciencia es el aprendizaje o enseñanza basado en la indagación. Sin embargo, la indagación, también conocida como aprendizaje por indagación, aprendizaje por investigación, *Inquiry-Based Learning* (IBL) o *Inquiry-Based Science Education* (IBSE), no ha sido definida con claridad, de acuerdo con Romero-Ariza (2017), por lo cual considera que no es posible obtener conclusiones claras sobre la incidencia que tiene en el aprendizaje de los alumnos. Del mismo modo, Potvin y Hasni (2014a) consideran que, si bien la mayoría de los trabajos sobre el aprendizaje por indagación o basado en problemas han mostrado que las I/M/A se ven modificadas de forma positiva, aquellos que no lo hacen se caracterizan por no poseer una base teórica completa y pueden categorizarse como estrategias de *manos a la obra* (en inglés, *hands-on learning*). Couso Lagarón (2015) sostiene que la falta de sustento teórico que presentan algunas de estas estrategias está relacionada con la *moda* por indagar y con la polisemia asociada al término indagación en la investigación educativa. Dicha moda forma parte de diversas políticas educativas originadas en Estados Unidos.

Romero-Ariza (2017) señala que la indagación como metodología educativa surge en Estados Unidos en la década de los noventa, como parte de las políticas educativas contenidas en sus estándares de educación (*National Science Education Standards*, NSES) elaborados por el Consejo Nacional de Investigación (*National Research Council*, NRC), mientras que en Europa empezaron a popularizarse a partir del 2007 derivado de la publicación del Informe *Science Education Now: a renew pedagogy for the future of Europe* o Informe Rocard, en

el cual se afirma que *las metodologías son más efectivas*. Reyes-Cárdenas y Padilla (2012) señalan que en México se han desarrollado, desde 1999, diferentes programas de educación científica con un enfoque indagatorio, tales como los Sistemas de Enseñanza Vivencial e Indagatoria de la Ciencia (SEVIC), Programa Adopta Un Talento (PAUTA) y la SEP, quienes desde 2011 promueven la enseñanza de la ciencia por medio de la indagación en el nivel básico.

Sin embargo, Crawford (2014) añade que, si bien la indagación podría parecer reciente, *rara o enigmática* dentro y fuera de Estados Unidos, es una metodología educativa de larga gestación y está asociada a una reflexión sobre la naturaleza de la ciencia y la forma en que esto influye en las prácticas educativas, motivada por las reformas educativas de Estados Unidos del siglo XX. Para Barrow (2006) dicho recuento inicia a partir del trabajo de John Dewey, realizado entre 1910 y 1944, y el de Joseph Schwab en 1966. La propuesta de Dewey, quien fuera un antiguo profesor de ciencias, fue crear una enseñanza de las ciencias activa y acorde a los intereses y necesidades de los alumnos, en el cual el profesor es un facilitador, opuesta al modelo imperante de instrucción directa. En dicho modelo, la indagación consiste en aplicar un *método científico* rígido de seis pasos: sentir situaciones desconcertantes, aclarar el problema, formular una hipótesis tentativa, probar la hipótesis, revisar con pruebas rigurosas y actuar sobre la solución.

Ahora bien, la carrera científico-tecnológica con la Unión Soviética llevó al gobierno estadounidense a cuestionarse su sistema educativo, particularmente cuando ocurrió el lanzamiento del satélite Sputnik I en 1957 llevó al gobierno estadounidense, y en particular, se fijó como objetivo que la educación científica lograra que los estudiantes *pensaran como científicos*. En este contexto, en 1966 Schwab propuso un sistema educativo en el que los estudiantes deben ver la ciencia como una serie de estructuras conceptuales, las cuales se revisan cada vez que ocurren descubrimientos nuevos o se conoce nueva información, derivado de una concepción que él había desarrollado en 1960, donde reconoce dos tipos de indagación: estable y emergente ¹. La indagación estable está relacionada con un cuerpo de conocimientos creciente, mientras la emergente está relacionada con nuevas estructuras que revolucionan la ciencia. De este modo, para Schwab enseñar ciencia es hacer ciencia, por

¹*fluid* es el término que cita Barrow (2006), se usa aquí la traducción presentada en Garritz (2010)

lo cual incentivaba el uso, por parte de los profesores, del laboratorio, así como fomentar la investigación documental, los debates sobre temas de actualidad y el papel de la tecnología, la interpretación de datos y las conclusiones de otros científicos. A este modelo Schwab le denominó indagación dentro de la indagación. Asimismo, Crawford (2014) menciona que Schwab distinguió entre tres niveles de indagación en el laboratorio: 1) Estructurada, en la cual se proporciona una pregunta a los estudiantes y se dan técnicas de laboratorio con las que pueden investigarse; 2) Guiada, en la cual se proporciona una pregunta, pero no los procedimientos; 3) Abierta, en la cual los estudiantes eligen la pregunta y el procedimiento.

Diversos documentos subsecuentes sugieren usar la indagación o incorporarla en las aulas, hasta que en los NSES de 1996 se llega a diferentes consensos sobre lo que significa la indagación. En dichos estándares, Anderson (2002) reconoce tres usos del término indagación: 1) indagación científica (*scientific inquiry*), 2) aprendizaje indagativo (*inquiry learning*), 3) enseñanza/instrucción indagativa (*inquiry teaching*). En el primer caso, la indagación científica se reconoce como una característica del trabajo científico, la cual está compuesta de habilidades y conocimientos usados por los científicos para estudiar *el mundo natural* y proponer explicaciones sobre el mismo. La segunda se refiere a un proceso activo de aprendizaje por parte de los estudiantes, el cual debe reflejar la naturaleza de la indagación científica. El tercer punto considera que si la indagación es central en el aprendizaje de las ciencias entonces debe serlo también en la enseñanza. Anderson reconoce que es este tercer punto el de mayor interés y que ya desde 2002 mostraba cómo diversas estrategias implementadas presentaban deficiencias teóricas.

Es decir, la indagación como propuesta educativa no es difícil de definir por ser un término de moda recientemente propuesto. Es difícil de definir porque puede llamarse indagación a muchas actividades o la actividad científica misma, ya que el principio básico es que el estudiante sea quien plantee y responda preguntas o proponga y realice experimentos. Existen evidencias de que esta modalidad de enseñanza-aprendizaje es relevante para desarrollar diferentes habilidades. En ese sentido, Couso Lagarón (2015) identifica que las metodologías IBSE comparten cuatro características comunes: 1) La enseñanza-aprendizaje ocurre en un escenario de investigación, donde los alumnos plantean preguntas y obtienen o analizan datos; 2) Las actitudes y motivaciones de los alumnos son protagonistas. El trabajo suele ser en

equipo, con una autonomía y capacidad de decisión amplias; 3) el profesor actúa como guía o facilitador; 4) la instrucción se da en etapas o fases, siguiendo un ciclo que busca imitar la investigación científica.

De lo anterior, se puede concluir que el objetivo principal de las actividades de indagación es simular la construcción del conocimiento científico, por lo cual pueden usarse para desarrollar I/M/A hacia la ciencia y actitudes científicas, ya que, al estar centradas en el alumno, se fomentan actividades donde los estudiantes proponen temáticas y preguntas de su interés, todo ello en un contexto científico. Resulta importante preguntarse si es posible lograr no sólo que los estudiantes se interesen en la ciencia o sepan lo que es hacer ciencia, sino que aprendan sobre ciencia. Por ello, en la siguiente sección se discute la forma en que la indagación puede favorecer la alfabetización científica por medio de la argumentación y las actividades de modelado.

4.1. Argumentar y modelar para aprender por indagación

Por sí misma, fomentar la formulación de preguntas por parte de los alumnos resulta ser una herramienta didáctica interesante. Por ejemplo, Defez et al. (2021) señalan que hay múltiples mecanismos cognitivos, metacognitivos y emocionales involucrados en dicha actividad. Adicionalmente, el trabajo de Phillips et al. (2018) resalta la investigación realizada sobre la importancia de las preguntas de los estudiantes en la construcción del conocimiento científico, el fomento de la participación y de la argumentación, el diseño de experimentos, los conocimientos previos y el interés por la ciencia. Sin embargo, Couso Lagarón (2015) señala que en las secuencias que se denominan indagación, comúnmente se confunden el tipo de preguntas y actividades que deben realizar los alumnos para aprender, principalmente asumiendo que lo que se busca es que estén activos físicamente o que enfrenten a experimentos vistosos, ya sea usando equipo especializado o con objetos cotidianos o caseros. Este tipo de secuencias corresponde a lo que se denomina actividades de *manos a la obra*, en las cuales se impide que los alumnos hagan preguntas relevantes, analicen sus respuestas y las de sus pares o conozcan más sobre un fenómeno que la experiencia de descubrirlo o presenciarlo. Las críticas a dichas actividades son recurrentes, puesto que denominarlas actividades de in-

dagación es un ejemplo de una interpretación simplista sobre lo que significa la indagación científica. Como metodología educativa, Abrams (2005) considera que una estrategia de indagación debe permitir a los estudiantes crear preguntas relevantes para que ellos mismos investiguen, fomentando así que los alumnos se expresen verbalmente, escriban y justifiquen sus propias ideas, reflexiones y conclusiones. Por ello, las discusiones grupales o en equipo que lleven a cabo los estudiantes deben contar con la intervención del profesor sólo cuando la discusión se pierda o se cometan errores conceptuales importantes, pero no debe dirigir la discusión ni encaminarla.

Abrahms agrega que durante el proceso de formulación de preguntas, explicaciones y discusiones, los estudiantes construyen mundos de ciencia personal y ciencia pública. Dichos mundos son fundamentales para romper con el esquema tradicional de ciencia como un conjunto de datos recolectados de forma objetiva, sino como un esfuerzo colectivo de discusión y propuestas. Por un lado, la ciencia privada o personal es aquella que ocurre antes de poder expresar en el lenguaje formal las ideas o conceptos, por lo cual es un esfuerzo personal por entender las ideas de uno mismo y se vale de recursos literarios como los cuentos o narrativas. En contraste, la ciencia pública es el conocimiento expresado a otros, usando el formalismo de una cierta disciplina y siguiendo un formato estandarizado de comunicación (medios y lenguaje). Por lo tanto, la puesta en práctica de ambas facetas de la ciencia permite el desarrollo de actitudes, habilidades y valores características de la actividad científica.

De esta forma, los estudiantes reconocen que el uso del lenguaje científico y la argumentación de y con ideas científicas son esenciales en la construcción de la ciencia. Para Duschl y Grandy (2008), quien debe primero convencerse de esta conclusión es el docente, ello, por medio del reconocimiento de las componentes del trabajo científico, revelados tanto por la filosofía de la ciencia como por el avance científico y tecnológico del siglo XX. Dichas componentes son: 1) la práctica hipotético-deductiva (que involucra plantear y realizar experimentos y análisis de datos); 2) el desarrollo de teorías; 3) el cambio conceptual (en la forma de cambio de paradigmas); 4) la construcción de modelos. Estas componentes son sinónimo de trabajo científico e indagación científica, en tanto el trabajo científico es ante todo, pero no se limita a, un esfuerzo de indagación. Dichos autores agregan que la diferencia entre las secuencias de indagación y aquellas que enfatizan el rol del laboratorio como un espacio de

confirmación de teorías o de observación de fenómenos, como son las actividades de manos a la obra o de descubrimiento, es que en las primeras existe la posibilidad del diálogo argumentativo entre todos los elementos anteriores. Particularmente en el nivel medio superior, Duschl y Grandy (2008) enfatizan la necesidad de *tomar ventaja* de las habilidades, preguntas e intereses de los estudiantes al laboratorio, por medio del fomento de la argumentación, la construcción de explicaciones y la evaluación de evidencia, todo ello, en el entendido de que el razonamiento de lo estudiantes hace uso del lenguaje científico de forma apropiada, por lo cual las ideas u objetivos deben tener un claro enfoque científico.

Los primeros tres aspectos del trabajo científico listados antes, nos dicen Duschl y Grandy (2008), fueron discutidos especialmente en los años 50 y 60 del siglo XX, por figuras como por Thomas Kuhn, Norwood Russell Hanson, Mary Hesse, Stephen Toulmin y Paul Feyerabend, en un esfuerzo por cuestionar las bases del positivismo lógico en su forma de entender la ciencia únicamente a partir de la lógica matemática y el método lógico-deductivo, a través de la inclusión de factores históricos y psicológicos. El cuarto aspecto ha sido desarrollado por el movimiento que aboga por entender el trabajo científico como una empresa dirigida hacia la construcción de modelos, elaborada por autores como Nancy Cartwright, Ron Giere, Helen Longino, Nancy Nersessian, Patrick Suppe, Fred Suppes, entre otros. Lo destacado de este movimiento es su conexión con el reconocimiento de la comunidad científica como parte del proceso científico, además de enfatizar al uso de instrumentos como parte del razonamiento científico, y de forma central, la importancia del rol de la construcción de datos y modelos sobre el de las teorías.

Es decir, el uso de la argumentación dentro del aula esta justificada porque el conocimiento científico se construye de forma colaborativa. Por ello, es importante reconocer el uso y construcción de modelos son parte del lenguaje científico que pueden y deben usar los estudiantes. Para Oh y Oh (2011) una de las aportaciones de los modelos a la educación en ciencias es que la posibilidad que ofrece al profesor de usarlos para demostrar y explicar procesos complejos, mientras que a los alumnos pueden y deben tener oportunidades en el aula de realizar *actividades de modelado*, esto es, explorar, expresar, construir, aplicar y revisar modelos, para finalmente ser capaces de entender su uso en la construcción del conocimiento científico. Dichos autores sintetizan en 4 aspectos la naturaleza de los modelos, los cuales se

listan a continuación.

- Significados de un modelo: Un modelo es una representación de un cierto objeto de estudio (target en inglés), esto es, características y propiedades de objetos observables o no observables, fenómenos, ideas, eventos, etc. Un modelo funciona como un puente entre una teoría y un fenómeno.
- Propósitos de un modelo: Un modelo puede describir, explicar y predecir fenómenos naturales y comunicar ideas científicas a otros. Los modelos pueden expresar estas cualidades usando símbolos no lingüísticos, analogías y simulaciones externas (imaginarias o con ayuda de software).
- Multiplicidad de los modelos científicos: A lo largo de la historia se han desarrollado diferentes modelos con el objetivo de estudiar los mismos objetos, debido a que es posible construir modelos con diferentes recursos semióticos y que los científicos difieren en la forma en que consideran funciona el objeto de estudio y cómo luce. Cada modelo está limitado debido a que los modelos sólo representan un aspecto específico de los objetos de estudio, por lo cual en ocasiones es necesario usar más de un modelo para poder ofrecer explicaciones más completas del objeto de estudio.
- Cambios en los modelos científicos: Los modelos se prueban de forma empírica y de forma conceptual, por lo cual pueden cambiar junto con el desarrollo del conocimiento científico.

Las formas específicas en que se puede lograr que la argumentación y el modelado puedan fomentar el aprendizaje de las ciencias dentro de las actividades de indagación está relacionado con el anclaje que las metodologías de indagación tienen con otros marcos teóricos del aprendizaje, de los cuales Crawford (2014) reconoce tres: la teoría del cambio conceptual, la teoría sociocultural y la teoría de la comunidad de práctica. En su conjunto, la teoría del cambio conceptual reconoce la importancia de las experiencias y concepciones previas de los estudiantes, en tanto la teoría sociocultural reconoce el impacto de la interacción social en el aprendizaje, mientras que la teoría de las comunidades de práctica permite reconocer que el aula es un ambiente complejo, en el cual diferentes comunidades creadas dentro y

fuera del aula (aquellas que forman los estudiantes con la escuela, la sociedad y la ciencia), sus interacciones y la forma en que los aprendices participan en el conocimiento dentro de las mismas.²

Dentro de dichos anclajes, Duschl y Grandy (2008) encuentran que la incorporación y evaluación de la indagación científica en las escuelas debe enfocarse en tres dominios integrados:

- Las estructuras conceptuales y los procesos cognitivos usados cuando se razona científicamente
- Los marcos epistémicos usados cuando se desarrolla y evalúa el conocimiento científico
- Los procesos sociales y los contextos que moldean cómo se comunica el conocimiento, se representa, argumenta y debate.

Así, las condiciones para el aprendizaje de la indagación científica y su evaluación mejoran al establecer espacios de aprendizaje centrados en el alumno, y las secuencias instruccionales que promueven el aprendizaje científico, las actividades y trabajos que hacen visible el pensamiento de los estudiantes, así como las prácticas de evaluación del profesor que monitorean el aprendizaje y proveen de retroalimentación al pensamiento y aprendizaje ocurren en cada uno de los tres dominios anteriores.

Por otro lado, Romero-Ariza (2017) observa que es posible conciliar que la indagación es una modalidad de enseñanza-aprendizaje que puede anclarse a objetivos específicos de aprendizaje, particularmente, al modelo de alfabetización científica de PISA. Por ello, considera que una *indagación de calidad* puede lograrse cuando: 1) se debe fomentar actividades epistémicas de orden superior; 2) se cuestionan las tareas centradas en los pasos del método científico, ya que refuerzan una imagen empirista e ingenua de la ciencia; 3) se destaca el papel de las ideas explicativas y la construcción de teorías y modelos; 4) se fomenta el razonamiento y la reflexión en el alumnado; 5) se fomentan la argumentación y la evaluación de

²Los diferentes anclajes mencionados anteriormente no se tratarán en adelante, ni de manera superficial o a profundidad, esencialmente porque se encuentran en el trasfondo de las reflexiones y propuestas de buena parte de los autores mencionados a lo largo del trabajo.

ideas alternativas que tienen los estudiantes. Así, la indagación de calidad se compone de tres dimensiones: 1) investigación, 2) evaluación y 3) articulación de explicaciones y soluciones. La investigación implica formular preguntas *investigables*, es decir, deben tener una clara orientación científica, de manera que tengan contextos significativos que impliquen cognitiva y emocionalmente al alumnado y promuevan el desarrollo de destrezas relevantes para la construcción y dominio del conocimiento científico. Evaluar significa relacionar los datos y la evidencia arrojados por la investigación usando teorías y modelos. Finalmente, para que la indagación repercuta en una mejora de la enseñanza debe diseñarse y articularse teniendo en cuenta los resultados de aprendizaje que queremos alcanzar y se debe asegurar una evaluación coherente. La comparación se resume en la tabla 4.1. La comparativa entre el modelo de alfabetización de PISA y la *indagación de calidad* es relevante porque muestra que no son objetivos educativos separados, sino complementarios. Lo mismo podría hacerse con el modelo de indagación de Hodson, donde el aspecto crítico o político con el que se pretende dotar a los estudiantes se puede incluir como parte de una actitud científica.

Se ha indicado hasta ahora el tipo de actividades que pueden y deben realizar los alumnos, sin embargo, no se ha presentado una secuencia sobre la forma en que se sugiere estructurar las secuencias o ciclos de inmersión indagativos. A manera de conclusión, se reproduce a continuación la lista de actividades elaborada por Garritz (2010), a través del análisis de diferentes propuestas de indagación, incluidos los documentos del NSES y reflexiones posteriores:

1. Identificar y plantear preguntas que puedan ser respondidas mediante la indagación
2. Definir y analizar bien el problema a resolver e identificar sus aspectos relevantes
3. Reunir información bibliográfica para que sirva de prueba
4. Formular explicaciones al problema planteado, a partir de las pruebas
5. Plantear problemas de la vida cotidiana y tocar aspectos históricos relevantes
6. Diseñar y conducir trabajo de investigación a través de diversas acciones, las cuales son: Reflexionar sobre las observaciones y fomentar la búsqueda de patrones en la información; Generar relaciones hipotéticas y pruebas entre las variables; Postular

factores causales potenciales; Evaluar la consistencia empírica de la información; Hacer uso de analogías y/o de la intuición para ayudar a conceptualizar los fenómenos; Formular y manipular modelos físicos y mentales; Utilizar herramientas apropiadas y técnicas para reunir, analizar e interpretar datos; Pensar crítica y lógicamente para desarrollar predicciones, explicaciones y modelos empleando las pruebas; Coordinar los modelos teóricos con la información; Evaluar las explicaciones alcanzadas, con algún modelo científico; Comunicar hechos y procedimientos científicos en la clase.

7. Compartir con otros mediante argumentación lo que ha sido aprendido a través de la indagación.

De este panorama, se puede concluir que al plantear una secuencia de indagación debe considerarse la naturaleza del conocimiento científico y cómo las I/M/A y las ideas de los estudiantes entraran en conflicto con las actividades propuestas, de forma que sea posible no sólo *enseñar a indagar* (como lo denomina Couso Lagarón, 2015), sino que los estudiantes aprendan a preguntarse, a modelar y a argumentar usando el conocimiento científica, con el objetivo final de que puedan construir nuevo conocimiento, y no sólo reproducir o reconstruir. Particularmente, para desarrollar la estrategia didáctica de este trabajo de tesis se busca seguir la secuencia de actividades propuesta por Garritz (2010), enfatizando el papel de la formulación de preguntas, elaboración de explicaciones y discusión de ideas científicas por parte de los estudiantes, cuidando que su contenido sea científico y que además tengan relevancia personal.

