

FORMACIÓN DOCENTE EN CIENCIAS:
EXPERIENCIAS INNOVADORAS
CONTEXTUALIZADAS EN LA
PEDAGOGÍA EN **FÍSICA**
Y MATEMÁTICA

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

©Universidad de Santiago de Chile
©Teresita Selamé Saleh
©Bárbara Ossandón Buljevic
©Joaquim Barbé Farré
©Leonor Huerta Cancino
©Claudia Matus Zúñiga
©Danny Ahumada Vargas
©Manuel Núñez Bravo
©Evelyn Aguillón Santelices
©Pablo Gasc Navia
©María Soledad Saavedra Ulloa
©María Magdalena Aguilera Valdivia
©Nicolás Garrido Sánchez
©María Fernanda Serrano Maldonado
©Héctor Alarcón Rivera

I.S.B.N.: 978-956-416-180-8

Registro de Propiedad Intelectual: 2023-A-9641

Diagramación y diseño: SM Chile S.A.

Primera edición, agosto 2023

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida en manera alguna ni por ningún medio, ya sea eléctrico, químico o mecánico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo de la editorial.

Impreso en Chile

INTRODUCCIÓN 4

PARTE I

APRENDIZAJE DE LA FÍSICA Y LA MATEMÁTICA A TRAVÉS DE EXPERIENCIAS INNOVADORAS EN LA CARRERA DE PEDAGOGÍA EN FÍSICA Y MATEMÁTICA (PLEFM) 11

Joaquim Barbé: *Explorando la refracción de la luz: una propuesta kinestésica para su comprensión fenomenológica basada en el aprendizaje experiencial* 13

Leonor Huerta: *Laboratorios de Física en modo b-learning y dispositivos móviles* 61

Claudia Matus, Danny Ahumada, Evelyn Aguillón, Pablo Gasc, Manuel Núñez: *"De la sociedad al número": Propuesta de enseñanza de los números racionales utilizando aprendizaje situado en tres liceos vulnerables* 81

PARTE II

MINORS: CONTRIBUCIÓN A LA FORMACIÓN INICIAL DOCENTE DE LA CARRERA PLEFM 99

Héctor Alarcón: *Minors en una propuesta de formación semiflexible para atender necesidades profesionales de futuros y futuras docentes* 101

M. Soledad Saavedra: *Gestión de la convivencia escolar en pandemia y pospandemia. Experiencia destacable de estudiantes de Pedagogía en Física y Matemática en un colegio particular subvencionado en Santiago, Chile* 125

M. Magdalena Aguilera: *Pedagogía performática para la formación docente: prácticas de Física y Matemática con enfoque intercultural crítico* 143

Nicolás Garrido y M. Fernanda Serrano: *El aprendizaje de la astronomía escolar en una comunidad educativa rural* 165

La carrera de Pedagogía en Física y Matemática/Licenciatura en Educación de Física y Matemática (PLEFM) del Departamento de Física, Facultad de Ciencia, de la Universidad de Santiago de Chile (USACH) se ha propuesto difundir algunas experiencias de aprendizaje destacables, innovadoras y replicables que han emergido desde sus propios procesos pedagógicos asociados a la formación inicial de futuros y futuras docentes de Física y Matemática.

En el año 2019, Editorial USACH publicó el libro titulado ***Experiencias destacables de una comunidad de práctica de aprendizaje en la formación de profesores de Ciencia***. Participaron en esta publicación, en calidad de autores y autoras, los siguientes docentes de la carrera: M. Magdalena Aguilera, Nicolás Garrido Sánchez, Leonor Huerta Cancino, Víctor Molina Bahamonde, Bárbara Ossandón Buljevic, M. Soledad Saavedra, Macarena Soto Alvarado y Silvia Tecpan Flores.

La favorable acogida que tuvo esa publicación y el incentivo que ha representado la convocatoria a la **Conferencia Internacional IARTEM¹: Materiales didácticos y políticas públicas que contribuyen a la equidad, inclusión e innovación educativa en la escuela y la universidad**, que se realizará en la Universidad de Santiago de Chile los días 30 y 31 de agosto y 1 de septiembre de 2023, han impulsado este segundo esfuerzo de compilación, que da continuidad al primero, para la difusión de experiencias pedagógicas destacables. En este caso, se recogen experiencias que tuvieron lugar con posterioridad a 2019.

Consideramos que la totalidad de las experiencias incorporadas en el presente libro resultaron exitosas, y, más aún, que el mayor mérito de algunas de ellas radica en el hecho de que alcanzaron ese desenlace en circunstancias que fueron desarrolladas en contexto de grave crisis sanitaria por la propagación del virus SARS-CoV-2.

Las experiencias aquí expuestas claramente dan cuenta de procesos de aprendizaje contextualizados, es decir, su implementación y desarrollo han tomado en consideración los factores sociales, culturales, económicos y el nivel de conocimientos previos que caracterizaban los ambientes de aprendizaje de los destinatarios de la acción educativa.

Destacable es, sin duda, el que ellas involucren actividades que incentivan el trabajo colaborativo. En efecto, el aprendizaje que contempla esta forma de trabajo implica la creación de espacios de

1 International Association for Research on Textbooks and Educational Media.

diálogo y reflexión, facilitando la detección oportuna de situaciones problemáticas y la búsqueda de soluciones.

Asimismo, es importante resaltar el esfuerzo realizado por la carrera en el proceso de creación de seis *minors* que culmina en el año 2020 y de un séptimo en el periodo 2022-abril 2023. En su calidad de agrupaciones de asignaturas afines vinculadas a las áreas disciplinares de la carrera y cuyo objetivo es la profundización de habilidades contempladas en el Perfil de Egreso, los *minors* representan, sin duda, la experiencia didáctico-pedagógica de mayor relevancia que, en el ámbito de la formación inicial docente, puede aportar la carrera PLEFM a la Conferencia IARTEM. No solamente enriquecen la formación de los futuros y futuras docentes, apoyando su desarrollo profesional y preparándolos para los desafíos actuales y los que deberán enfrentar una vez egresados, sino que también los *minors* pueden transformarse en programas de diplomados y de formación continua.

El artículo que lleva por título *Minors en una propuesta de formación semiflexible para atender necesidades profesionales de futuros y futuras docentes* contiene una breve descripción curricular de cada uno de ellos, además de dar cuenta de algunas experiencias pedagógicas prácticas que fueron realizadas en el marco de su desarrollo.

Como comunidad práctica de aprendizaje o grupo de personas procedentes de distintas disciplinas que comparten un interés académico en relación con la formación inicial docente en ciencias, y que se encuentran bajo permanente proceso de autoevaluación, la carrera PLEFM invita a participar en este intercambio de ideas y prácticas docentes por medio de la lectura del presente libro, el cual ha surgido como resultado de su labor de formación de profesores y profesoras competentes que deberán desempeñarse en escenarios muy desafiantes.

Nos hacemos el deber de expresar nuestros agradecimientos a la **Conferencia Internacional IARTEM: Materiales didácticos y políticas públicas que contribuyen a la equidad, inclusión e innovación educativa