Por comodidad, a lo largo de este trabajo se ha hablado de ciencia en general, ya sea educación, filosofía, I/M/A, sin ahondar en una disciplina específica. Sin embargo, las diferentes modalidades de indagación han sido diseñadas para algunas asignaturas específicas, como son Química o Biología. Este trabajo de tesis, como indica su título, pensado para ser implementado con estudiantes de Física de bachillerato, por lo cual en el siguiente capítulo se describe un panorama sobre el tipo de estrategias usadas y propuestas para enseñar el electromagnetismo, la justificación del tema elegido y de los instrumentos de evaluación empleados, así como la secuencia aplicada y sus actividades correspondientes.

Tabla 4.1

Comparación entre los objetivos de la indagación de calidad y los objetivos de la alfabetización científica de PISA.

Aspectos Clave	PISA	Indagación de Calidad
Contexto	Capacidad de transferir conocimiento y habilidades a una amplia variedad de contextos	Búsqueda de contextos y cuestiones que faciliten el desarrollo de destrezas de investigación y la construcción significativa de conocimiento científico.
Motivación y actitudes	Interés por la ciencia. Valoración de la ciencia	Motivación e implicación en la investigación de cuestiones científicas. Apropiación de la <i>cultura científica</i> , valoración de la naturaleza de la ciencia.
Competencias	Explicar fenómenos científicamente, evaluar y diseñar investigaciones científicas e interpretar datos y pruebas científicas.	Investigar cuestiones científicas, evaluar ideas alternativas teniendo en cuenta los datos y evidencias disponibles y construir explicaciones coherentes (investigar, interpretar, argumentar y modelizar).
Conocimiento	Procesual, epistémico y fáctico.	Conocimiento de ciencias (comprensión de ideas científicas) y sobre la ciencia (forma en la que se construye dicho conocimiento).

Nota: Retomado de Romero-Ariza (2017)

Método

Capítulo 5

Metodologías para el estudio de las vocaciones científicas

A lo largo de este trabajo se ha justificado la elección de usar el IBSE como una alternativa para desarrollar las I/M/A de los estudiantes hacia la ciencia, tanto para incentivar su estudio como un área de conocimiento valiosa para su desarrollo humano y profesional, como un posible camino vocacional. Al mismo tiempo, se ha mostrado que el IBSE puede y debe fomentar la alfabetización científica, de manera que se pueden cumplir dos objetivos de la educación actual. La generalidad de estos planteamientos abarca prácticamente todas las disciplinas científicas y sus diferentes contenidos. En lo que sigue, se describe la elección del instrumento usado para medir el cambio de I/M/A al aplicar una estrategia de indagación para el tema de radiación electromagnética en el CCH y las limitantes del mismo. Posteriormente, se describe la elección del tema, su importancia en el currículo y la forma en que se pueden adaptar ciertos desarrollos en la enseñanza del electromagnetismo a una estrategia de indagación.

5.1. Objetivos

Objetivo general

- Desarrollar vocaciones científicas a través del fomento de Intereses, Motivaciones y Actitudes (I/M/A) positivas hacia la ciencia en alumnos del Colegio de Ciencias y Humanidades, por medio de una estrategia didáctica desarrollada a partir del Aprendizaje Basado en la Indagación.

Objetivos particulares

- Realizar un diagnóstico de I/M/A hacia la ciencia por medio de un cuestionario estandarizado.
- Crear una secuencia didáctica consistente con el Aprendizaje basado en la Indagación.
- Cultivar actitudes positivas hacia el conocimiento científico por medio de la estrategia didáctica creada.
- Determinar con los puntajes del cuestionario estandarizado el cambio en las I/M/A debido a la participación de los estudiantes en las actividades de la secuencia.

5.2. Elección del instrumento

Tytler (2014) clasifica en dos tipos las metodologías usadas para estudiar las actitudes: cuantitativas y cualitativas. La primera es particularmente útil para elaborar perfiles de los estudiantes o para conocer cambios en las actitudes. Se compone por el uso de encuestas y cuestionarios estandarizados, pruebas como *dibuja a un científico* y el uso de inventarios sobre qué temas científicos le interesan a los estudiantes. Las metodologías cualitativas involucran el seguimiento a grupos reducidos, principalmente por medio de entrevistas, por lo cual no se pueden establecer criterios psicométricos para los constructos y la generalización de muchos de sus resultados requiere de aspectos complementarios. En su lugar, la ventaja

que ofrecen estos métodos es establecer como se originan y cuáles son los matices entre diferentes actitudes hacia la ciencia.

El objetivo de este trabajo es conocer si es posible lograr un cambio en las I/M/A en los estudiantes con una estrategia didáctica, por lo cual una metodología cuantitativa resulta más apropiada. Al momento de elegir el instrumento adecuado para ello, es importante reconocer los señalamientos que hacen Potvin y Hasni (2014a) sobre el uso y creación de múltiples instrumentos para evaluar las I/M/A. A largo del tiempo, los grupos de investigación ha creado y aplicado diferentes instrumentos o versiones de los ya existentes, de manera que la posibilidad de comparación entre diferentes poblaciones y enfoques es reducida. En el caso particular de los cuestionarios, consideran que, si bien cierto tipo de modificaciones están justificadas (por ejemplo, culturales, del lenguaje o curriculares), otras diferencias no parecen estarlo. En el trabajo presente, la elección del instrumento busca responder a estas preocupaciones, con el objetivo de vincular este trabajo con resultados anteriores y futuros. Asimismo, Tytler (2014) reconoce que existen dos tipos de preocupaciones acerca de los cuestionarios que se han usado para medir actitudes: la claridad con que se definen y usan los constructos así como la validez y fiabilidad reportadas para cada instrumento, estos últimos corresponden a valores obtenidos con pruebas estadísticas. El trabajo de Blalock et al. (2008) consistió en desarrollar una rúbrica para evaluar distintos aspectos de los test, con el objetivo de caracterizar el tipo de pruebas que se usan en la investigación sobre actitudes. Dicha rúbrica evalúa: la presentación de la teoría que sustenta las preguntas; la fiabilidad, entendida como la presentación de parámetros psicométricos aceptables; la validez, es decir, la presentación de resultados obtenidos en estudios preliminares y las poblaciones estudiadas; la dimensionalidad, entendida como las diferentes I/M/A medidas en la prueba; el uso, esto es, la «popularidad» de la prueba (cuántos estudios usan la prueba). Una de las conclusiones obtenidas es que las pruebas más populares no son las más adecuadas, ya sea porque no reportan su fiabilidad o porque no especifican la teoría empleada.

Una de las características de estos cuestionarios es que éstos se encuentran estructurados en escalas de Likert (de acuerdo/en desacuerdo). Aunque su uso está extendido, Vázquez-Alonso et al. (2006) apuntan las siguientes críticas: 1) se suele suponer que el cuestionario se entiende de la misma forma por el investigador y el encuestado; 2) existe una postura filo-

sófica y determinados prejuicios por parte del investigador; 3) hay una correspondencia poco clara entre los puntajes y los resultados. Otra característica relevante es la especificidad del instrumento por asignatura. En el caso de la Física, se encuentra el trabajo de Kaur y Zhao (2017), el cual está validado con estudiantes de la India.

Además del instrumento, es necesario reconocer la existencia de estudios cuantitativos sobre actitudes hacia la ciencia en general o hacia la ciencia en la escuela realizados con la población mexicana en el bachillerato. En su versión del 2015 (OECD, 2016), la prueba PISA se enfocó en el área de ciencias, lo cual incluyó la aplicación de preguntas que midieron el interés los estudiantes en estudiar una carrera científica, su involucramiento en actividades científicas fuera de la escuela, su motivación instrumental (por objetivos) para estudiar ciencia, su motivación intrínseca (compuesta por el disfrute de hacer ciencia y su interés en temas científicos) y su autoeficacia en ciencia. De estos resultados, destaca que un 41 % de los estudiantes (45 % de los hombres y 36 % de las mujeres) se ven a sí mismos estudiando una carrera científica, un porcentaje mayor al promedio de otros países OCDE. En general, lo que se observa es que los estudiantes mexicanos tienen I/M/A altos comparados con los de otros países de la OCDE, tanto en sus creencias sobre la importancia de la investigación científica como en su motivación para aprender ciencia, sin embargo, estas actitudes contrastan con el bajo desempeño en ciencias y matemáticas que obtienen en la prueba.

Además del estudio de PISA, de acuerdo con Pelcastre Villafuerte et al. (2015), en México hay poca investigación diagnóstica sobre las actitudes hacia la ciencia, particularmente está ausente aquella relacionada con los estudiantes de la EMS. Entre los trabajos que menciona Pelcastre Villafuerte et al. (2015) se puede destacar el trabajo de García-Ruiz et al. (2009) con alumnos de bachillerato, en el cual encuentra actitudes positivas, pero poco significativas, usando un cuestionario sobre opiniones. Bruner y Acuña (2006) señala en su estudio que los estudiantes son indiferentes (ni a favor ni en contra) a una visión de adherencia-antagonía hacia la ciencia, en función de su respuesta a ciertos postulados, derivados del debate político entre diferentes frentes de la academia estadounidense de los años 90, suponiendo que llegó a las aulas de la Escuela Nacional Preparatoria, ya sea a través de los profesores o de los medios de comunicación de México.

Pelcastre Villafuerte et al. (2015) aplicaron cuatro indicadores del instrumento *Attitudes to-*

ward Science Protocol, o PAC (Protocolo de Actitudes hacia la Ciencias), en una versión al español. Dichos indicadores son Imagen, Enseñanza, Social y Características de la ciencia. Lo que encontraron es que los estudiantes tienen una actitud favorable y positiva hacia la ciencia, sin embargo, el indicador Social (que involucra temas de repercusión social) es el menos favorable. Atribuyen dicho resultado a la visión unidimensional de la ciencia que tienen profesores, el Estado Mexicano y la sociedad mexicana, siendo estos últimos quienes desconocen el papel de la ciencia y a qué se dedican los científicos. Asimismo, destacan que, aunque los alumnos manifiestan que la enseñanza de la ciencia es importante, esto no se refleja en sus acciones. Destacan el que las jóvenes se encuentran más interesadas por la ciencia que los chicos, sin embargo, ellas perciben que «hay que ser muy inteligente para hacer ciencia» en mayor proporción que los hombres. Sin embargo, dichos autores reconocen que, debido a lo reducido de la muestra y el nivel socioeconómico medio-alto de los estudiantes, esto no puede extenderse a la población estudiantil de la EMS.

Sin embargo, se observa que las dimensiones del PAC utilizadas por no permiten conocer los intereses de los estudiantes. Como se discutió en el marco teórico, las I/M/A hacia la ciencia están interrelacionadas entre sí, por lo cual, para cumplir con el objetivo de este trabajo habría que medir de manera simultánea el interés, las motivaciones y las actitudes de los estudiantes. Una solución posible es usar un cuestionario diferente para cada constructo, y comparar los resultados. El trabajo de Lupión-Cobos et al. (2019) hace uso de tres dimensiones de una sola prueba, la prueba TOSRA. TOSRA (*Test of Science Related Attitudes*) es un cuestionario sugerido por Potvin y Hasni (2014a), en tanto consideran que cuenta con un uso relativamente extendido alrededor del mundo y una confiabilidad aceptable. Adicionalmente, en su estudio Blalock et al. (2008) le otorgaron a TOSRA un puntaje de 19 puntos (máximo de 28 en la rúbrica), siendo uno de los más consistentes, por lo cual sugieren su uso.

Lupión-Cobos et al. (2019) señala que dicho instrumento permite recoger la opinión de los participantes sobre los siguientes aspectos de la investigación científica: implicaciones sociales de la ciencia (S), visión de la vida de los científicos (N), actitudes hacia la indagación científica (I), adopción de actitudes científicas (A), motivación en las clases de ciencia (E), interés por la ciencia en el tiempo de ocio (L), e interés por estudiar carreras científicas (C).

Cada dimensión se compone por 10 preguntas, 5 en sentido positivo (a favor de la dimensión) y 5 en sentido negativo (en contra de la dimensión), que se responden con una escala de Likert de 5 puntos: strongly agree (SA, 5 puntos), agree (A, 4 puntos), not sure (N, 3 puntos), disagree (D, 2 puntos), strongly disagree (SD, 1 puntos). La población para la cual fue formulada originalmente son estudiantes de educación media básica. Aydeniz y Kotowski (2014) señala como una limitación conceptual de TOSRA que la prueba mida tanto las actitudes hacia la ciencia como las actitudes científicas, particularmente por las limitaciones conceptuales que esto puede representar y la confusión que puede inducir en los estudiantes al responder el cuestionario. La desventaja principal de TOSRA respecto al PAC o cualquier otro instrumento es que no ha sido posible encontrar si ha sido aplicado en México, ya sea en su versión original o en una adaptada.

Ahora bien, en el estudio de Lupión-Cobos et al. (2019) se eligieron las dimensiones E, C e I, argumentando que son las que se relacionan con la proyección STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), para analizar el efecto sobre las I/M/A de los estudiantes de haber participado en alguno de los dos proyectos de enseñanza de las ciencias implementados en España: el programa Profundiza (2010-2013) y el programa PIISA-Science IES. Ambos programas son extracurriculares y están enfocados en el desarrollo de habilidades de investigación o de indagación, sin embargo, con diferencias en su estructura y evaluación. Entre sus conclusiones, se encuentra que el programa PIISA-Science tuvo una mayor incidencia en las I/M/A de los estudiantes que participaron en él, lo que se atribuye a una estructuración de actividades más consistente. En ese sentido, se recupera que las dimensiones de la prueba usadas en dicho trabajo permiten establecer el efecto sobre las I/M/A de una cierta estrategia didáctica o de enseñanza sobre las I/M/A de manera confiable, particularmente de las actividades de indagación.

En síntesis, la elección de un instrumento confiable para conocer el cambio de las I/M/A en un contexto educativo responde a que: 1) el instrumento tenga indicadores psicométricos aceptables, 2) que haya sido probado con diferentes poblaciones, preferentemente con alguna población similar con la cual va a aplicarse la estrategia. Tanto el PAC como las dimensiones E, C e I de TOSRA cumplen con el primer requisito, mientras que sólo PAC cumple con el segundo. Sin embargo, los indicadores de PAC buscan reconocer si los estudiantes tienen una

imagen positiva o negativa de la ciencia, en contraste con las dimensiones de TOSRA que específicamente buscan conocer si los estudiantes tienen actitudes favorables hacia la ciencia y sus procedimientos, si están motivados para estudiar ciencia en la escuela y si tienen un interés en estudiar ciencia, por lo cual están mejor alineados con los objetivos de este trabajo de tesis.

5.3. Instrumento

El instrumento elegido para evaluar los cambios en las I/M/A que pueda producir la estrategia desarrollada en este trabajo son las dimensiones E, C e I de la prueba TOSRA. Debido a que no se hallaron registros del uso de TOSRA en México, ya sea en el idioma original o traducido al español y particularmente de las dimensiones E, C e I, se decidió elaborar una traducción propia, por lo cual se realizó una prueba piloto para probar el cuestionario traducido y la estrategia. Asimismo, se decidió usar la prueba TOSRA en dos momentos: antes y después de la prueba. Por un lado, para contar con un diagnóstico inicial sobre el estado de la población objetivo y poder compararlo luego de aplicar la estrategia.

5.4. Población Objetivo

La población objetivo de este trabajo son estudiantes del Colegio de Ciencias y Humanidades, Plantel Sur, quienes cursan las asignaturas Física III y Física IV, durante los semestres 5o y 6o del bachillerato, en un rango de edad entre los 16 y 18 años, esto es, en un ambiente urbano. Las asignaturas de Física III y IV son de carácter propedéutico, por lo cual se puede considerar que los estudiantes tienen un interés previo en estudiar ciencia.

5.5. Desarrollo de la estrategia

5.5.1. Aprender electromagnetismo con indagación

La Física es una disciplina científica que forma parte de todas las propuestas curriculares del bachillerato en México. En diferentes partes del mundo se ha encontrado que los estu-

diantes y profesores consideran que es una asignatura difícil (Angell et al. 2004, Ornek et al. 2008, Byun y Lee, 2014) o aburrida (Trumper, 2006), lo que obstaculiza su aprendizaje y enseñanza. Su protagonismo en la revolución tecnológica del siglo pasado es innegable y la larga tradición científica de la Física Clásica como ciencia predictiva hace inevitable su estudio en los niveles básico y medio superior. Ahora bien, uno de los resultados fundamentales del Electromagnetismo es la unificación de los fenómenos eléctricos y magnéticos por medio de cuatro ecuaciones, conocidas como las leyes de Maxwell. De ellas, puede deducirse la existencia de las ondas electromagnéticas, lo que detonó el ímpetu por su generación y la interacción que tienen con la materia, creando un puente entre diferentes fenómenos y disciplinas. Quizás por ello, la comprensión de las ondas electromagnéticas por parte de los alumnos no cuenta con elementos suficientes de la Física, en tanto requiere la aplicación de múltiples modelos microscópicos y macroscópicos para su descripción. Asimismo, esta enorme multiplicidad es la razón por la cual las ondas electromagnéticas aparecen en diferentes desarrollos científicos y tecnológicos de uso común, como las telecomunicaciones, el alumbrado o en problemas contemporáneos como el calentamiento global, además de que su desarrollo histórico involucra a diversas figuras clave de la ciencia. Son estas cualidades las que fueron identificadas como ideales para desarrollar en torno a ellas una estrategia didáctica de indagación.

Existen diferentes propuestas concretas para el aprendizaje de las ondas electromagnéticas que pueden aplicarse a una estrategia de indagación o que forman parte de un ciclo de indagación. Por ejemplo, Acevedo Díaz (2004) resalta la importancia de las analogías como forma de construcción personal del conocimiento, particularmente destaca su presencia en el siglo XIX y en el contexto de la teoría electromagnética de Maxwell. Como propuesta didáctica propone la adaptación de las analogías de Maxwell y otros científicos partícipes del desarrollo del Electromagnetismo, para con el objetivo de proporcionar a los alumnos una forma de comprender la naturaleza de la ciencia, el trabajo científico y los procedimientos metodológicos de la ciencia.

Otra propuesta es la de Shi (2015), quien sugiere el uso de la historia y la filosofía de la ciencia en la enseñanza de la física, por medio de la estructuración de los diferentes partícipes en la construcción, validación y aplicación de la teoría electromagnética, desde Faraday hasta

Marconi. La discusión de estos ejemplos está fundamentada en el constructivismo filosófico y favorece una visión de la educación donde se consideran válidas y esenciales las concepciones alternativas (antepuesto al tradicional concepto de *ideas erradas*), así como sus ideas, creencias y compromisos epistemológicos, antes y durante el aprendizaje formal del electromagnetismo. Así, se ayuda a presentar a la ciencia como un juego entre ideas contrastantes, opuesto al adoctrinamiento de una sola teoría correcta.

En el ámbito experimental, del Mazo Vivar (2011) propone recrear el experimento de Hertz sobre la detección ondas electromagnéticas, cambiando las ondas de radio por microondas. El dispositivo se construye usando materiales caseros, siendo estos: tornillos, un encendedor piezoeléctrico (cuyas terminales han sido extendidas con cables caimán), un cohesor, un led y baterías alcalinas. El cohesor es de construcción propia (dos tornillos que aprisionan limadura de hierro, aisladas con un tubo de vinilo). Adicionalmente, se crean espejos (planos) con cartón y papel aluminio, así como polarizadores de cartón con alambre. Con este equipo, es posible observar la polarización de las ondas y la reflexión, así como la creación de ondas estacionarias.

Usando estas tres propuestas, es posible estructurar una estrategia de indagación dirigida o como una unidad de inmersión, donde el proyecto, diseño o problema este relacionado con las telecomunicaciones y su relación con la sociedad, por ejemplo, en la construcción de infraestructura, impacto ambiental o desarrollo social. Las exigencias de tiempo y de recursos que requiere una indagación completa excede los objetivos de este trabajo, por lo que de ellos se retoman cuatro elementos: 1) La estrategia a desarrollar requiere de la discusión con los alumnos de la historia del electromagnetismo; 2) las formulaciones originales y el uso de analogías por parte de los alumnos son posibles alternativas para discutir; 3) los experimentos de ondas electromagnéticas no necesariamente requieren de equipo especializado.

Una de las preocupaciones principales que se tienen sobre el planteamiento de las actividades es sobre el tipo de ideas que tendrán las explicaciones de los estudiantes a un fenómeno cuando se usa el término *radiación electromagnética*. En su estudio, Plotz (2016) presenta diferentes concepciones halladas con alumnos europeos sobre radiación, destacando que las relaciones conceptuales entre radiación electromagnética y radiación nuclear están difusas y entrelazadas por circunstancias como el accidente de Chérbnyl. Existen, además, dificulta-

des para diferenciar entre radiación ionizante y no ionizante. Por ello, propone discutir las ideas anteriores, y que, antes de cualquier otra introducción al tema debe haber un entendimiento de los conceptos de longitud de onda, frecuencia y velocidad de propagación. Así, sugiere que un cambio en estas ideas se ha logrado cuando los estudiantes pueden entender que: 1) la radiación electromagnética está clasificada por la longitud de onda y está ordenada en el espectro; 2) la radiación electromagnética no necesita un medio para propagarse; 3) la radiación electromagnética es omnipresente; 4) la radiación electromagnética transporta energía e interactúa con la materia en formas diferentes en función de la longitud de onda y la materia.

Ahora bien, sin importar la estrategia que se use, ya sea corto plazo o de inmersión, es necesario realizar un diagnóstico en tanto los existentes para la población objetivo no son comparables. Sin embargo, la propuesta didáctica se estructurará considerando que los estudiantes tienen I/M/A hacia la ciencia de indiferentes a negativas, particularmente hacia la Física. Esto implica además que los estudiantes tienen una visión distorsionada del conocimiento científico, debido al contexto social y educativo en el que se encuentra México. Asimismo, estas concepciones están determinadas por nivel de alfabetización científica que poseen los estudiantes, el dominio de la expresión oral y escrita así como de matemáticas, los cuales se espera sean inferiores al esperado para su nivel académico.

Respecto a las condiciones materiales, la estrategia se elaboró pensando en espacios de trabajo con laboratorio precarios o con dificultades para acceder a equipos especializados, además de que no se consideró tener conexión estable a Internet ni amplia disponibilidad de equipo de cómputo. Asimismo, la estrategia se creó pensando contar con espacios y recursos para que los estudiantes comuniquen sus ideas entre pares, y de manera adicional, con espacios institucionales fuera del aula diseñados para la difusión del trabajo de los estudiantes hacia sus pares y público en general.

La temática elegida corresponde al tema de Radiación Electromagnética por su relevancia en el desarrollo de tecnologías de comunicación y su vinculación con diversos fenómenos físicos investigables con experimentos caseros, a través de la historia de la disciplina o usando modelos matemáticos. Dado que la educación tradicional de las ciencias, particularmente de la Física en la EMS, ha relegado el trabajo experimental, la escritura y discusión, la estrategia

se desarrolló teniendo en cuenta que dichos elementos deben enfatizarse al elegir el modelo de indagación a seguir.

A continuación, se describen las dos estrategias elaboradas e implementadas, siendo la primera una prueba piloto, tanto del cuestionario traducido como de la modalidad de Aprendizaje por Indagación.

5.5.2. Estrategia Piloto

La estrategia piloto fue desarrollada en términos del modelo de la *buena indagación* de López Rolandi (2017), usando la estructura de actividades propuesta por Garritz (2010). A continuación se describen las actividades realizadas, destacando aquello que era realizable y aquello a lo que se aspiraba lograr posteriormente.

En la identificación y planteamiento de preguntas que puedan ser respondidas mediante la indagación se eligió responder ¿qué es el WiFi? por ser una tecnología de uso común en hogares urbanos, que se encuentra en las aulas y en sus hogares, lo cual se relaciona a su vez con *problemas de la vida cotidiana*, sin embargo, en este sentido es más complejo *tocar aspectos históricos relevantes*, lo cual se espera puedan abordar los estudiantes en la actividad a elegir. Para *definir y analizar bien el problema a resolver e identificar sus aspectos relevantes* se eligió la sesión plenaria y usar el espacio del aula para inducir a los alumnos a pensar en las características de la tecnología: actúa a distancia, es invisible y requiere de cierta tecnología adicional para recibirse (emisor-receptor). Las actividades a elección requieren de *reunir información bibliográfica para que sirva de prueba* adicional a lo observado en clase para poder relacionar, en el caso de las actividades experimentales, que es posible generar y recibir diferentes longitudes de onda.

Para poder *formular explicaciones al problema planteado, a partir de las pruebas* se busca que luego de la experimentación directa con el fenómeno de generación y detección de ondas, así como la investigación documental guiada a través de preguntas, lo que lleve a los estudiantes a reflexionar sobre el papel de dicha información y hechos, esto por medio de la escritura de un informe o elaboración de infografía; lo que a su vez coincide con la última recomendación de compartir lo observado. Para que el trabajo que realizan los demás no sea repetitivo, se busca que la actividad que realicen los equipos difiera en naturaleza para que

sea necesario para los estudiantes elaborar sus propias explicaciones, y que, a su vez, sean los compañeros quienes juzguen si esta explicación es convincente.

La última parte de la indagación que propone Garritz sobre *Diseñar y conducir trabajo de investigación a través de diversas acciones* no podrá realizarse de forma cabal por requerir de una mayor cantidad de sesiones, sin embargo, se espera que durante la realización de las prácticas o la elaboración de material a presentar los estudiantes, los estudiantes discutan de manera que puedan realizar las acciones que menciona Garritz.

5.5.3. Estrategia Implementada

A partir de los resultados observados en la prueba piloto, se concluyó que era necesario modificar diferentes aspectos de la estrategia de manera sustancial. Entre los cambios se encuentran unificar (en el sentido de no diversificar) las actividades, en tanto se observó que los estudiantes mostraron preferencia por un sólo tipo de actividad cuando se les presentó la opción de elegir entre llevar a cabo un experimento o elaborar una infografía. Algunos de los comentarios que realizaron los estudiantes sobre la elección de la actividad señalaban como dificultad el hecho de construir *algo* en un periodo de tiempo reducido (una a dos sesiones). Se optó entonces por enfocarse en que los estudiantes desarrollaran un proyecto corto, en el que la creación y discusión de modelos jugara un papel más relevante. Se consideró entonces utilizar la modalidad de indagación conocida como Indagación Dirigida por Argumentación (ADI, *Argumentation Driven Inquiry* en inglés), sugerida por Couso Lagarón (2015) como una modalidad que permite interrelacionar la indagación científica, la modelización y la argumentación. Las modalidades más usadas de la indagación se estructuran siguiendo el ciclo de las de 5 E's de Bybee o modelo BSCS (Bybee et al. 2006): Motivación-Involucramiento, Exploración-Investigación, Explicación, Extensión-Elaboración y Evaluación (en inglés, *Engagement, Exploration, Explanation, Elaboration, Evaluation*). En cambio, Fakhriyah et al. (2021) señalan que el ADI, como propuesta educativa de reciente aplicación, ha sido desarrollado para aplicarse en múltiples etapas que van de los 6 a los 8 pasos. En su revisión de las publicaciones existentes sobre los diferentes modelos de ADI encuentran que en todos ellos existen fases de recolección de datos o identificación de problemas, discusión y justificación de resultados, evaluación por pares y ejercicios metacognitivos (reflexiones, creación de ma-

pas mentales, entre otros). Asimismo, destacan que ha sido poco usada para la enseñanza de la Física, y ha hallado más aplicación en la enseñanza de la Química y de la Biología. Dada la diversidad de propuestas mostradas en dicho estudio, se optó por retomar la propuesta más consistente a las constricciones de tiempo de este trabajo de tesis. En ese sentido, se ha tomado como base el modelo ADI en 8 pasos de Sampson y Gleim (2009). Los pasos que proponen son:

1. Identificación de una tarea. Se crea por medio de una pregunta motivadora para entender un fenómeno o resolver un problema.
2. Una experiencia basada en el laboratorio, en grupos reducidos, en la cual se generen o analicen datos.
3. La producción de un argumento tentativo que articule y justifique una explicación.
4. Una sesión de argumentación. En ella, los equipos comparten y refinan sus explicaciones.
5. Un reporte individual de investigación. Se pide que expongan de forma escrita el objetivo de la investigación, el método usado y exponer un argumento bien razonado.
6. Una revisión por pares, a doble ciego, de los reportes, para proporcionar retroalimentación.
7. Revisión final de los reportes, basada en los resultados de la primera revisión.
8. Una discusión explícita y reflexiva sobre la indagación, es decir, la experiencia completa.

Sampson y Gleim (2009) diseñaron y aplicaron una secuencia con un grupo estadounidense de Biología, de 10^o año (15-16 años), creada para ayudar a comprender las bases moleculares de la herencia. La tarea que se les proporcionó fue determinar, a partir de muestras de sangre, si los hijos de un cierto matrimonio eran producto del mismo o de una infidelidad recientemente descubierta. A los estudiantes se les proporcionan muestras de sangre simuladas, suero inmunológico y pruebas para determinar el tipo de sangre, materiales con los

cuales proponen una metodología y responden a la pregunta. Los autores sugieren que en los primeros pasos se les debe proporcionar pistas y una lista de materiales, de manera que los estudiantes puedan escribir una propuesta de investigación, donde detallen el método que utilizarán. Este modelo, afirman los autores, fomenta la alfabetización científica y permite una mejor vinculación con otras disciplinas, al mismo tiempo que, la conjunción de escritura, lectura, discusión crítica y evaluación formativa por pares, permite incrementar el desempeño de los estudiantes.

El modelo ADI sugiere que la recolección de datos o identificación de la tarea deben ser guiadas o debe existir un anclaje teórico para que los alumnos tengan un mejor desempeño en la actividad. Por ello, en este trabajo se optó por añadir un diagnóstico de sus ideas previas, para ayudarlos a encaminar la discusión en torno al problema de las telecomunicaciones como un fenómeno físico. De este modo, se optó por incorporar la Jaula de Faraday, en sustitución del experimento de Hertz, en tanto es un fenómeno sobre el cual se pueden construir y discutir explicaciones físicas más generales, además de ser más sencilla de construir. La jaula de Faraday puede construirse con materiales caseros, de este modo, los estudiantes proponen como observar un fenómeno con el que se enfrentan cotidianamente con materiales caseros, de manera que puedan replicarlo en diferentes condiciones o plantear situaciones en escenarios dentro y fuera del aula. Por su parte, se describe el fundamento matemático y otros resultados sobre el fenómeno en el Anexo C. En la siguiente parte se hacen explícitas las actividades empleadas dentro del modelo ADI para la Jaula de Faraday.

5.6. Implementación

5.6.1. Secuencia didáctica

Escuela: Colegio de Ciencias y Humanidades

Fecha: 21 de Septiembre, 14 y 19 de Octubre de 2022

Asignatura: Física IV

Profesor titular: Jesús Manuel Cruz Cisneros

Estrategia aplicada por: Omar Maceda Ramírez, autorizado y supervisado por el profesor

titular.

Unidad: I. Sistemas Electromagnéticos Parte 6. Radiación Electromagnética

Objetivos de aprendizaje: (del programa de estudios del CCH) Comprende que las variaciones del campo eléctrico o magnético generan ondas electromagnéticas.

Objetivo de la estrategia didáctica Usar el aprendizaje basado en la indagación (indagación dirigida por argumentación) para introducir a los estudiantes a la actividad científica

Duración: 6 horas (tres sesiones de 2 dos horas)

Título de la secuencia. ¿Por qué se pierde la señal?

Primera sesión

Actividad 1. Introducción. Sesión plenaria con una pregunta detonadora.

Duración: 15 min

Se entrega a los alumnos la **Guía de actividades**, la cual se encuentra en el Anexo B de este trabajo. En equipos, se pide que respondan en 5 minutos si las imágenes presentadas en la Actividad 1 de la **Guía** corresponden a radiación electromagnética. En sesión plenaria, simulando una trivía (las respuestas se anotan en el pizarrón, ordenadas en una tabla), los alumnos presentan sus respuestas y justifican su elección, las cuales se comparan con las respuestas de los otros equipos. Los equipos deben entregar por escrito sus respuestas. Con ello, se busca introducir el concepto de espectro electromagnético, el cual podrán usar para planear su experimento en la segunda actividad.

Actividad 2. Obtención de datos. Jaula de Faraday Casera.

Duración: 55 min

Materiales: Latas de conserva, papel aluminio, bolsas de plástico, dispositivo bluetooth, celular y radio portátil.

Se pregunta a los estudiantes ejemplos en los cuales tres tecnologías de telecomunicaciones (el WiFi, la señal de un celular y el bluetooth) se pierden o dejan de funcionar. Se busca responder, además, si existen otras tecnologías que se comporten de la misma forma y si el comportamiento de ésta tecnología solo se observa en los dispositivos electrónicos. Asimismo, se plantea a los alumnos la pregunta ¿en qué situaciones sería necesario crear un aislamiento contra las ondas electromagnéticas? como una forma de iniciar la segunda acti-

vidad.

De este modo, en equipos (pueden ser los mismos que se formaron para actividad anterior), los estudiantes crean una propuesta experimental para determinar si es posible aislar a un dispositivo móvil (celular, bocina, radio portátil) de cualquier onda electromagnética. Se les pedirá, antes de elegir los materiales y de realizar su trabajo, que escriban y den a revisión su propuesta.

La actividad busca que los estudiantes planeen y lleven a cabo la creación de una jaula de Faraday casera con los materiales descritos por French (2011), la cual aísla los campos eléctricos circundantes de los dispositivos de telecomunicaciones.

El profesor debe circular entre los diferentes grupos mientras discuten y realizan su experimento, haciendo preguntas como: ¿cómo sabes que tus datos son fiables? ¿qué más necesitas para continuar? ¿tienes suficientes datos para sustentar tus ideas?

Actividad 3. Producción de un argumento tentativo

Duración: 20 min

Materiales: Pizarra (puede ser electrónica), cartulina blanca, plumones o gises, por equipo. En equipos, los estudiantes construyen un argumento, el cual consiste de una explicación, de evidencia y de un razonamiento. La explicación es la respuesta a la pregunta inicial que guió la investigación. En este caso, se espera que los estudiantes respondan si es posible o no aislar un determinado objeto de las ondas electromagnéticas. La evidencia es el conjunto de datos que obtuvieron y observaciones que llevaron a cabo los estudiantes, pueden usar los hechos que conocen o investigaron sobre las ondas (que tienen frecuencia, longitud de onda, amplitud). Se espera que las observaciones sean sobre la metodología empleada, los arreglos que funcionan y los que no y por qué el arreglo que usaron, aísla o no los campos eléctricos. La evidencia se considera como tal, ya sea cuando se observa una tendencia temporal, una diferencia entre grupos de datos u observaciones o una relación matemática entre variables. La parte del razonamiento incluye una reflexión que ilustre cómo la evidencia sustenta la afirmación y que la evidencia se puede justificar.

Segunda sesión

Actividad 4. Sesión de argumentación

Duración: 50 min

Los estudiantes presentan ante un grupo reducido de otros estudiantes sus conclusiones de la sesión pasada. Al menos un miembro de cada equipo expone, en su mesa, a un grupo de estudiantes y al profesor, el argumento que elaboró su equipo. Se espera que presenten en forma de cartel o en una pizarra pequeña. Las exposiciones deben darse en grupos pequeños, por rondas, de tal forma que al menos un miembro del equipo haya escuchado la explicación de todos los demás equipos. Los alumnos se pueden apoyar de la tabla 2 en la **Guía** para verificar los lugares por los que ya pasaron.

Actividad 5. Revisión y refinamiento del argumento

Duración: 40 min

Al terminar las rondas, los estudiantes deciden si deben modificar su explicación, volver a realizar su explicación o repetir su toma de datos. Para ello, discuten los argumentos de los demás equipos y los propios, con los cuales reelaboran su propuesta, la llevan a cabo, repiten sus observaciones y reescriben su argumento.

Actividad 6. Explicación sobre la siguiente sesión.

Duración: 10 min

Se explica a los estudiantes lo que se entregará la siguiente sesión. Los estudiantes entregarán un reporte escrito, individual, de dos cuartillas, en el cual se debe responder a las preguntas: ¿Qué es lo que intentaron llevar a cabo y por qué? ¿Qué hicieron y por qué? ¿Cuál es su argumento? Los estudiantes deben colocar evidencia y presentar datos y observaciones en forma de tablas, gráficas y diagramas. Se hace explícita que la revisión del reporte será por pares y con base en la **Rúbrica de evaluación por pares** (ver Anexo B).

Tercera sesión

Actividad 7. Revisión por pares a doble ciego

Duración: 60 min

Los estudiantes entregaron previamente, por correo electrónico, su reporte individual. El profesor entrega a cada equipo entre 5 y 6 reportes, los cuales revisarán usando la **Rúbrica de evaluación por pares**. Cada reporte se identifica con un número (los reportes se editan de forma que los estudiantes no sepan quien entregó el reporte), el cual deberán colocar en la

esquina superior izquierda de cada rúbrica. Deberán rellenar completamente la rúbrica, ya que las correcciones serán entregadas a cada autor.

Actividad 8. Reflexión final

Duración: 40 min

En sesión plenaria, se lleva a cabo una discusión donde se reflexiona y se hacen explícitos los aprendizajes que se obtuvieron y cómo se relacionan dichos aprendizajes con su contexto. Se busca que los estudiantes hablen de su experiencia y la forma en que pueden mejorar sus experimentos, explicaciones y propuestas de investigación, así como de aquello que funcionó y de lo que no funcionó. Se pueden sugerir otras investigaciones y se puede discutir sobre la naturaleza del conocimiento científico como algo tentativo, que se mantiene sólo hasta que se prueba lo contrario. Dichas reflexiones se entregan por escrito, de manera individual, al final de la sesión.

Finalmente, se exhorta a los estudiantes cuyo ensayo no fue aprobado, a reescribirlo y entregarlo nuevamente al profesor.

5.6.2. Narración de la estrategia aplicada

Primera sesión

La estrategia comenzó a aplicarse a partir del 21 de Septiembre del 2022. Sin embargo, diversas circunstancias institucionales modificaron las fechas de aplicación de las sesiones posteriores. Previo a la aplicación de la estrategia, en una sesión anterior, los estudiantes respondieron 3 secciones del cuestionario TOSRA, cuyo objetivo es conocer las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes. Una segunda aplicación se llevó a cabo en el siguiente mes después de la última sesión de la estrategia, con el objetivo de comparar los resultados de la primera aplicación y conocer el efecto de las actividades en una modificación de las actitudes reportadas inicialmente. En la segunda aplicación, se modificó el orden de aparición de las preguntas, no así los enunciados.

En la primera sesión se llevaron a cabo las tres actividades planteadas. La clase inició con la conformación de los equipos. Se crearon 6 equipos, 4 de 4 integrantes, uno de 3 y otro de 2. Una vez formados, se le proporcionó a cada equipo una copia de la **Guía de activi-**

dades y se les explicó la Primera Actividad. Las respuestas de los equipos se compilaron en el pizarrón, las cuales se discutieron con los estudiantes. En la tabla 5.1 se muestran las respuestas recibidas sobre cuáles de los fenómenos o dispositivos emitían o hacían uso de las ondas electromagnéticas, mientras que en la tabla 5.2 se muestran algunas de las ideas más comunes en las respuestas a cada pregunta complementaria. En total, la actividad tomó entre 35 y 40 minutos, más del doble de lo planeado originalmente.

Tabla 5.1

Respuestas a la pregunta: ¿Cuáles de las siguientes imágenes representan fenómenos o tecnologías que usen o produzcan ondas electromagnéticas?

	Si	No	No respondió
Dispositivo bluetooth	100.0	0.0	0.0
Cámara infrarroja	50.0	50.0	0.0
Lámpara ultravioleta	50.0	33.3	16.7
Luz visible	33.3	16.7	33.3
Horno de microondas	66.7	16.7	16.7
Señal del radio	83.3	0.0	16.7
Rayos Cósmicos	16.7	50.0	16.7
Placa de rayos X	33.3	33.3	16.7
Muestra de Radio (elemento químico)	33.3	16.7	50.0
Módem WiFi	66.7	0.0	33.3

La segunda actividad, dividida en tres partes, pudo realizarse en 30 minutos. En general, los equipos presentaron mayor dificultad al redactar la propuesta de forma coherente, ya que no se adaptaban al esquema descrito en la hoja de actividades. Fue necesario especificar que describieran con mayor detalle algunas características, principalmente, las razones por las cuales requerían usar uno u otro material, el esquema general del arreglo, los dispositivos a usar y la telecomunicación a interrumpir. En la tabla 5.3 se muestran los materiales y las ideas clave de las propuestas llevadas a cabo por los estudiantes.

La tercera actividad tomó al menos 15 minutos, durante la cual los equipos recabaron eviden-

Tabla 5.2*Ideas principales en las respuestas a la primera actividad.*

Pregunta	Respuestas comunes
¿Existen diferentes tipos de radiación? ¿Cuáles?	Sí. Mencionan como ejemplos: radiación UV, infrarroja, rayos X, rayos gamma, microondas, radiación nuclear, radiación ionizante y no ionizante
¿Las ondas electromagnéticas y la radiación electromagnética son lo mismo? ¿Por qué?	No. Hay consenso en sus respuestas sobre que la radiación genera ondas electromagnéticas o que se manifiestan de formas diferentes. Se diferencian según el daño que pueden ocasionar en el organismo (la radiación electromagnética es dañina, pero las ondas no lo son).
¿Podemos ver la radiación electromagnética? ¿Por qué?	Hay consenso en sus respuestas sobre que sólo se puede ver el espectro visible, pero para otras longitudes de onda es necesario usar instrumentos, aparatos eléctricos o herramientas.

cia y comenzaron a esbozar sus argumentos. Se explicó la dinámica a seguir en la siguiente sesión, en la cual expondrían el trabajo realizado en las hojas proporcionadas. La segunda sesión busca enfocarse en ayudar a los estudiantes a plantear nuevamente sus propuestas, tomando en cuenta tanto lo que otros equipos realizaron como los supuestos que llevaron a cabo al hacer su propuesta.

Segunda sesión

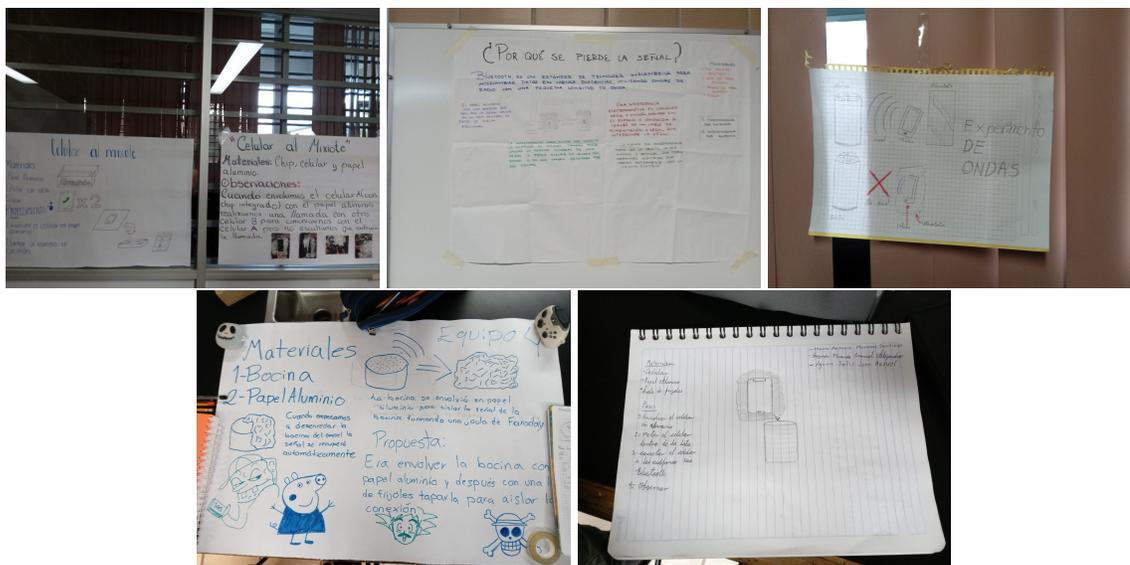
En la segunda sesión, la cual se llevó a cabo dos semanas después de la primera debido a problemas internos del Colegio, los estudiantes presentaron las explicaciones de lo que llevaron a cabo. Debido a la diferencia entre las fechas de aplicación entre estas dos sesiones, sólo tres equipos presentaron explicaciones con las características solicitadas. Dos de ellos reconstruyeron parte de su explicación en un formato reducido, mientras que otro equipo hizo uso de un video, el cual había sido filmado durante la sesión anterior. Las exposiciones se llevaron a cabo de forma simultánea, de manera que cada grupo realizó una hoja donde se explicaron las exposiciones que se visitaron. Usando estas hojas, los equipos determinaron si

Tabla 5.3*Propuestas de experimento realizadas por cada equipo*

Equipo	Materiales	¿Qué se va a hacer?
1	Papel aluminio, Latas de conserva, par de bocinas, celular	Se envuelve una de las bocinas en papel aluminio. Esto causa interferencia al colocar el papel y las latas, ya que existe una distancia óptima entre las bocinas y el celular
2	Dos celulares, papel aluminio, latas de conserva	Se realiza una llamada de prueba para verificar que hay señal. Se envuelve el celular en el papel aluminio y se coloca una lata; la lata fortalece el aislamiento
3	Celular, bocina, papel aluminio, latas de conserva	Se cubre la bocina con papel aluminio y se le coloca una lata. Se intenta reproducir una canción y no se podrá ya que la señal se interrumpió
4	Celular (2), Latas de conserva, bolsa plástica, Audífonos	Se envuelve en papel aluminio un celular, luego se cubre con una bolsa y posteriormente se coloca una lata. Se comparten datos móviles entre dos celulares. Luego, el celular que envía los datos es el que se introduce en el arreglo.
5	Celular (2), Papel aluminio	Se envuelve un teléfono con papel aluminio. Se marca al otro teléfono para ver si entra la llamada. Se espera hallar interferencia.
6	Celular, Bocina, Papel Aluminio	Se prueba la conexión entre la bocina y el celular. Se cubre el celular con papel aluminio. El papel aluminio bloquea la señal.

Figura 5.1

Carteles presentados por los estudiantes



Nota: En los carteles, cada equipo muestra la propuesta realizada y los resultados obtenidos.

era necesario recolectar más evidencia. Debido a los problemas para montar las exposiciones, el tiempo de discusión se redujo significativamente, por lo cual sólo dos equipos decidieron repetir el experimento. No se les solicitó una propuesta de nuevo, en tanto su objetivo se centró en realizar fotografías para su informe.

Tercera sesión

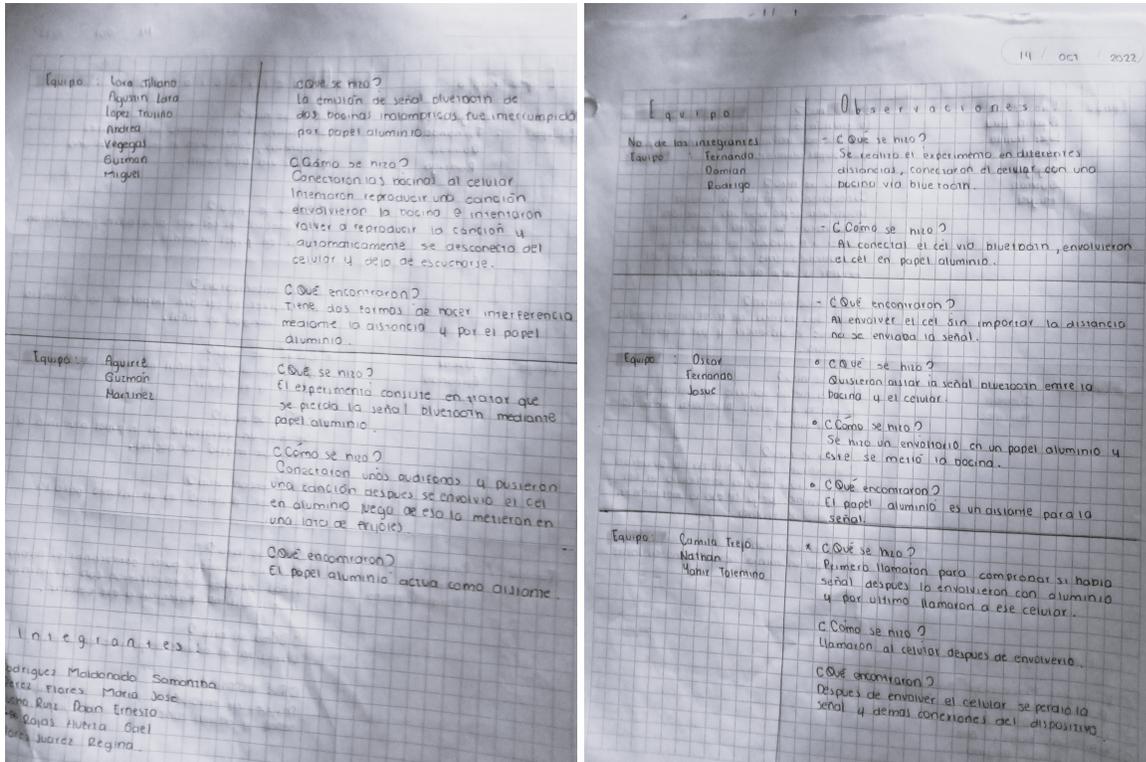
En la tercera sesión, los estudiantes realizaron la revisión de los reportes a doble ciego. Se recibieron 17 reportes, los cuales se repartieron entre los 6 equipos. Se numeraron previamente los reportes, sin que los estudiantes conocieran el formato usado, evitando así que un equipo revisara el reporte de alguno de sus integrantes. En la figura 5.2 se muestra uno de los reportes, anexando la rúbrica correspondiente.

Como parte final, los estudiantes participaron en sesión plenaria partiendo de las siguientes preguntas:

- ¿Qué aprendieron? ¿Les sirvió de algo la actividad?

Figura 5.2

Hoja de registro de exposiciones elaborada por los estudiantes



Nota: La hoja se elaboró por equipos, así, los estudiantes discutieron el trabajo del resto del grupo.

- ¿Cómo pueden mejorar sus experimentos o sus argumentos?
- ¿Qué funcionó de lo que hicieron? ¿Qué no funcionó?
- ¿Cómo harían un experimento para otro tipo de ondas?
- A partir de esta experiencia, responde ¿Qué es el conocimiento científico?
- ¿Porqué se revisaron los reportes sin conocer al autor?

Estas preguntas fueron respondidas de manera individual por los estudiantes, luego de recapitular todas las actividades realizadas.

Figura 5.2

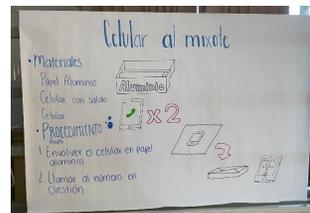
Ejemplo de reporte

Reporte individual

Sabemos que el celular tiene diferentes usos como poder hacer llamadas, escuchar la radio, conectarse por vía bluetooth, etc. este usa el tipo de onda electromagnética lo que sabemos que es una onda no visible.

Materiales:

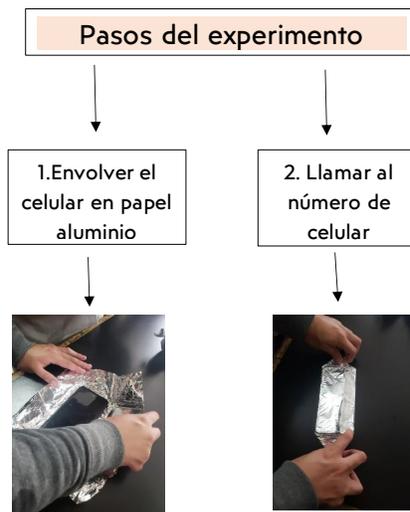
- ☆ Celular con saldo
- ☆ Papel Aluminio
- ☆ Celular



¿Qué es lo que intentaron hacer?

Lo que intentamos hacer fue que se perdiera la señal al llamar al dispositivo móvil, que se mantuviera incomunicado usando algún material aislante.

¿Qué hicieron y por qué?



Usamos el celular ya que sabemos que es un dispositivo que al llamar provoca ondas electromagnéticas y el papel aluminio lo usamos como aislante. Al envolver el celular con papel aluminio lo que notamos fue que no entraba la llamada.

¿Cuáles su argumento?

Sabemos que es posible incomunicar el celular, porque al envolver el celular con papel aluminio; el aluminio impide que las ondas electromagnéticas entren en contacto con el celular.

El núcleo está en equilibrio electrostático y anula la señal electromagnética.

Para justificar la respuesta podemos decir que es parecida a la Jaula de Faraday; donde demostró que "un cuerpo electrizado que se encuentre aislado, las cargas siempre se acumulan en su superficie".

Figura 5.3

Rúbrica de evaluación correspondiente al reporte anterior

Rúbrica para la evaluación por pares

Responde si el/la autor(a):	No	Pocos	Algunos	Excelente
¿Introduce los fenómenos que se investigaron y el problema a resolver?				✓
¿Hizo explícitas la pregunta o las metas de la investigación?			✓	✓
¿Explica por qué se llevó a cabo el trabajo y por qué es útil o necesario?				✓
Explica por qué tu grupo otorgó Pocos o No a algún criterio <i>Todo excelente pero el desarrollo de la pregunta no fue la mejor</i>				
¿Describe cómo realizó su trabajo?			✓	✓
¿Explica por qué el trabajo se realizó de esa forma?			✓	
¿Usa términos apropiados para describir la naturaleza de la investigación, como son <i>experimento, observación sistemática, interpretación de datos existentes?</i>				✓
Explica por qué tu grupo otorgó Pocos o No a algún criterio <i>solamente no se entendió el ¿por qué? del experimento</i>				
¿Incluyó una explicación bien articulada que provee una respuesta satisfactoria a la pregunta de investigación?			✓	
¿Escribió una explicación coherente y sin contradicciones?			✓	
¿Usó evidencia válida, como determinar tendencias temporales entre variables, mostrar diferencias entre grupos de observaciones o hallar la relación entre variables, para sustentar su explicación?			✓	
¿Presentó la evidencia en forma apropiada, ya sea en tablas, diagramas o gráficas?				✓
¿Tiene suficiente evidencia para sustentar su explicación? Es decir, si usó más de una parte de la evidencia para desarrollar sus ideas.				✓
¿Presenta evidencia válida y confiable? Esto es, si usó métodos apropiados para obtener la evidencia o intentó reducir los errores al medir.			✓	✓

(a) Primera página

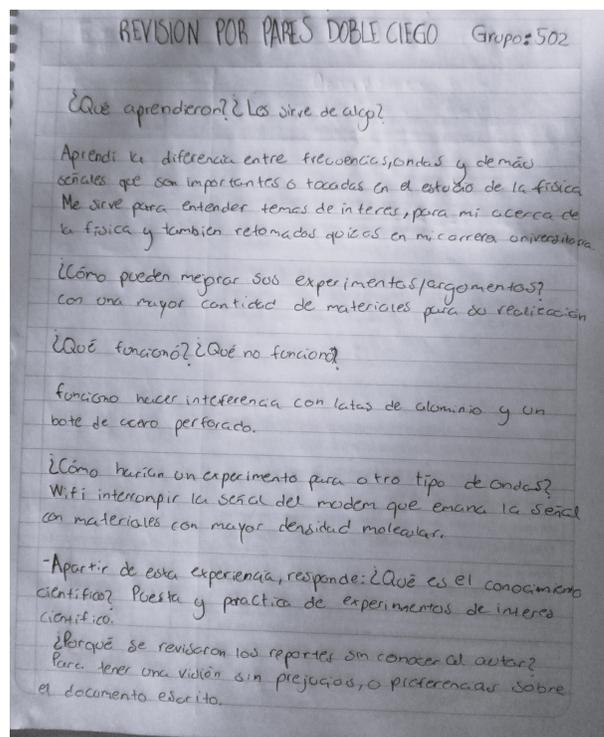
¿Presentó una explicación que pueda abarcar toda la evidencia presentada?		✓		
¿Presentó un razonamiento suficiente y apropiado? Por suficiente, se entiende que el/la autor/a explica por qué la evidencia se usó de cierta forma y por qué ayuda a sustentar la explicación, mientras que por apropiado se entiende que la explicación es racional e inteligible		✓		
¿Presentó una explicación consistente con lo que otros grupos hallaron y con lo que se discutió en clase?			✓	
¿Usa términos clave, como por ejemplo, hipótesis, predicción, de forma correcta y no hace uso de frases inapropiadas como: <i>esto prueba que, es correcto, mi prueba es?</i>		✓		
Explica por qué tu grupo otorgó Pocos o No a algún criterio <i>SU explicacion no es muy amplia</i>				
¿Expresa sus ideas claramente y le proporciona al lector una visión valiosa sobre lo que se investigó?			✓	
¿Presentó un escrito que tiene un propósito y una estructura? Con propósito se entiende que el autor/a escribió pensando en comunicar una idea, descubrimiento o reflexión.	✓			
¿Elegió las palabras adecuadas para que la escritura se sienta natural y precisa? Con natural, se entiende que la escritura no tiene oraciones cuyo sentido es difícil de entender, ya sea por ser rebuscado en su vocabulario o por el orden de la oración.			✓	
Usó una gramática, puntuación, separación de párrafos y uso de mayúsculas apropiado?			✓	
Explica por qué tu grupo otorgó Pocos o No a algún criterio <i>No tiene buena estructura</i>				

5.2

(b) Segunda página

Figura 5.4

Ejemplo de reflexión final



Resultados y conclusiones

Capítulo 6

Análisis de resultados

6.1. Análisis cuantitativo

La muestra de la primera aplicación fue de 24 alumnos, mientras que la segunda aplicación fue de 19 alumnos.

Para determinar el efecto de la estrategia en las dimensiones medidas en la prueba, se compararon las medias para los puntajes obtenidos en cada dimensión. Los puntajes para cada pregunta corresponden a un valor asignado a cada punto de la escala de Likert. De este modo, se asignó a cada respuesta un número entre el 1 y el 5, en orden decreciente. Para las preguntas formuladas en sentido negativo, los valores se invierten. De este modo, para las preguntas en sentido positivo, TA=5, DA=4, NS=3, ED=2 y TD=1, mientras que para las preguntas en sentido negativo TA=1, DA=2, NS=3, ED=4 y TD=5. El puntaje por dimensión es la suma de los puntajes obtenidos en las preguntas correspondientes a cada dimensión. Dado que cada dimensión está constituida por 10 preguntas, cinco en sentido positivo y cinco en sentido negativo, la puntuación máxima por dimensión es de 50 puntos. En las tablas 6.1, 6.2 y 6.3 se muestran, agrupados por dimensión, los porcentajes correspondientes a cada pregunta por categoría. El valor de la α de Cronbach para el pre test corresponde $\alpha = 0.89$, mientras que para el post test es $\alpha = 0.86$.

Nesselroade y Grimm (2019) señala que en un estudio pre-post test, puede evaluarse si la diferencia entre las medias es estadísticamente significativa con una prueba t para muestras dependientes. A pesar de que las escalas de Likert son un ejemplo de datos ordinales,

Tabla 6.1*Porcentajes de respuesta por pregunta para la dimensión C, para pre y post test*

Dimensión C. Interés por estudiar una carrera en ciencias										
Pregunta	Pre Test					Post Test				
	TA	DA	NS	ED	TD	TA	DA	NS	ED	TD
No me gustaría ser científico cuando termine la escuela	20.8	29.2	37.5	8.3	4.2	5.3	21.1	47.4	15.8	10.5
Cuando termine la escuela me gustaría trabajar con gente que haga descubrimientos en ciencia	8.3	41.7	33.3	16.7	0.0	21.1	26.3	26.3	21.1	5.3
No me gustaría tener un trabajo en un laboratorio de ciencias cuando termine la escuela	12.5	20.8	29.2	33.3	4.2	5.3	21.1	36.8	26.3	5.3
Trabajar en un laboratorio de ciencias sería una forma interesante de ganarse la vida	33.3	33.3	25.0	8.3	0.0	10.5	47.4	36.8	5.3	0.0
Una carrera en ciencia sería aburrida y sombría	0.0	8.3	29.2	41.7	20.8	0.0	5.3	31.6	31.6	31.6
Me gustaría enseñar ciencia cuando cuando termine la escuela	0.0	16.7	33.3	20.8	29.2	10.5	10.5	31.6	21.1	26.3
Un trabajo como científico sería aburrido	4.2	4.2	25.0	41.7	25.0	0.0	0.0	31.6	42.1	26.3
Un trabajo como científico sería interesante	20.8	54.2	16.7	4.2	0.0	10.5	63.2	26.3	0.0	0.0
No me gustaría convertirme en científico porque requiere estudiar mucho tiempo	8.3	8.3	25.0	54.2	0.0	0.0	21.1	47.4	21.1	10.5
Me gustaría ser un científico cuando termine la escuela	8.3	20.8	33.3	20.8	12.5	5.3	21.1	47.4	15.8	10.5

Tabla 6.2*Porcentajes de respuesta por pregunta para la dimensión E, para pre y post test*

Dimensión E. Motivación en las clases de ciencias										
	Pre Test					Post Test				
Pregunta	TA	DA	NS	ED	TD	TA	DA	NS	ED	TD
Las clases de ciencia son divertidas	33.3	41.7	25.0	0.0	0.0	31.6	42.1	21.1	5.3	0.0
No me gustan las clases de ciencia	0.0	8.3	12.5	45.8	33.3	0.0	5.3	31.6	26.3	36.8
La escuela debería tener más horas a la semana para las clases de ciencias	12.5	25.0	41.7	20.8	0.0	5.3	15.8	57.9	21.1	0.0
Las clases de ciencias me aburren	4.2	16.7	12.5	45.8	20.8	0.0	21.1	15.8	26.3	36.8
Ciencias es una de las materias más interesantes de la escuela	25.0	45.8	29.2	0.0	0.0	21.1	36.8	21.1	15.8	5.3
Las clases de ciencia son una pérdida de tiempo	0.0	0.0	20.8	33.3	45.8	0.0	0.0	26.3	21.1	52.6
Disfruto en verdad ir a las clases de ciencia	25.0	45.8	25.0	4.2	0.0	15.8	52.6	15.8	15.8	0.0
El material que se cubre en las clases de ciencia no es interesante	0.0	4.2	16.7	54.2	25.0	0.0	5.3	52.6	10.5	31.6
Espero con ansia cada clase de ciencia	8.3	25.0	54.2	8.3	0.0	10.5	26.3	31.6	26.3	5.3
Disfrutaría más de la escuela si no hubiera clases de ciencias	0.0	4.2	29.2	16.7	45.8	0.0	21.1	15.8	31.6	31.6

Tabla 6.3*Porcentajes de respuesta por pregunta para la dimensión I, para pre y post test*

Dimensión I. Actitudes hacia la indagación científica										
Pregunta	Pre Test					Post Test				
	TA	DA	NS	ED	TD	TA	DA	NS	ED	TD
Prefiero descubrir por qué ocurre algo haciendo un experimento en lugar de que me lo digan	41.7	37.5	12.5	8.3	0.0	21.1	47.4	26.3	0.0	5.3
Es mejor obtener información del profesor que hacer experimentos	0.0	25.0	33.3	33.3	4.2	5.3	15.8	47.4	31.6	0.0
Prefiero hacer experimentos que leer sobre ellos	33.3	54.2	12.5	0.0	0.0	36.8	42.1	15.8	0.0	5.3
Prefiero estar de acuerdo con los demás en lugar de hacer un experimento para descubrir algo por mi mismo	4.2	16.7	16.7	41.7	16.7	5.3	15.8	47.4	26.3	5.3
Prefiero hacer mis propios experimentos que obtener información del profesor	8.3	41.7	37.5	8.3	4.2	0.0	26.3	63.2	10.5	0.0
Prefiero preguntarle a un experto cuando quiero descubrir algo en lugar de hacer un experimento	0.0	33.3	45.8	12.5	8.3	5.3	42.1	42.1	10.5	0.0
Prefiero resolver un problema haciendo un experimento a que me digan la respuesta	16.7	54.2	16.7	12.5	0.0	21.1	57.9	15.8	5.3	0.0
Es mejor preguntarle al profesor la respuesta que buscarla realizando experimentos	0.0	8.3	41.7	37.5	12.5	5.3	26.3	31.6	36.8	0.0
Prefiero hacer un experimento sobre un tema que leer sobre él en revistas de ciencia	20.8	41.7	20.8	12.5	0.0	47.4	21.1	26.3	5.3	0.0
Es mejor que me digan hechos científicos que descubrirlos por medio de experimentos	4.2	16.7	29.2	45.8	0.0	0.0	26.3	52.6	21.1	0.0

Norman (2010) considera que es posible hacer uso de pruebas estadísticas paramétricas, particularmente el uso de correlaciones lineales. En el caso de la prueba t, las suposiciones sobre la normalidad no ocurren sobre la distribución original, sino sobre la distribución de las medias, cuya normalidad está asegurada por el Teorema del Límite Central para tamaños de muestra mayores a 5 o 10. En el caso de las correlaciones, se acepta que las distribuciones para una muestra dada por una escala de Likert no son necesariamente normales, sin embargo, Norman (2010) encuentra que las diferencias entre las correlaciones calculadas con el coeficiente de Pearson y el coeficiente de Spearman se encuentran en un intervalo de 0.004 de diferencia, para escalas de 4 puntos. En ese sentido, se refiere a estos resultados como una muestra de la *robustez* del método en su capacidad para analizar muestras que no cumplen con los supuestos del método.

Considerando lo anterior, se calcularon los valores de la prueba t usando la fórmula T.TEST de las Hojas de Cálculo de Google, considerando $\alpha = 0.05$. Los valores de las diferencias obtenidos y el valor de la prueba t se muestran la tabla 6.4.

Tabla 6.4

Prueba t para la diferencia entre las medias post y pre test, para las tres dimensiones del cuestionario aplicado.

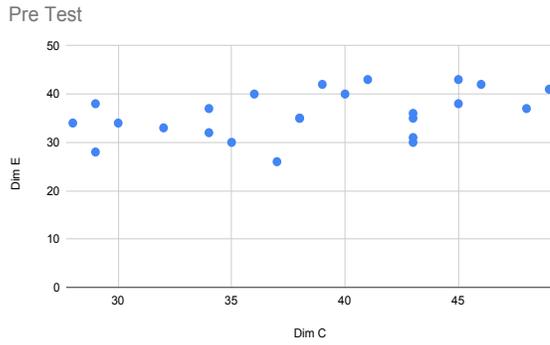
Dimensión	Diferencia	Prueba t
E	0.96	0.655
C	-4.86	0.029
I	1.07	0.520

A partir de los resultados anteriores, se exploró el comportamiento que presentan los puntajes de cada dimensión entre sí, separando por etapas (pre y post), con el objetivo de hallar correlaciones derivadas de la aplicación de la estrategia. De este modo, se calculó el coeficiente de correlación lineal de Pearson para las diferentes dimensiones en pre y post test, los cuales se muestran en las tablas 6.5 y 6.6. Las gráficas de dispersión para cada conjunto de datos se encuentran en la figura 6.1.

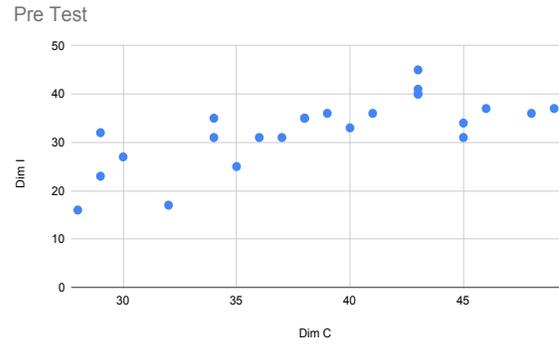
El análisis cuantitativo de los resultados arroja que la estrategia didáctica planteada no logró crear un cambio actitudinal favorable hacia la ciencia. Por un lado, los cambios positivos que

Figura 6.1

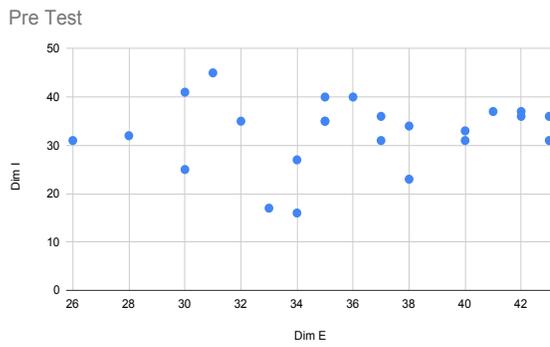
Gráficas de dispersión para cada par de dimensiones, las cuales se indican en cada caso.



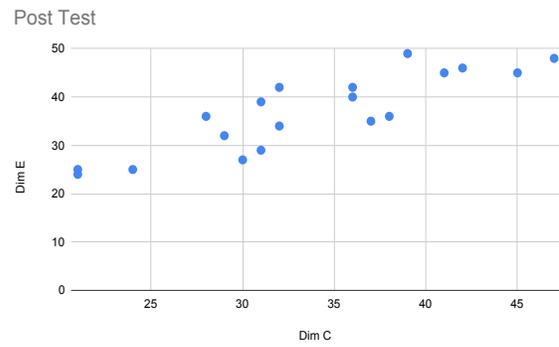
(a) Dims E y C. Pre



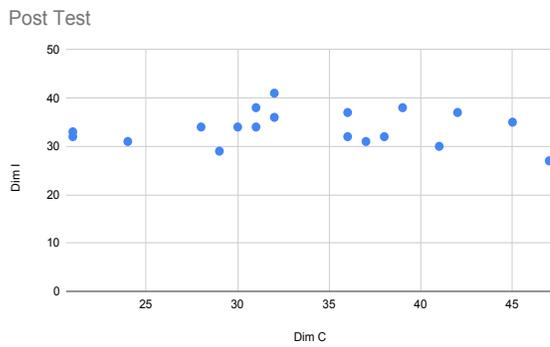
(b) Dims I y C. Pre



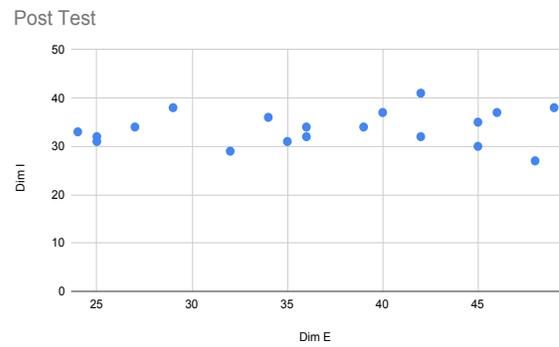
(c) Dims I y E. Pre



(d) Dims E y C. Post



(e) Dims I y C. Post



(f) Dims I y E. Post

Tabla 6.5

Coefficientes de correlación de Pearson para las diferentes dimensiones del cuestionario, en pre test.

Coeficientes de Pearson. Pre Test		
Dims	R	R^2
Dims C y E	0.424	0.179
Dims C e I	0.721	0.519
Dims E e I	0.373	0.139

Tabla 6.6

Coefficientes de correlación de Pearson para las diferentes dimensiones en post test.

Coeficientes de Pearson. Post Test		
Dims	R	R^2
Dims C y E	0.872	0.760
Dims C e I	-0.035	0.001
Dims E e I	0.145	0.021

se observaron en los puntajes de las dimensiones I (actitudes hacia la indagación científica) y E (motivación en las clases de ciencias) no son significativos. Por otro lado, la diferencia negativa en el puntaje de la dimensión C (interés por estudiar una carrera en ciencias), de -4.86 puntos sí es significativa. Dicho resultado es contrario a lo esperado, en tanto de no haber un cambio significativo en las dimensiones I y E tampoco habría cambio en la elección de carrera. Asimismo, se observó un cambio en las correlaciones entre las diferentes dimensiones. Este es el caso de las dimensiones C e I, que pasaron de estar correlacionadas en el pre test a mostrar poca correlación, y el de las dimensiones C y E, que pasaron de no estar correlacionadas antes de la aplicación a presentar una correlación significativa después de la aplicación. En contraste, las dimensiones E e I no mostraron correlación en ambos casos. Estos cambios no pueden considerarse como indicativos de que la estrategia modificó el interés por estudiar una carrera científica, enfocada en modificar las dimensiones I y E, en tanto no hubo cambios significativos en dichas dimensiones.

En la siguiente sección se muestra el desarrollo de un análisis cualitativo para la reflexión final realizada por los estudiantes, con el objetivo de entender las relaciones entre sus actitudes científicas, actitudes hacia la ciencia, satisfacción con las actividades, motivación en las clases y el desarrollo de un interés personal emergente o bien desarrollado. Con ello, se busca generar propuestas de mejora, en tanto arroja luz sobre la percepción de los estudiantes sobre la indagación, la argumentación, el conocimiento científico y la radiación electromagnética como fenómeno físico.

6.2. Análisis cualitativo

De forma complementaria al análisis de la prueba TOSRA, en esta sección se presenta un análisis cualitativo del cuestionario final, el cual forma parte de las actividades planteadas dentro del Modelo de Indagación por Argumentación, así como una valoración general de conductas observadas a lo largo de la elaboración de las actividades de argumentación, elaboración de reportes y revisión. Para ello, se crearon categorías para clasificar las respuestas proporcionadas. Dichas categorías se corresponden con actitudes científicas, como la indagación y la argumentación, con actitudes hacia la ciencia, tales como el disfrute hacia la actividad, el interés por estudiar una carrera científica, expresado como respuestas sobre significado de la actividad en conexión con otros contextos (futuro académico o fuera del aula), así como la motivación hacia las clases de ciencia, expresada como deseos de repetir la actividad o valoraciones sobre actividades específicas, como la evaluación por pares.

El cuestionario final consiste en 6 preguntas, con las cuales los estudiantes realizan un ejercicio metacognitivo sobre su experiencia en la secuencia didáctica. A continuación se presentan las categorías elaboradas para cada pregunta, junto al porcentaje de estudiantes correspondientes, así como una discusión sobre la relación entre las I/M/A hacia la ciencia de los estudiantes, las categorías usadas y sus respuestas. El total de estudiantes que respondieron el cuestionario final es de 23 estudiantes.

Primera pregunta. *¿Qué aprendieron? ¿Consideran útil lo que aprendieron?*

La primera pregunta de la reflexión final es *¿Qué aprendieron? ¿Consideran útil lo que aprendieron?* Para clasificar las respuestas de los estudiantes se elaboraron dos categorías,

respondiendo, por un lado, a las descripciones que realizaban sobre el contenido presentado en la secuencia didáctica, y por otro lado, a los contextos en los cuales consideran que dichos aprendizajes les son útiles o consideran que pueden usar los conocimientos aprendidos. La primera categoría, presentada en la tabla 6.7, clasifica de manera ascendente la cantidad de conceptos, ideas o procesos, presentados durante la secuencia didáctica, que los estudiantes usan para elaborar su respuesta. En un primer nivel se encuentran las respuestas que enuncian los objetivos de la secuencia o describen alguna de las actividades, sin vincular con algún aprendizaje específico (por ejemplo, *Incomunicar un dispositivo móvil mediante experimentos*). En un segundo nivel se encuentran las respuestas que ofrecen una explicación usando al menos una de las actividades realizadas (por ejemplo, *Cómo funcionan las ondas electromagnéticas al aislar un objeto que las use*). En un tercer nivel se encuentran las explicaciones que incorporan más de una observación (por ejemplo, *El aluminio es un conductor eléctrico y funciona como una barrera, existen diferentes tipos de ondas y formas para bloquearlas*).

Tabla 6.7

Categoría elaborada para clasificar las respuestas de los estudiantes a la pregunta ¿Qué aprendieron? ¿Consideran útil lo que aprendieron?

Aprendizajes	
Descripción	Porcentaje %
Describe algunos de los temas o de las actividades realizadas.	45.5
Describe algunos de los temas o de las actividades realizadas. Busca relacionar al menos uno de los temas o actividades con otros.	40.9
Describe algunos de los temas o de las actividades realizadas. Busca relacionar mas de uno los temas o actividades con otros.	13.6

La segunda categoría, que se muestra en la tabla 6.8, clasifica en cinco ámbitos los contextos donde los estudiantes consideran que los aprendizajes obtenidos les serán útiles. El primer ámbito corresponde a respuestas que no mencionan un contexto o utilidad, ya sea de forma implícita o explícita (por ejemplo, *Y no tengo idea sobre para que me pueda servir, pero puede que en algún momento sí*). El segundo ámbito corresponde a las respuestas que men-

cionan a la secuencia didáctica o la clase de Física (por ejemplo, *Siento que me puede servir para saber más sobre ondas y cómo funcionan*), mientras que el tercer ámbito considera respuestas que se limitan al contexto académico inmediato, como pueden ser otras clases de ciencia (por ejemplo, *Sirve para otras clases y tener una base para lo que sigue*). El cuarto ámbito considera las respuestas que mencionan como contexto la vida cotidiana o describen una situación específica que ocurre fuera del aula (por ejemplo, *También puedo entender por qué en ocasiones mi celular a veces no envía bien los mensajes, llamadas, etc. Me sirve para reforzar los temas que no entendía acerca de los fenómenos electromagnéticos y acerca de las ondas*). El quinto ámbito considera respuestas que explícitamente mencionan su utilidad en la carrera universitaria (por ejemplo, *Me sirve para entender temas de interés para mi acerca de la física y también retomados quizás en mi carrera universitaria*).

Tabla 6.8

Categoría elaborada para clasificar las respuestas de los estudiantes a la pregunta: ¿Qué aprendieron? ¿Consideran útil lo que aprendieron?

Utilidad	
Descripción	Porcentaje %
No describe, de forma explícita, un significado sobre las actividades realizadas o sobre los aprendizajes obtenidos. Asimismo, puede afirmar, de forma explícita o implícita, que no le es posible asignar un significado o valor específico.	54.5
En el contexto de la actividad y/o la clase de física	18.2
En el contexto de la actividad y otras clases.	4.5
En la vida cotidiana o en situaciones fuera del aula.	18.2
Para la carrera universitaria.	4.5

Segunda pregunta. *¿Cómo pueden mejorar su experimento?*

Las respuestas recibidas a la pregunta *¿Cómo pueden mejorar su experimento?* se clasificaron en 6 tipos. Una clasificación corresponde a las respuestas que no describen mejoras (por ejemplo, *Nada, salió todo según lo planeado*). Las restantes categorías retoman elementos presentes en las respuestas, en tanto algunas sugieren más de una propuesta o que deben realizarse de manera conjunta, las cuales corresponden a: realizar una investigación previa o posterior, la cual, cuando no se hace explícito, se considera de tipo documental (por ejemplo, *Informarnos más del tema*); mejorar su interpretación de los datos obtenidos en su actividad experimental o su forma de argumentar (por ejemplo, *[...] en la práctica mejorar los argumentos*); formar parte de secuencias didácticas parecidas (por ejemplo, *Haciendo más actividades como estas y aunado a lo aprendido*); modificar los materiales usados o los instrumentos utilizados (por ejemplo, *Con más materiales y más variado*); modificar la escritura del reporte (por ejemplo, *Investigar cuáles son las partes del reporte para así realizarlo de manera correcta.*).

Tabla 6.9

Categoría elaborada para clasificar las respuestas de los estudiantes a la pregunta ¿Cómo pueden mejorar su experimento?

Mejoras	
Descripción	Porcentaje %
No describe posibles mejoras.	9.1
Investigación documental.	54.5
Interpretación de los datos y elaboración de los argumentos.	27.3
Realizar actividades similares.	13.6
Modificación de algunas partes de su metodología (nuevos materiales o instrumentos)	27.3
Escritura del reporte	18.2

Tercera pregunta. *¿Qué funcionó y qué no funcionó de sus propuestas de experimento?*

Para la tercera pregunta se consideró una escala progresiva de tres niveles, la cual se muestra en la tabla 6.10. En el primer nivel se consideran las explicaciones que no hacen explícitas

dificultades o mejoras, así como respuestas no válidas. La segunda categoría incluye respuestas que mencionan dificultades u observaciones. La tercera categoría incluye respuestas donde se articulan las dificultades o las observaciones mencionadas para crear una justificación sobre las decisiones tomadas al elaborar la explicación sobre el fenómeno (por ejemplo, *El aluminio funciona como una barrera que no permite el paso de las ondas mientras que el lapicero con agujeritos dejaba pasar las ondas.*). Cabe destacar que no todas las explicaciones hacen un uso apropiado de términos como conductividad eléctrica o de conceptos como la propagación de ondas.

Tabla 6.10

Categoría elaborada para clasificar las respuestas de los estudiantes a la pregunta ¿Qué funcionó y qué no funcionó de sus propuestas de experimento?

Dificultades	
Descripción	Porcentaje %
No describe dificultades o mejoras.	54.5
Describe modificaciones realizadas a sus experimentos o las dificultades halladas.	36.4
Describe modificaciones realizadas a sus experimentos o las dificultades halladas. Justifica los cambios realizados usando sus observaciones.	9.1

Cuarta pregunta. *¿Cómo diseñarías un experimento para otro tipo de ondas electromagnéticas?* En esta pregunta algunos estudiantes respondieron con propuestas sobre otros fenómenos ondulatorios, por lo que sus respuestas, así como aquellas en blanco, fueron descartadas. Se consideraron dos tipos de propuesta, las que mencionan un fenómeno y las que proponen una metodología o el tipo de observaciones que se deben llevar a cabo. Los resultados de dicha clasificación se muestran en la tabla 6.11.

Tabla 6.11

Categoría elaborada para clasificar las respuestas de los estudiantes a la pregunta ¿Cómo diseñarías un experimento para otro tipo de ondas electromagnéticas?

Indagación	
Descripción	Porcentaje
No describe una propuesta.	36.4
Menciona un mecanismo o un fenómeno particular a investigar.	36.4
Menciona un mecanismo o un fenómeno particular. Propone una metodología u observaciones a realizar.	27.3

Quinta pregunta. *Considerando tu experiencia en esta actividad, responde ¿qué es el conocimiento científico?* En esta pregunta se consideraron dos categorías, por un lado, una consistente en describir los contextos sociales en los cuales los estudiantes sitúan su respuesta, como son la escuela o la sociedad. El resultado se muestra en la tabla 6.12. Por otro lado, se creó una categoría usando diferentes adjetivos presentes en las respuestas y se añadieron otros para describir las frases o ideas usadas por los estudiantes. El resultado se muestra en la tabla 6.13. Dado que las respuestas contienen más de un adjetivo para describir al conocimiento científico, la suma de los porcentajes no corresponde al 100 %.

Sexta pregunta. *¿Por qué se revisaron los reportes sin conocer el nombre del autor(a)?* Siguiendo la misma metodología de la pregunta anterior, se identificaron adjetivos comunes en las respuestas y se usaron otros para describir frases o ideas presentes en las respuestas. Por ello, la suma de los porcentajes es mayor al 100 %. El resultado se muestra en la tabla 6.14.

Tabla 6.12

Categoría elaborada para clasificar las respuestas de los estudiantes a la pregunta: Considerando tu experiencia en esta actividad, responde ¿qué es el conocimiento científico?

Relevancia del conocimiento científico	
Descripción	Porcentaje %
Es relevante para los científicos	9.1
Es relevante en la escuela	4.5
Es relevante para la sociedad	13.6
No menciona un contexto específico	68.2
No contestó	4.5

Tabla 6.13

Categoría elaborada para clasificar las respuestas de los estudiantes a la pregunta: Considerando tu experiencia en esta actividad, responde ¿qué es el conocimiento científico?

Percepción sobre el conocimiento científico	
Descripción	Porcentaje
Objetivo	9.1
Verificable	22.7
Experimental	50.0
Útil	13.6
Explicativo	4.5
Recopilativo	22.7
Hechos	22.7
Argumentativo	13.6
Comprobable	31.8
Desmentible	9.1
Teórico	22.7

Tabla 6.14

Categoría elaborada para clasificar las respuestas de los estudiantes a la pregunta: ¿Por qué se revisaron los reportes sin conocer el nombre del autor(a)?

Percepción de la evaluación por pares	
Descripción	Porcentaje %
Objetiva	40.9
Justa	36.4
No genera conflictos	18.2
Fomenta el intercambio de ideas	18.2
No respondió	18.2

6.3. Discusión

En esta sección se discuten las relaciones entre cada una de las componentes de las I/M/A medidas en el cuestionario de TOSRA y las categorías elaboradas en el análisis cualitativo de la reflexión final. Las categorías usadas para describir las respuestas de los estudiantes obedecen a la forma en que expresan sus I/M/A al momento de terminar la secuencia didáctica.

Actitudes hacia la ciencia y actitudes científicas

La secuencia didáctica tiene por objetivo desarrollar la indagación por medio de la argumentación, ambas consideradas como actitudes científicas. Sin embargo, lo que arrojó el análisis cuantitativo de la dimensión I (sobre actitudes hacia la indagación) del cuestionario es que no hubo un cambio significativo en dicha dimensión luego de participar en la actividad, además de que sus respuestas en esta dimensión no parecen estar relacionadas con las otras dimensiones, de acuerdo con el análisis de correlación.

Ahora bien, en la reflexión final todas las preguntas permiten a los estudiantes expresar, con mayor o menor extensión, la forma en que podrían adoptar estas actitudes. Del mismo modo, en cada pregunta los estudiantes expresan sus actitudes hacia la ciencia, como son la satisfacción en general con la actividad, la opinión que tienen sobre hacer ciencia en el aula y el conocimiento científico, así como sobre la evaluación por pares, la cual se presentó durante

la actividad como un aspecto fundamental del trabajo científico. Al asignarles un porcentaje a las respuestas que están dentro de estas categorías es posible determinar la proporción de estudiantes que han desarrollado diferentes niveles de actitudes científicas o actitudes positivas hacia la ciencia, ya sea como parte de la actividad o por su formación previa.

En la primera pregunta de la reflexión final existen dos cuestionamientos, uno sobre sus aprendizajes y otro sobre su utilidad. Lo que se observa en la tabla 6.8 es que más de la mitad de los estudiantes (54.5 %) no señalaron o no pudieron señalar algún contexto en el cual puedan aplicar los aprendizajes de la actividad. En contraste, 45.5 % valoran en algún contexto los aprendizajes que obtuvieron, de los cuales, 27.3 % considera contextos fuera de la actividad. El que la mayor parte de los estudiantes no indique la utilidad de lo aprendido puede deberse al tipo de aprendizajes que señalan haber obtenido. En la tabla 6.7 se observa que solo un 13 % relaciona las diferentes actividades con uno o más aprendizajes. De este modo, las actividades mencionadas representan para los estudiantes lo que aprendieron. Es importante mencionar que ninguna respuesta menciona las actividades de argumentación, de forma implícita o explícita.

En las preguntas dos, tres y cuatro, los estudiantes reflexionan sobre diferentes aspectos de sus habilidades de indagación, su interés en aprender a indagar y sus actitudes hacia la indagación. Particularmente la forma en que pueden mejorar su trabajo, las dificultades con las que se encontraron y la forma en que podrían extender el fenómeno de la Jaula de Faraday a otras frecuencias del espectro electromagnético. En el aspecto de mejoras, que se muestra en la tabla 6.9, 27.3 % considera que reinterpretar sus datos y reelaborar sus argumentos les ayudaría a mejorar su trabajo, mientras que 13 % considera que repetir el experimento o realizar actividades similares les sería útil. Sólo el 9.1 % no indicó mejoras, lo que implica que la mayoría de los estudiantes consideran que argumentar e indagar son formas válidas de obtener conocimiento científico. Una de las mejoras que más estudiantes sugirieron, con 54.5 % de las respuestas que lo mencionan, es llevar a cabo investigación documental, sin embargo, el sentido en el que sugieren llevar a cabo esta actividad, así como los momentos en los que se debe llevar a cabo, o quienes deben promoverla, difiere. Algunas respuestas sugieren que debe ser el profesor quien al inicio de la actividad otorgue oportunidades de realizar una búsqueda documental, mientras que otros sugieren que debieron llevarla a cabo

para elaborar su informe o antes de presentar sus avances. Esto sugiere como mejora para la secuencia didáctica el promover la investigación documental, en cada uno de los momentos mencionados.

Respecto a las dificultades, mostradas en la tabla 6.10, el 40.9 % describen dificultades que tuvieron para realizar sus experimentos, sin embargo, el resto omitió responder, no describe dificultades, y en algunos casos afirman que *todo salió de acuerdo a lo planeado*. Una posible explicación a este tipo de respuestas es que la pregunta de investigación no cumplió con sus expectativas sobre lo que sería desafiante. Por otro lado, en la tabla 6.11, 63.6 % señala algún fenómeno específico o una metodología para investigar, lo que indica que están interesados en indagar otros fenómenos relacionados con las ondas electromagnéticas.

En las preguntas 5 y 6, como puede verse en las tablas 6.13 y 6.12 todas las respuestas válidas hacen descripciones en un sentido positivo, es decir, no hay respuestas que destaquen alguna cualidad como negativa. En el caso de la pregunta *¿Qué es el conocimiento científico?* destaca particularmente la caracterización de la ciencia como algo experimental (que consiste en o que se lleva a cabo por medio de experimentos), con el 50 % de las respuestas. A esto se suma la caracterización del conocimiento científico como algo verificable (22.7 %), argumentativo (13.6 %), desmentible (9.1 %) y teórico (que consiste en teorías o en elaborar teorías) con un 22.7 %, todas ellas, cualidades que se destacan en la secuencia didáctica. En contraste, descripciones que consideran al conocimiento científico como algo objetivo (9.1 %), comprobable (31.8 %), recopilativo (22.7 %) o como hechos (22.7 %), corresponden a una visión positivista de la ciencia, lo que se correspondería con una enseñanza tradicional de las ciencias. La evaluación por pares fue caracterizada principalmente como objetiva por el 40.9 %, seguida de justa 36.4 %, no conflictiva (que no genera conflictos entre los alumnos y el profesor) por el 18.2 %, que fomenta el intercambio de ideas por el 18.2 %, mientras que el 18.2 % no contestó. De dichas opciones, la apertura a la discusión de ideas y una ética sobre la presentación de resultados corresponderían a actitudes científicas, las cuales se verían reflejadas en la opinión de los estudiantes.

Ahora bien, las actitudes hacia la ciencia reflejadas en la reflexión final se identifican con el sentido con el cual se caracteriza la indagación, la argumentación, la ciencia y el conocimiento científico. De este modo, destaca que más de la mitad de los estudiantes (54.5 %) puedan

identificar como aprendizajes situaciones específicas, ya que reflejan una actitud favorable hacia la secuencia en general. Respecto a la caracterización de la ciencia que hicieron los estudiantes en la pregunta cinco, todas las descripciones fueron favorables, sin embargo, sólo un 13 % expresa de forma explícita que el conocimiento científico es útil, sin embargo, en la mayoría de las definiciones se evita mencionar la relevancia personal. Lo anterior corresponde a que el 27.3 % menciona en sus respuestas a la escuela, a los científicos o a la sociedad como ámbitos donde es relevante la construcción de conocimiento científico. Por otro lado, salvo el 18.2 % que no respondió, se tiene una opinión favorable de usar la evaluación por pares para evaluar los reportes.

En síntesis, de las opiniones expresadas por los estudiantes se puede deducir que la actividad fue favorable para incentivar sus habilidades de indagación y argumentación, por lo menos de manera momentánea. En ese sentido, sería deseable conocer en más momentos de su instrucción la forma en que estas actitudes les permiten o les impiden aprender, particularmente aquellas relacionadas con sus ideas previas sobre los fenómenos físicos implicados las situaciones de aprendizaje. Lo que sugieren las reflexiones sobre la naturaleza del conocimiento científico es que dichas actividades deben ocurrir tanto al inicio de la actividad como al final de ésta, de forma que los estudiantes puedan reflexionar sobre la forma en que han adoptado actitudes científicas y cuáles son sus actitudes hacia la ciencia.

Motivación hacia las clases de ciencia

En la primera pregunta se puede determinar, usando la categoría de utilidad (tabla 6.8) que menos de la mitad de las respuestas indican en que contextos consideran útiles sus aprendizajes, de los cuales el 18.2 % indica que le parece útil para la clase de Física. Es decir, que la secuencia fue lo suficientemente motivadora para considerar que una clase de Física de este tipo es interesante o divertida. Sólo un 4.5 % indicó que lo aprendido en la secuencia le es relevante para su carrera, lo que indica una motivación intrínseca para estudiar. En la última pregunta se observa que todas las respuestas obtenidas son favorables hacia la evaluación por pares. Las respuestas se pueden clasificar en dos tipos, sobre la calificación y sobre los objetivos de la evaluación. En el primer caso se encuentran las respuestas clasificadas como objetiva (40 %), justa (36.4 %) y que no generan conflictos (18.2 %), en tanto expresan la preocupación de los estudiantes sobre un posible mal resultado, una mala revisión y cómo

puede argumentarse a favor o en contra del veredicto del evaluador, lo que podría asociarse como un factor que incida sobre la ansiedad hacia la evaluación, por lo que se podría considerar que en este caso, la ansiedad hacia la evaluación sería menor en comparación con el de un reporte tradicional, lo cual puede incidir en una mayor motivación hacia las clases. Por otro lado, las respuestas que consideran que la evaluación por pares les permitió hallar errores, adquirir mayor conocimiento o información se agruparon como *fomenta el intercambio de ideas*, en tanto sus opiniones se enuncian en un sentido positivo. Ambas categorías muestran que la secuencia didáctica aplicada, particularmente la evaluación por pares, recibieron una respuesta favorable respecto a disminuir la ansiedad de los estudiantes sobre la evaluación, además de incidir en actitudes científicas como valorar el trabajo colaborativo y el intercambio de ideas, lo que puede favorecer la motivación en las clases.

Adicionalmente, las conclusiones de la investigación de Durik et al. (2015) sobre cuáles son las características del material educativo que mejoran la motivación intrínseca, de acuerdo con el nivel de interés inicial, sugieren que las características *llamativas* de la trivia usada como actividad de introducción, pueden ser determinantes para atraer a los estudiantes para llevar a cabo las actividades. Las imágenes usadas fueron llamativas para los estudiantes, lo cual fue corroborado a partir sus comentarios, recogidos al supervisar su trabajo de discusión, por lo cual, siguiendo dichas recomendaciones, sería importante añadir otras características como la posibilidad de expresar y discutir sus aspiraciones vocacionales y la inclusión explícita de la biografía de figuras históricas, con el objetivo de mejorar la motivación de los estudiantes que tienen diferentes niveles de interés.

Interés en estudiar carreras científicas

Dado que estudiar una carrera científica implica un compromiso constante con involucrarse en actividades como son leer sobre ciencia o realizar experimentos, particularmente cuando son llevadas a cabo por iniciativa del estudiante, se puede hablar de que existe cierto interés en estudiar una carrera científica, el cual, siguiendo el modelo de Cuatro Fases del desarrollo del Interés de Hidi y Renninger (2006), correspondería a un interés individual emergente o bien desarrollado (etapas tres y cuatro). En las respuestas a la reflexión final se puede determinar el interés por estudiar una carrera científica, de forma directa o indirecta, en el sentido de las respuestas a todas las preguntas. Usando las categorías establecidas para cada pregun-

ta, se pueden asociar, por un lado, aquellas respuestas que muestran actitudes positivas hacia la indagación y la argumentación, actitudes indagativas o de argumentación, así como aquellas que expresan abiertamente la existencia de una relación entre los aprendizajes obtenidos y la elección de carrera.

En la primera pregunta, la categoría sobre el contenido refleja que el 54.5 % de los estudiantes elaboró una respuesta con términos clave del electromagnetismo con las actividades realizadas. La acumulación de conocimiento les podría permitir entonces involucrarse en actividades similares dentro y fuera de la clase, particularmente para aquellos con respuestas más elaboradas (13.6 %). Sobre la utilidad de lo aprendido, es importante destacar que el 4.5 % de las respuestas menciona la importancia que puede tener en su carrera. Esto contrasta con el 54.5 % que no menciona un contexto específico, mientras que el 22.7 % menciona la escuela y otro 18.2 % que puede ser útil fuera de la escuela. En ambos casos, esto corresponde a un interés personal emergente, ya que se sugiere que lo aprendido puede ser un detonante para hacer ciencia o hablar de ciencia en un futuro.

En la segunda pregunta, salvo las respuestas que no sugieren mejoras (9.1 %), todas pueden considerarse como indicativos de un interés personal emergente en actividades de indagación o argumentación, particularmente cuando consideran que al realizar actividades similares (13.6 %) o realizar una investigación documental (54.5 %), previa o posterior, pueden mejorar sus observaciones. La pregunta tres muestra que más de la mitad, un 54.5 %, no consideran que hubo dificultades al realizar sus experimentos, creando una sensación de éxito. El sentido de estas respuestas, tales como *todo funcionó*, no reflejan una actitud indagatoria, lo que podría ser un indicativo de que consideran que no es necesario continuar explorando el fenómeno de la Jaula de Faraday, lo que constituye un indicativo de un interés situacional en la temática, no así la Física o la ciencia en general. Ahora bien, considerando las respuestas a la pregunta cuatro, sobre cómo llevarían a cabo un experimento con ondas electromagnéticas de diferentes características, el 27.3 % describen una metodología que implica verificar primero si lo que les funcionó en su experimento les podría funcionar, en contraste con 36.4 % que directamente aplicarían lo que ya se hizo con otros materiales. En lo que respecta al interés hacia estudiar una carrera, estos porcentajes son indicativos de que los estudiantes pueden obtener más perspectivas, tanto del funcionamiento de las ondas electromagnéticas

como de un desarrollo personal de actitudes científicas, si se les permite involucrarse en más actividades con otros fenómenos electromagnéticos.

Las preguntas cinco y seis reflejan que los estudiantes tienen una actitud favorable hacia la ciencia, particularmente hacia la indagación y la argumentación, sin embargo, el 68 % prefiere definir el conocimiento científico sin mencionar un contexto social específico, en contraste con quienes mencionan que es relevante para la escuela (4.5 %), la sociedad (13.6 %) o para los científicos (9.1 %). Del mismo modo, la percepción de los alumnos sobre la evaluación por pares es favorable, destacando que el 18.2 % considera que fomenta el intercambio de ideas, y por lo tanto, podrían involucrarse en actividades de argumentación científica con sus pares.

A pesar de lo anterior, de sus explicaciones no es posible determinar cuales son los aspectos de la actividad que incidieron en la disminución del interés registrada por el estudio cuantitativo, en tanto las preguntas no exploran cuáles son sus expectativas sobre la actividad, el tema discutido y sus consideraciones sobre la ciencia y los científicos, y la forma en que la secuencia didáctica cumplió o no con dichas expectativas. Un posible indicador es el que los estudiantes percibieran la actividad como poco desafiante en el aspecto cognitivo, pero difícil de entender por la forma en que se plantearon las actividades, lo que pudo interferir con sus expectativas sobre la ciencia en la escuela o la ciencia como camino vocacional.

En síntesis, para conocer el efecto de la estrategia en las I/M/A de los estudiantes se llevó a cabo el análisis sobre el puntaje obtenido por los estudiantes en tres secciones de la prueba TOSRA. Este análisis arrojó que el interés de los estudiantes para estudiar una carrera científica disminuyó luego de participar en la estrategia didáctica planteada, sin que se hubiesen presentado cambios significativos en la motivación hacia las clases y en sus actitudes científicas. Por ello, se llevó a cabo un análisis cualitativo sobre sus respuestas al final de la actividad. Ahora bien, en sus respuestas a esta reflexión final, los estudiantes manifiestan una actitud positiva hacia la ciencia, en tanto se expresan positivamente sobre: 1) la construcción y utilidad del conocimiento científico y en particular sobre el aprendizaje de las ondas electromagnéticas; 2) la indagación y la argumentación en las clases de ciencia, ambas consideradas actitudes científicas a desarrollar por medio de la estrategia aplicada; 3) el tipo de evaluación usado, particularmente sobre el uso de la evaluación por pares a doble ciego. Lo

anterior se suma a un involucramiento constante en las actividades planteadas, descrito en la narración de la estrategia. Todos los aspectos mencionados se consideran como factores que pueden ayudar a mejorar la motivación hacia las clases de ciencia.

Adicionalmente, algunas percepciones expresadas en la reflexión final, tales como que era necesario que los estudiantes pudieran *investigar más*, o que no son necesarias mejoras o que las dificultades al realizar la actividad fueron mínimas, permiten determinar posibles modificaciones para desarrollar un interés personal en la ciencia, tales como: 1) aumentar los espacios dentro de la actividad para llevar a cabo investigación documental; 2) aumentar las experiencias con otros fenómenos electromagnéticos; 3) discutir de manera más amplia la naturaleza del conocimiento científico, su relación con la sociedad y con su entorno personal. Este último aspecto es relevante ya que, a pesar de que la actividad hizo uso de materiales y tecnologías de uso cotidiano, sólo algunos estudiantes señalaron en sus respuestas la percepción que tienen sobre la relación de sus aprendizajes y con situaciones específicas en contextos fuera del aula, en su desarrollo personal o profesional futuro. Por ello, se sugiere incluir, particularmente al inicio de la secuencia, espacios donde de forma explícita se valore el conocimiento de los estudiantes con relación a su interés vocacional, de manera que puedan reflexionar sobre ellos al final de estrategia.

Capítulo 7

Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha planteado que la estrategia didáctica aplicada, desarrollada a partir del aprendizaje dirigido por la argumentación, permite crear espacios de aprendizaje favorables para el desarrollo de actitudes científicas y actitudes positivas hacia la ciencia, así como la motivación en las clases, lo que podría favorecer el interés en estudiar una carrera científica. Sin embargo, el análisis cuantitativo de las respuestas a la prueba TOSRA indican que esto no se logró, e inclusive, se registró una disminución en el interés para estudiar una carrera científica. A partir del análisis cualitativo de la reflexión final que realizaron los estudiantes se encontró que las I/M/A de los estudiantes son favorables, sin embargo, no fue posible determinar a partir de estas respuestas si la estrategia favoreció o disminuyó su interés en estudiar ciencia. Esto es consistente con los resultados reportados por la investigación en psicología educativa, donde los constructos interés, motivación y actitudes, están caracterizados por diferentes sentimientos, valores y conocimientos, los cuales cambian a diferentes tiempos y en diferentes direcciones de acuerdo al entorno, por ello la conclusión a la que se puede llegar a partir de ambos análisis es que una estrategia didáctica de corto plazo no es suficiente para lograr cambios significativos en las I/M/A de los estudiantes, considerando adicionalmente que es la primera vez que forman parte de este tipo de propuesta de aula.

Por otro lado, entre las diferentes limitantes de este trabajo se encuentra el que tanto las preguntas de TOSRA como las planteadas en la reflexión final no exploran con más detalle la relación entre lo que los estudiantes consideran qué es para ellos ser científico o científica y la construcción del conocimiento científico, es decir, sus ideas sobre estos conceptos. Por

ello, como parte de un trabajo futuro, habría de considerar ambos aspectos para establecer la relación entre una estrategia de indagación como la que fue aplicada. Entre otras mejoras que se pueden realizar al trabajo, se encuentran la discusión explícita de las intersecciones entre los posibles caminos vocacionales de los estudiantes con relación a los temas a tratar a lo largo de la estrategia. Entre las posibilidades sobre cómo lograrlo, se encuentra incorporar una serie de entrevistas o agregar preguntas abiertas al cuestionario de actitudes, así como complementar las notas (a través de un diario) del profesor sobre las observaciones, comentarios y situaciones a las que se enfrentan los estudiantes. Asimismo, se sugiere incorporar algunos de los elementos que fomentan las I/M/A, que son sugeridos por la literatura, los cuales no se incorporaron extensivamente en la estrategia, como son el uso de innovaciones diferenciadas sobre el material educativo para fomentar el interés, así como la presentación de modelos a seguir, ya sea por medio de biografías de científicos y científicas o por medio de la colaboración con algún investigador(a). En ambos casos, considerar diferentes escenarios podría ayudar a tener mejor aceptación por parte de un número mayor de estudiantes, particularmente quienes se encuentran en los extremos de su interés en seguir una carrera científica. Adicionalmente, una mejora importante, sugerida por las recomendaciones de los estudiantes es el énfasis adicional en la promoción de la investigación documental, lo que podría ayudar a mejorar la percepción de los alumnos sobre la dificultad del conocimiento presentado.

De este modo, y de acuerdo a esta experiencia, una estrategia de largo plazo debe considerar que las I/M/A se fomentan de forma cíclica, particularmente el interés y la motivación, por lo cual es importante que existan repetidas oportunidades para los estudiantes de regresar a diferentes aspectos del conocimiento científico por medio de las herramientas de indagación por argumentación, como son el planteamiento y evaluación de experimentos y metodologías para desarrollar conocimiento, la elaboración de explicaciones científicas y la evaluación por pares, ya sea a doble ciego o en las actividades de discusión. Para el caso de un curso regular de bachillerato, se pueden plantear secuencias como la implementada para diferentes temas de Física o de otras disciplinas, ampliando, pero no disminuyendo, los pasos de la secuencia o la profundidad con que los estudiantes pueden explorar los fenómenos y elaborar explicaciones. También puede introducirse la secuencia planteada como una alternativa a los proyectos

de final de unidad o de curso, fomentando así I/M/A positivas, remarcando que para desarrollar vocaciones científicas es necesario realizar no sólo una actividad de indagación, sino que debe formar parte de un conjunto de prácticas cotidianas en el aula.

Anexos

Anexo A

Cuestionario de Actitudes, motivación e indagación hacia la ciencia

Completa los siguientes datos:

Edad: _____

Sexo: Mujer Hombre

Responde a las siguientes preguntas con tu opinión sincera. No hay respuestas correctas o incorrectas. Por favor, lee atentamente cada pregunta y marca con una X la opción que mejor refleje tus sentimientos de acuerdo a la escala siguiente:

Totalmente de acuerdo (TA) De acuerdo (DA) No estoy segura/o (NS) En desacuerdo (ED)
Totalmente en desacuerdo (TD)

1. Prefiero descubrir porqué ocurre algo haciendo un experimento en lugar de que me lo digan
 TA DA NS ED TD
2. Las clases de ciencia son divertidas
 TA DA NS ED TD
3. No me gustaría ser científico cuando termine la escuela
 TA DA NS ED TD
4. Es mejor obtener información del profesor que hacer experimentos

TA DA NS ED TD

5. No me gustan las clases de ciencia

TA DA NS ED TD

6. Cuando termine la escuela me gustaría trabajar con gente que haga descubrimientos en ciencia

TA DA NS ED TD

7. Prefiero hacer experimentos que leer sobre ellos

TA DA NS ED TD

8. La escuela debería tener más horas a la semana para las clases de ciencias

TA DA NS ED TD

9. No me gustaría tener un trabajo en un laboratorio de ciencias cuando termine la escuela

TA DA NS ED TD

10. Prefiero estar de acuerdo con los demás en lugar de hacer un experimento para descubrir algo por mi mismo

TA DA NS ED TD

11. Las clases de ciencias me aburren

TA DA NS ED TD

12. Trabajar en un laboratorio de ciencias sería una forma interesante de ganarse la vida

TA DA NS ED TD

13. Prefiero hacer mis propios experimentos que obtener información del profesor

TA DA NS ED TD

14. Ciencias es una de las materias más interesantes de la escuela

TA DA NS ED TD

15. Una carrera en ciencia sería aburrida y sombría

TA DA NS ED TD

16. Prefiero preguntarle a un experto cuando quiero descubrir algo en lugar de hacer un experimento
 TA DA NS ED TD
17. Las clases de ciencia son una pérdida de tiempo
 TA DA NS ED TD
18. Me gustaría enseñar ciencia cuando termine la escuela
 TA DA NS ED TD
19. Prefiero resolver un problema haciendo un experimento a que me digan la respuesta
 TA DA NS ED TD
20. Disfruto en verdad ir a las clases de ciencia
 TA DA NS ED TD
21. Un trabajo como científico sería aburrido
 TA DA NS ED TD
22. Es mejor preguntarle al profesor la respuesta que buscarla realizando experimentos
 TA DA NS ED TD
23. El material que se cubre en las clases de ciencia no es interesante
 TA DA NS ED TD
24. Un trabajo como científico sería interesante
 TA DA NS ED TD
25. Prefiero hacer un experimento sobre un tema que leer sobre él en revistas de ciencia
 TA DA NS ED TD
26. Espero con ansia cada clase de ciencia
 TA DA NS ED TD
27. No me gustaría convertirme en científico porque requiere estudiar mucho tiempo
 TA DA NS ED TD

28. Es mejor que me digan hechos científicos que descubrirlos por medio de experimentos

TA DA NS ED TD

29. Disfrutaría más de la escuela si no hubiera clases de ciencias

TA DA NS ED TD

30. Me gustaría ser un científico cuando termine la escuela

TA DA NS ED TD

Anexo B

Materiales para la estrategia didáctica

B.1. Guía de actividades para el alumno

¿Por qué se pierde la señal?

Un dispositivo electrónico que cuenta con múltiples formas de telecomunicación es el teléfono celular. Puede conectarse a una red móvil, lo que permite usarlo para hacer llamadas, enviar mensajes de texto y conectarse a Internet. Asimismo, puede conectarse a un módem por medio de WiFi para acceder a Internet, del mismo modo que puede conectarse a otros dispositivos por medio de Bluetooth para compartir información (por ejemplo, música, órdenes, imágenes, etc.). Inclusive, un teléfono celular puede recibir la señal de las estaciones de radios locales. En principio, es posible hacer uso de estas cuatro tecnologías al mismo tiempo, aunque en ocasiones, aun cuando podríamos hacer uso de las mismas, no siempre es posible. ¿En qué circunstancias se pierde la señal de alguna de estas tecnologías? ¿Existirá una forma de dejar *incomunicado* un dispositivo que no implique apagarlo o dañarlo?

Lo que se describe a continuación son actividades que les permitirán proponer un método, el cual pondrán a prueba, posteriormente lo presentarán a sus compañeros y con los comentarios que reciban podrán elaborar un reporte, cuyos resultados finales se discutirán con todo el grupo. De este modo, en tres sesiones, podrán aprender sobre las ondas electromagnética de una forma parecida a cómo se lleva a cabo la investigación científica actual.

Primera sesión

1. **Trivia.** En equipos, respondan si en las siguientes imágenes está representada de alguna forma la radiación electromagnética. Usen la descripción de cada imagen para justificar su respuesta, es decir, respondan cuál es la característica que hace que los fenómenos o tecnologías presentadas están relacionadas con las ondas electromagnéticas. Adicionalmente, respondan a las siguientes preguntas:

- ¿Existen diferentes tipos de radiación? ¿Cuáles?
- ¿Las ondas electromagnéticas y la radiación electromagnética son lo mismo? ¿Por qué?
- ¿Podemos ver la radiación electromagnética? ¿Por qué?

Escriban sus respuestas en una hoja y entréguenla al profesor, colocando el nombre de los integrantes del equipo. Al final de la actividad se discutirán las respuestas con todo el grupo.

2. **Creación y puesta a prueba de la propuesta.** Con base a lo discutido con el grupo sobre las telecomunicaciones, escriban en equipo una propuesta de investigación. Dicha propuesta debe describir, de la forma más detallada posible, el método que se usará para determinar si es posible *incomunicar* un dispositivo que use alguna de las 4 tecnologías.

Escriban:

- Los materiales que se usarán, la forma en que se usarán. Para ello, usen diagramas o esquemas para ilustrar.
- Lo que se espera observar y la forma en que se van a registrar las observaciones. Las observaciones se registran de forma escrita o con fotografías y videos y deben corresponder a un tipo específico de comportamiento del fenómeno o experimento.

Coloquen en su propuesta el nombre de los miembros del equipo y entreguen al profesor para su revisión antes de comenzar a usar los materiales.

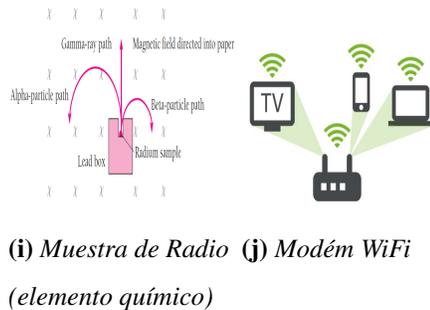
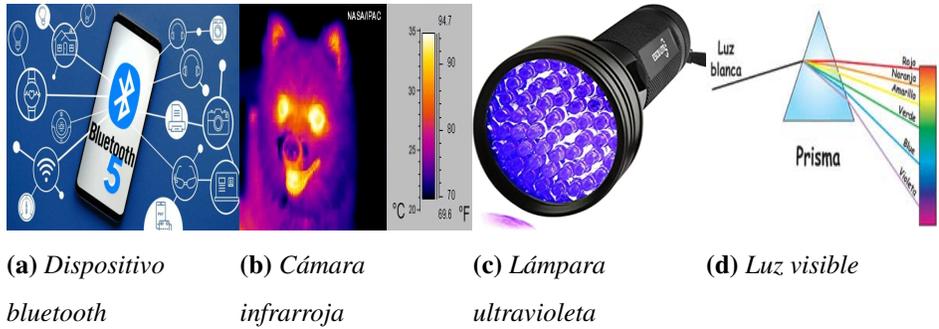


Figura B.1

¿Cuáles de las siguientes imágenes representan fenómenos o tecnologías que usen o produzcan ondas electromagnéticas?

3. **Creación de una explicación.** Una vez que hayan terminado con sus observaciones, elaboren en equipo un argumento para responder a la pregunta inicial. Es decir, deben responder si es posible *incomunicar* el dispositivo que eligieron. El argumento consiste de una explicación, la cual debe considerar la evidencia obtenida y debe contar con un razonamiento sobre dicha evidencia.

La explicación es la respuesta propiamente dicha, es decir, si es o no es posible *incomunicar* el dispositivo y por qué llegaron a dicha respuesta. En la explicación deben

hacer uso de la evidencia, la cual es el conjunto de datos que se obtuvieron, así como de las observaciones que llevaron a cabo. Para ello, usen los hechos que conocen y los que investigaron durante la creación de la propuesta. La evidencia se considera como tal, ya sea cuando los datos muestran una tendencia temporal, cuando se encuentra una diferencia entre grupos de datos u observaciones o una relación entre variables. Las observaciones deben ser acerca de la metodología empleada, de los arreglos diseñados y puestos a prueba que funcionan y los que no, así como el porqué el arreglo que usaron ayuda a elaborar un argumento o no. La parte del razonamiento incluye una reflexión que ilustre cómo la evidencia sustenta la afirmación, y el que la evidencia se pueda justificar.

Construyan el argumento en la cartulina que se proporcionará para ello. Entreguen su argumento al profesor y guarden una copia para ustedes ya que la siguiente sesión será presentada ante los demás equipos.

Finalmente, elijan la forma en que se presentará su respuesta, tomando en cuenta que lo harán desde su mesa en un tiempo no mayor a 10 minutos. Al menos un miembro del equipo presentará, en la siguiente sesión, su argumento, mientras que los demás miembros escucharán el argumento de los otros equipos. El objetivo es que todos en el equipo puedan conocer lo que los demás hicieron y cómo justifican ellos lo que hicieron.

Segunda sesión

1. En rondas de 10 minutos, presenten ante los representantes de los otros equipos el argumento que elaboraron la sesión pasada. Las rondas terminan cuando al menos un miembro de cada equipo ha escuchado las presentaciones de todos los demás equipos. Es decir, en cada equipo debe haber al menos un miembro que haya escuchado la explicación de al menos todos los equipos. Hagan anotaciones de lo que los demás equipos hicieron y pregunten sobre la forma en que se obtuvo la evidencia y cómo se elabora el razonamiento. Sus observaciones deben ser responder las preguntas: ¿qué hicieron? ¿cómo lo hicieron? y ¿qué encontraron Recuerden ser respetuosos con cada expositor y con los demás compañeros de la clase. Usen como guía, de manera individual y en

su cuaderno, la siguiente tabla para poder recorrer las exposiciones y registrar que hizo cada equipo.

Equipo	Observaciones
Número de equipo	¿Qué se hizo, cómo se hizo, qué se observó?

2. En equipo, sinteticen en una tabla, como la que usaron anteriormente de forma individual, los argumentos de los otros equipos y comparen el de su equipo. Analicen las coincidencias y diferencias, tanto en la forma en que se obtuvieron las evidencias y el argumento. Usando lo anterior, escriban si es posible elaborar otras conclusiones de la evidencia que obtuvieron. Entreguen al profesor tanto la tabla que hicieron en equipo como la comparación que elaboraron.
3. Usando la reflexión anterior, elaboren una nueva propuesta de investigación y lleven a cabo las actividades que hayan considerado deben llevar a cabo. Antes de comenzar, entreguen la nueva propuesta al profesor.
4. **Tarea.** De forma individual, escriban un reporte escrito, de dos cuartillas, el cual se responda a las siguientes preguntas: ¿Qué es lo que intentaron llevar a cabo y porqué? ¿Qué hicieron y porqué? ¿Cuál es su argumento? Coloquen la evidencia que recolectaron, ya sean datos en forma de tablas, gráficas, diagramas o fotografías del arreglo y la forma en que se obtuvieron. Pueden usar las preguntas para estructurar el trabajo. El reporte debe enviarse por correo al profesor antes de la siguiente sesión.

Tercera sesión

1. A cada equipo se le entregarán 4 reportes, elegidos al azar por el profesor (sin considerar los que hayan sido elaborados por miembros de su equipo), los cuales deberán revisar usando la **Rúbrica para la evaluación por pares**. Deberán entregar al profesor las rúbricas, en las cuales debe aparecer si el equipo aprueba el reporte o no. Las rúbricas se entregan al profesor, quien a su vez entregará las evaluaciones a los estudiantes correspondientes. Si el reporte no fue aprobado, se pide de tarea al autor/a que rehaga el reporte y lo entregue nuevamente por correo al profesor.

B.1.1. Rúbrica para la evaluación por pares

Responde si el/la autor(a):				
Criterios	No	Pocos	Algunos	Excelente
¿Introduce los fenómenos que se investigaron y el problema a resolver?				
¿Hizo explícitas la pregunta o las metas de la investigación?				
¿Explica por qué se llevo a cabo el trabajo y por qué es útil o necesario?				
Explica por qué tu grupo otorgó Pocos o No a algún criterio				
¿Describe cómo realizó su trabajo?				
¿Explica porqué el trabajo se realizó de esa forma?				
¿Usa términos apropiados para describir la naturaleza de la investigación, como son <i>experimento</i> , <i>observación sistemática</i> , <i>interpretación de datos existentes</i> ?				
Explica porqué tu grupo otorgó Pocos o No a algún criterio				
¿Incluyó una explicación bien articulada que provee una respuesta satisfactoria a la pregunta de investigación?				
¿Escribió una explicación coherente y sin contradicciones?				
¿Usó evidencia válida, como determinar tendencias temporales entre variables, mostrar diferencias entre grupos de observaciones o hallar la relación entre variables, para sustentar su explicación?				
¿Presentó la evidencia en forma apropiada, ya sea en tablas, diagramas o gráficas?				
¿Tiene suficiente evidencia para sustentar su explicación? Es decir, si usó más de una parte de la evidencia para desarrollar sus ideas.				

¿Presenta evidencia válida y confiable? Esto es, si usó métodos apropiados para obtener la evidencia o intentó reducir los errores al medir.				
¿Presentó una explicación que pueda abarcar toda la evidencia presentada?				
¿Presentó un razonamiento suficiente y apropiado? Por suficiente, se entiende que el/la autor/a explica porqué la evidencia se usó de cierta forma y porqué ayuda a sustentar la explicación, mientras que por apropiado se entiende que la explicación es racional e inteligible				
¿Presentó una explicación consistente con lo que otros grupos hallaron y con lo que se discutió en clase?				
¿Usa terminos clave, como por ejemplo, hipótesis, predicción, de forma correcta y no hace uso de frases inapropiadas como: <i>esto prueba que, es correcto, mi prueba es ?</i>				
Explica porqué tu grupo otorgó Pocos o No a algún criterio				
¿Expresa sus ideas claramente y le proporciona al lector una visión valiosa sobre lo que se investigó?				
¿Presentó un escrito que tiene un propósito y una estructura? Con propósito se entiende que el autor/a escribió pensando en comunicar una idea, descubrimiento o reflexión.				
¿Eligió las palabras adecuadas para que la escritura se sienta natural y precisa? Con natural, se entiende que la escritura no tiene oraciones cuyo sentido es difícil de entender, ya sea por ser rebuscado en su vocabulario o por el orden de la oración.				
¿Usó una gramática, puntuación, separación de párrafos y uso de mayúsculas apropiado?				
Explica porqué tu grupo otorgó Pocos o No a algún criterio				

Anexo C

Sobre la Jaula de Faraday

Para la elaboración de la estrategia aplicada, una de las principales preocupaciones consistió en desarrollar una actividad de recolección de datos que fuera experimental y no requiriera de equipo especializado. El fenómeno físico elegido es conocido como Jaula de Faraday, el cual se observa tanto en fenómenos electrostáticos como en ondas electromagnéticas y es común que realicen demostraciones del mismo en ferias de ciencia o museos. De acuerdo con Chapman et al. (2015) este fenómeno fue descrito por Michael Faraday en 1836, sin embargo, la ausencia de campo eléctrico dentro de una cubierta metálica ya había sido observada por Benjamin Franklin desde 1755. Diversos electrodomésticos se comportan como o han sido diseñados para contener jaulas de Faraday. Particularmente el uso actual, masivo, de las telecomunicaciones ha hecho que este fenómeno pueda observarse como una *pérdida* de la señal de radio, teléfono o Wi-Fi. Este aspecto de la Jaula de Faraday es el que se exploró en la estrategia didáctica.

Dicho lo anterior, se entiende que para su observación no se requiere de equipo o técnicas especializadas, en su lugar, es posible hacer uso de objetos cotidianos o caseros, por lo cual se concluyó que era posible para los estudiantes lograr a través de la reflexión con sus ideas previas la propuesta y construcción de una Jaula de Faraday con elementos caseros. A pesar de esta aparente sencillez, Chapman et al. (2015) señala que la Jaula de Faraday es un fenómeno poco estudiado desde una perspectiva formal, particularmente en su versión más utilizada en el desarrollo tecnológico, que corresponde a una malla metálica. A continuación se describen dos desarrollos matemáticos para los casos con un material metálico hueco

(French, 2011) y para el caso de una malla metálica (Chapman et al. 2015).

C.1. Caso con un conductor hueco

French (2011) describe en su trabajo la elaboración de una Jaula de Faraday usando materiales caseros, en el contexto de la enseñanza de las ondas electromagnéticas en el nivel universitario. De manera complementaria, elabora una explicación matemática para el caso de ondas planas. Para este trabajo de tesis, particularmente para la creación de la estrategia aplicada. Su propuesta de Jaula de Faraday casera consiste en usar latas de conserva y papel aluminio para bloquear la señal de un teléfono celular, ya sea combinando ambos materiales o usando sólo uno de ellos.

Respecto al modelo matemático, considera dos casos. En una primera aproximación, justifica el efecto de la jaula de Faraday analizando lo que ocurre cuando un conductor hueco se encuentra en un campo eléctrico estático. Así, siendo \mathbf{E} un campo eléctrico estático, entonces, sobre el conductor hueco se induce un campo eléctrico de la misma magnitud y opuesto en dirección al campo \mathbf{E} , debido al reacomodo de las cargas al interior del material. De este modo, dentro del conductor, el campo eléctrico es cero.

Para el segundo caso, French (2011) considera las ecuaciones para un sistema compuesto por una onda electromagnética plana que se mueve sobre un eje coordenado y un material conductor hueco. A continuación, se amplía dicho desarrollo al caso donde la onda plana se mueve en una dirección arbitraria definida por su vector de posición.

En el caso de las ondas electromagnéticas el campo eléctrico no es constante. Suponiendo que no hay cargas externas, las ecuaciones de Maxwell para un conductor sobre el que incide una onda electromagnética son

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 0 \quad (\text{C.1})$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (\text{C.2})$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (\text{C.3})$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mu_0 \sigma \mathbf{E} \quad (\text{C.4})$$

donde σ es la conductividad del material conductor.

Suponiendo que la onda viaja a lo largo de un plano infinito, cuyo vector normal es

$$\mathbf{k} = k_x \hat{x} + k_y \hat{y} + k_z \hat{z} \quad (\text{C.5})$$

donde x, y, z son las coordenadas de un plano cartesiano tridimensional, y la frecuencia de la onda se denota por ω , se tiene que la magnitud del campo eléctrico \mathbf{E} se puede representar por

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_0 \exp i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t) \quad (\text{C.6})$$

donde

$$\mathbf{r} = x \hat{x} + y \hat{y} + z \hat{z} \quad (\text{C.7})$$

es el vector de posición en coordenadas cartesianas e $i = \sqrt{-1}$ es el número imaginario unitario. De este modo, se tiene que

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \mathbf{E}_0 [-i\omega \exp i(\mathbf{k} \cdot \mathbf{r} - \omega t)] \quad (\text{C.8})$$

$$\frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = -i\omega \mathbf{E} \quad (\text{C.9})$$

Sustituyendo en la ecuación C.4, se tiene

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c^2} - i\omega \mathbf{E} + \mu_0 \sigma \mathbf{E} \quad (\text{C.10})$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \left(-\frac{i\omega}{c^2} + \mu_0 \sigma\right) \mathbf{E} \quad (\text{C.11})$$

Tomando la derivada temporal en ambos lados

$$\nabla \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \left(-\frac{i\omega}{c^2} + \mu_0 \sigma\right) \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad (\text{C.12})$$

Sustituyendo C.9 y C.3

$$-\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = \left(-\frac{i\omega}{c^2} + \mu_0 \sigma\right) - i\omega \mathbf{E} \quad (\text{C.13})$$

Dado que para un vector \mathbf{A} arbitrario se cumple

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} = \nabla (\nabla \cdot \mathbf{A}) - \nabla^2 \mathbf{A} \quad (\text{C.14})$$

y considerando que no hay cargas libres, se tiene que

$$\nabla^2 \mathbf{E} = -\left(\frac{\omega^2}{c^2} + i\omega\mu_0\sigma\right)\mathbf{E} \quad (\text{C.15})$$

Siendo

$$\nabla^2 \mathbf{E} = (\nabla^2 E_x, \nabla^2 E_y, \nabla^2 E_z) \quad \text{con} \quad (\text{C.16})$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

se tiene que

$$\nabla^2 \mathbf{E} = (-k^2 E_x, -k^2 E_y, -k^2 E_z) \quad (\text{C.17})$$

donde $k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2$.

Por lo tanto

$$\mathbf{k}^2 = \frac{\omega^2}{c^2} + i\omega\mu_0\sigma \quad (\text{C.18})$$

Suponiendo que en el conductor las cargas inducidas dominan sobre la corriente de desplazamiento, se tiene que

$$|k| = (i\omega\mu_0\sigma)^{1/2} \quad (\text{C.19})$$

Usando la identidad $i^{1/2} = \frac{1+i}{\sqrt{2}}$

$$|k| = \frac{1+i}{\delta} \quad (\text{C.20})$$

Donde

$$\delta = \left(\frac{2}{\mu_0\sigma\omega}\right)^{1/2} \quad (\text{C.21})$$

corresponde a la profundidad de penetración. Esta distancia se puede interpretar como el grosor del material conductor a partir del cual la magnitud de la onda electromagnética se atenúa de forma exponencial. Este es el resultado más importante de French (2011), quien señala que el fenómeno de la Jaula de Faraday se observará con mayor o menor intensidad en función de la frecuencia de la onda incidente, de la conductividad del material y del grosor del material, usando la ecuación C.21 para determinar el valor de δ en diferentes situaciones. En lo que concierne a la estrategia didáctica aplicada en este trabajo de tesis, este resultado permitió tomar la decisión de usar latas de diferentes tamaños, señalando a los estudiantes que observaran si había cambios en el fenómeno.

C.2. Caso de una malla metálica

Una de las formas más comunes de producir el fenómeno de la Jaula de Faraday es por medio del uso de una malla metálica, en lugar de usar una cubierta metálica. Chapman et al. (2015) justifican el estudio formal de este fenómeno en tanto consideran que no ha sido estudiado apropiadamente desde una perspectiva matemática rigurosa. Señalan que el único análisis disponible en la literatura corresponde al realizado por Feynman et al. (2011), sin embargo, en dicho desarrollo se simplifica demasiado el problema al considerar cargas puntuales, una malla compuesta por varillas de radio infinitesimal, así como una falta de discusión tanto del efecto de un campo externo como el de la longitud de onda. El principal resultado de este análisis es que el efecto de la Jaula de Faraday decae de forma exponencial con la distancia. Por ello, la propuesta de Chapman et al. (2015) consiste en analizar el caso de una jaula circular centrada en el origen del plano complejo, con n varillas de radio r , regularmente espaciadas, bajo la influencia de un campo electrostático generado por una partícula en el punto z_s . Se tiene entonces que el potencial en todo el espacio debe cumplir que

$$\begin{aligned}
 \nabla^2 \phi &= 0 \quad \text{fuera de la malla} \\
 \phi &= \phi_0 \quad \text{en la malla} \\
 \phi(z) &= \log(|z - z_s|) + O(1) \quad \text{para } z \rightarrow z_s \\
 \phi(z) &= \log(|z|) + o(1) \quad \text{para } z \rightarrow \infty
 \end{aligned}
 \tag{C.22}$$

donde ϕ_0 representa el valor del campo generado por la partícula puntual en la posición z_s . Resolviendo numéricamente C.22 para diferentes radios y diferente número de varillas para la malla, hallaron que el campo en el origen, que en ausencia de la malla correspondería a $1/2$,

$$|\nabla \phi(0)| \approx -\frac{2 \log r}{n|z_s|}
 \tag{C.23}$$

Sus simulaciones sugieren que este problema puede simplificarse por medio de un análisis homogeneizado, esto es, tal que el campo es cero sobre la frontera de la malla y además

cumple que

$$\begin{aligned}
\nabla^2\phi &= 0 \quad \text{fuera de la malla y sobre la malla} \\
\phi &= 0 \quad \text{sobre la frontera de la malla } \Gamma \\
\left[\frac{\partial\phi}{\partial\mathbf{n}}\right] &= \alpha(\phi - \phi_0) \quad \text{sobre la frontera de la malla } \Gamma \\
\alpha &= \frac{2\pi}{\epsilon \log \epsilon/2\pi r} \\
\epsilon &= \frac{|\Gamma|}{n} \quad |\Gamma| \text{ la longitud de arco de la frontera} \\
\phi(z) &= \log(|z - z_s|) + O(1) \quad \text{para } z \rightarrow z_s \\
\phi(z) &= \log(|z|) + o(1) \quad \text{para } z \rightarrow \infty
\end{aligned} \tag{C.24}$$

de forma que el campo dentro de la Jaula de Faraday es

$$|\nabla\phi(0)| = -\frac{1}{|z_s|} \frac{1}{1 + n/2 \log 1/rn} \tag{C.25}$$

A pesar de que este análisis corresponde al caso electrostático, Chapman et al. (2015) señalan que esto ayuda a complementar la discusión sobre el caso para ondas electromagnéticas, particularmente la dependencia inversamente lineal del espaciado entre las varillas de una jaula de Faraday, lo que explica que no siempre se pierda la señal de un teléfono celular dentro de un elevador o dentro de un microondas. Una primera aproximación al caso para ondas electromagnéticas correspondería a

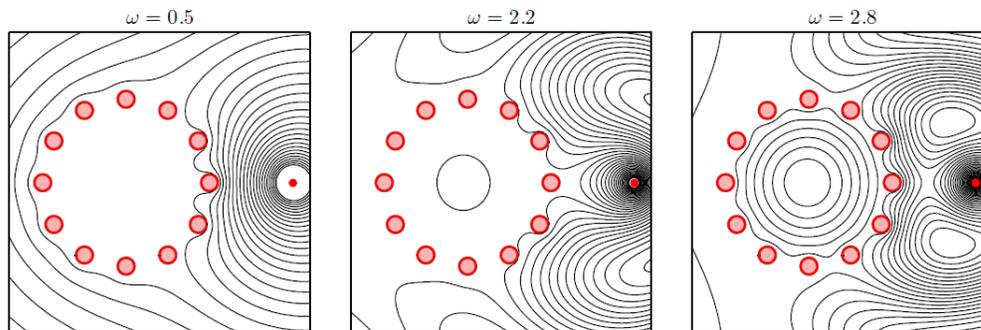
$$\begin{aligned}
\nabla^2\phi + \omega^2\phi &= 0 \\
\phi &= \phi_0 \quad \text{en las varillas de la malla} \\
\phi(z) &= \log(|z - z_s|) + O(1) \quad \text{para } z \rightarrow z_s \\
\phi(z) &= \log(|z|) + o(1) \quad \text{para } z \rightarrow \infty
\end{aligned} \tag{C.26}$$

Para el cual obtienen soluciones como las que se muestran en la figura C.1 Sin embargo, señalan que este modelo está muy simplificado y una solución más completa debe incluir la polarización de las ondas emitidas, la resistividad, el grosor del material de la jaula, la inducción electromagnética y efectos de resonancia.

Para los objetivos de este trabajo de tesis, los dos modelos presentados anteriormente son suficientes para guiar las explicaciones de los estudiantes, de manera que puedan reconocer

Figura C.1

Jaula de Faraday para una malla circular



Nota: Gráficas de las soluciones obtenidas por Chapman et al. (2015) al resolver las ecuaciones C.26 para distintas frecuencias. Se observa la resonancia para el caso $\omega = 2.8$.

que el aislamiento o la pérdida de señal de un dispositivo que usa una tecnología de telecomunicación depende de: 1) la geometría de cada arreglo, como es el caso de una jaula o un conductor hueco; 2) la conductividad de los materiales; 3) la distancia a la fuente; 4) de la tecnología usada, expresado en términos de la longitud de onda.

Referencias

- Abrams, E. (2005). Talking and Doing Science: Important Elements in a Teaching for Understanding Approach. En J. J. Mintzes, J. H. Wandersee & J. D. Novak (Eds.), *Teaching Science for Understanding* (pp. 307–323). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012498360-1/50013-1>
- Acevedo Díaz, J. A. (2004). El papel de las analogías en la creatividad de los científicos: la teoría del campo electromagnético de Maxwell como caso paradigmático de la historia de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencias*, 1(3), 188–205. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i2.03
- Alvarado Zamorano, C. (2014). La Enseñanza y el Aprendizaje de las Ciencias Experimentales en la Educación Media Superior de México. *Revista Do IMEAUNILA, de la Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA)*, 2(2), 60–75. <https://revistas.unila.edu.br/IMEA-UNILA/article/view/343/297>
- Alves Vizzotto, P., & Del Pino, J. C. (2020). Medida del nivel de alfabetización científica en alumnos recién ingresados y del último año de los cursos de física. *Revista de Enseñanza de la Física*, 32(1), 21–30. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/28932>
- Anderson, R. D. (2002). Reforming Science Teaching: What Research Says About Inquiry? *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.1023/A:1015171124982>
- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K., & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, but fun. Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching. *Science Education*, 88(5), 683–706. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.10141>

- Aydeniz, M., & Kotowski, M. R. (2014). Conceptual and Methodological Issues in the Measurement of Attitudes towards Science. *Electronic Journal of Science Education*, 18(3), 24.
- Bandura, A. (1999). Social cognitive theory: An agentic perspective. *Asian journal of social psychology*, 2(1), 21–41.
- Barrow, L. H. (2006). A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3), 265–278. <https://doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5>
- Blalock, C. L., Lichtenstein, M. J., Owen, S., Pruski, L., Marshall, C., & Toepperwein, M. (2008). In Pursuit of Validity: A comprehensive review of science attitude instruments 1935–2005. *International Journal of Science Education*, 30(7), 961–977. <https://doi.org/10.1080/09500690701344578>
- Bruner, C. A., & Acuña, L. (2006). La influencia de los enemigos de la ciencia en la preparatoria. *Revista Mexicana de Psicología*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=243020646004>
- Bryan, R. R., Glynn, S. M., & Kittleson, J. M. (2011). Motivation, achievement, and advanced placement intent of high school students learning science. *Science Education*, 95(6), 1049–1065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.20462>
- Bybee, R. W., Taylor, J. A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J. C., Westbrook, A., & Landes, N. (2006). *The BSCS 5E instructional model: Origins and effectiveness* (Reporte para Office of Science Education National Institutes of Health).
- Byun, T., & Lee, G. (2014). Why students still can't solve physics problems after solving over 2000 problems. *American Journal of Physics*, 82(9), 906–913. <https://doi.org/10.1119/1.4881606>
- Capa-Aydin, Y., Uzuntiryaki-Kondakci, E., & Ceylandag, R. (2018). The relationship between vicarious experience, social persuasion, physiological state, and chemistry self-efficacy: The role of mastery experience as a mediator. *Psychology in the Schools*, 55(10), 1224–1238. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pits.22201>
- Chapman, S. J., Hewett, D. P., & Trefethen, L. N. (2015). Mathematics of the Faraday cage. *Siam Review*, 57(3), 398–417.

- Couso Lagarón, D. (2015). De la moda de aprender indagando a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *XXVI Simposio Internacional de Didáctica de las Ciencias Sociales. Universidad de las Palmas de Gran Canarias, España*. http://www.uhu.es/26edce/actas/docs/conferencias/pdf/26ENCUENTRO%5C_DC%20E-ConferenciaPlenariaInaugural.pdf
- Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. En N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education, volume II* (pp. 529–556). Routledge.
- Defez, K., Solaz-Portolés, J. J., & López, V. S. (2021). Impacto de la motivación hacia el aprendizaje de las ciencias, del género, y de la formación académica en la educación secundaria, sobre la formulación de preguntas de investigación. *Revista Internacional de Pesquisa em Didática das Ciências e Matemática*, e021018–e021018.
- del Mazo Vivar, A. (2011). Microondas por chispa. Experimentos ópticos con microondas producidas con un equipo casero. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencias*, 8(Núm Extraordinario), 409–416. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2011.v8.iextra.06%20http://reuredc.uca.es
- Duckworth, A. L., & Seligman, M. E. P. (2017). The Science and Practice of Self-Control. *Perspectives on Psychological Science*, 12(5), 715–718. <https://doi.org/10.1177/1745691617690880>
- Durik, A. M., Hulleman, C. S., & Harackiewicz, J. M. (2015). One Size Fits Some: Instructional Enhancements to Promote Interest. En K. A. Renninger, M. Nieswandt & S. Hidi (Eds.), *Interest in Mathematics and Science Learning* (pp. 49–62). American Educational Research Association. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1s474j0.9>
- Duschl, R. A., & Grandy, R. E. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in the school science: framing the debates. En R. A. Duschl & R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry : recommendations for research and implementation*. (pp. 1–37). Sense Publishers.
- Emmanuele, E. S., & Cappelletti, A. (2001). *La vocación: Arqueología de un mito*. Lugar.

- Fakhriyah, F., Rusilowati, A., Wiyanto & Susilaningsih, E. (2021). Argument-Driven Inquiry Learning Model: A Systematic Review. *International Journal of Research in Education and Science*, 7(3), 767–784.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2011). The Electric Field in Various Circumstances (Continued). En *The Feynman lectures on physics. Vol. II*. https://www.feynmanlectures.caltech.edu/II_07.html
- Fives, H., Huebner, W., Birnbaum, A. S., & Nicolich, M. (2014). Developing a Measure of Scientific Literacy for Middle School Students. *Science Education*, 98(4), 549–580. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.21115>
- Fouad, N. A. (2007). Work and vocational psychology: theory, research, and applications. *Annual review of psychology*, 58, 543–564. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.58.110405.085713>
- French, M. M. J. (2011). A mobile phone Faraday cage. *Physics Education*, 46(3), 290–293. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/46/3/005>
- García-Ruiz, M., Peña, G., & Vázquez, A. (2009). Las actitudes de los estudiantes de bachillerato hacia la ciencia, la tecnología y la sociedad en relación con la responsabilidad social hacia la contaminación ambiental. *X Congreso Nacional de Investigación Educativa*.
- Garritz, A. (2010). Indagación: las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje. *Educación química*, 21(2), 106–110.
- Glynn, S. M., Bryan, R. R., Brickman, P., & Armstrong, N. (2015). Intrinsic Motivation, Self-Efficacy, and Interest in Science. En K. A. Renninger, M. Nieswandt & S. Hidi (Eds.), *Interest in Mathematics and Science Learning* (pp. 189–202). American Educational Research Association. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1s474j0.17>
- Glynn, S. M., Taasobshirazi, G., & Brickman, P. (2007). Nonscience majors learning science: A theoretical model of motivation. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(8), 1088–1107. <https://doi.org/10.1002/tea.20181>
- Glynn, S. M., Taasobshirazi, G., & Brickman, P. (2009). Science Motivation Questionnaire: Construct validation with nonscience majors. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(2), 127–146. <https://doi.org/10.1002/tea.20267>

- Gormally, C., Brickman, P., & Lutz, M. (2012). Developing a Test of Scientific Literacy Skills (TOSLS): Measuring Undergraduates' Evaluation of Scientific Information and Arguments [PMID: 23222832]. *CBE—Life Sciences Education*, *11*(4), 364–377. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-03-0026>
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The Four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, *41*(2), 111–127. https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4
- Hodson, D. (2008). *Towards Scientific Literacy*. Sense Publishers.
- Hodson, D. (2011). *Looking to the Future*. Sense Publishers. https://doi.org/10.1007/978-94-6091-472-0_1
- Jurado Cuéllar, S. E., Álvarez Torres, M. Á., & Hernández Nolasco, N. (2021). El bachillerato de la Ciudad de México: experiencias, retos y desafíos en el contexto interinstitucional actual. *Revista Mexicana de Bachillerato a Distancia*, *13*(25), 1–8. <http://dx.doi.org/10.22201/cuaieed.20074751e.2021.25.78874>
- Kaur, D., & Zhao, Y. (2017). Development of Physics Attitude Scale (PAS): An Instrument to Measure Students' Attitudes Toward Physics. *The Asia-Pacific Education Researcher*, *26*(5), 291–304. <https://doi.org/10.1007/s40299-017-0349-y>
- López Rolandi, N. E. (2017). Despertar de las vocaciones científicas, desafíos y oportunidades. *Revista Científica Estudios e Investigaciones*, *6*(1), 64–77. <https://doi.org/10.26885/rcei.6.1.64>
- Lupión-Cobos, T., Franco-Mariscal, A. J., & Girón-Gamero, J. R. (2019). Predictores de vocación en Ciencia y Tecnología en jóvenes: Estudio de casos sobre percepciones de alumnado de secundaria y la influencia de participar en experiencias educativas innovadoras. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencias*, *16*(3), 3102. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i3.3102
- Márquez Jiménez, A. (2017). A 15 años de PISA: resultados y polémicas. *Perfiles educativos*, *39*(156), 3–15. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982017000200003&lng=es&tlng=es
- Martínez Rizo, F. (2022). La enseñanza de cultura científica en la escuela ¿por qué falla?, ¿cómo mejorar?. *Revista Mexicana de Investigacion Educativa*, *27*(93), 629–646.

- Mendoza Ibañez, V. A., & Posadas Velázquez, Y. (2021). El proceso de revisión de los planes y programas de estudio en la ENCCH (1971-2018). *Eutopía. Revista del Colegio de Ciencias y Humanidades para el bachillerato*, (34), 5–13. <http://www.cch.unam.mx/comunicacion/eutopia>
- Murrieta Loyo, M. d. R., Griselda Reyes Cruz. (2019). Experiencias de desempeño y creencias de autoeficacia en profesores de lenguas extranjeras. *Sinéctica, Revista Electrónica de Educación*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99862718010>
- Nesselroade, K. P. J., & Grimm, L. G. (2019). *Statistical applications for the behavioral and social sciences*. Wiley.
- Norman, G. (2010). Likert scales, levels of measurement and the “laws” of statistics. *Advances in Health Sciences Education*, 15(5), 625–632. <https://doi.org/10.1007/s10459-010-9222-y>
- OECD. (2016). *PISA 2015 Results (Volume I)*. <https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264266490-en>
- OECD. (2019). *PISA 2018 Results (Volume I)*. <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/5f07c754-en>
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What Teachers of Science Need to Know about Models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109–1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>
- Opitz, A., Heene, M., & Fischer, F. (2017). Measuring scientific reasoning – a review of test instruments. *Educational Research and Evaluation*, 23(3-4), 78–101. <https://doi.org/10.1080/13803611.2017.1338586>
- Ornek, F., Robinson, W. R., & Haugan, M. P. (2008). What Makes Physics Difficult?. *International Journal of Environmental and Science Education*, 3(1), 30–34.
- Osborne, J., Simon, S., & Collins, S. (2003). Attitudes towards science: A review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049–1079. <https://doi.org/10.1080/0950069032000032199>
- Pelcastre Villafuerte, L., Gómez Serrato, A. R., & Zavala, G. (2015). Actitudes hacia la ciencia de estudiantes de educación preuniversitaria del centro de México. *Revista*

- Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 475–490. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.06
- Phillips, A. M., Watkins, J., & Hammer, D. (2018). Beyond “asking questions”: Problematizing as a disciplinary activity. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(7), 982–998. <https://doi.org/10.1002/tea.21477>
- Plotz, T. (2016). Students’ conceptions of radiation and what to do about them. *Physics Education*, 52(1), 014004. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/52/1/014004>
- Potvin, P., & Hasni, A. (2014a). Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: a systematic review of 12 years of educational research. *Studies in Science Education*, 50(1), 85–129. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.881626>
- Potvin, P., & Hasni, A. (2014b). Analysis of the Decline in Interest Towards School Science and Technology from Grades 5 Through 11. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 784–802. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9512-x>
- Rascovan, S. (2005). *Orientación vocacional: una perspectiva crítica*. Paidós.
- Reyes-Cárdenas, F., & Padilla, K. (2012). La indagación y la enseñanza de las ciencias. *Educación Química*, 23(4), 415–421.
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 286–299. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.01
- Sampson, V., & Gleim, L. (2009). Argument-driven inquiry to promote the understanding of important concepts and practices in biology. *The American Biology Teacher*, 71(8), 465–472.
- Schunk, D. H., & DiBenedetto, M. K. (2020). Motivation and social cognitive theory. *Contemporary Educational Psychology*, 60, 101832. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2019.101832>
- Shi, W.-Z. (2015). Utilizing History and Philosophy of Science (HPS) to Teach Physics: The Case of Electromagnetic theory. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(3), 551–557. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1329a>

- Sosa Reyes, A., Romo Guadarrama, G., & Suzuri Hernández, J. (2012). Diagnóstico del área de ciencias experimentales para la actualización del plan y los programas de estudio del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM. En Colegio de Ciencias y Humanidades (Ed.), *Proceso de Actualización del Plan y los Programas de Estudio*. UNAM. <https://www.cch.unam.mx/actualizacion/documentos>
- Stekolschik, G., Gallardo, S., & Draghi, C. (2007). La comunicación pública de la ciencia y su rol en el estímulo de la vocación científica. *Redes*, 12(25), 165–180.
- Su, R. (2020). The three faces of interests: An integrative review of interest research in vocational, organizational, and educational psychology. *Journal of Vocational Behavior*, 116, 103240. <https://doi.org/10.1016/j.jvb.2018.10.016>
- Trumper, R. (2006). Factors Affecting Junior High School Students' Interest in Physics. *Journal of Science Education and Technology*, 15(1), 47–58. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-0355-6>
- Turski, Ł. (2018). Teaching physics in XXI century. Why and how. *Journal of Physics: Conference Series*, 1076, 012001. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1076/1/012001>
- Tytler, R. (2014). Attitudes, identity, and aspirations toward science. En N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II* (pp. 96–117). Routledge.
- Vázquez Alonso, Á., & Manassero Mas, M. A. (2009). La vocación científica y tecnológica: predictores actitudinales significativos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencias*, 6(2), 213–231. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i2.03
- Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M.-A., & Acevedo-Díaz, J.-A. (2006). An analysis of complex multiple-choice science–technology–society items: Methodological development and preliminary results. *Science Education*, 90(4), 681–706. <https://doi.org/10.1002/sce.20134>
- Woolfolk, A. E. (2014). *Psicología educativa*. Pearson.
- Zorrilla Alcalá, J. F. (2016). *El bachillerato mexicano: un sistema académicamente precario. Causas y consecuencias*. IISUE. <https://www.iisue.unam.mx/publicaciones/>

libros/el-bachillerato-mexicano-un-sistema-academicamente-precario-causas-y-consecuencias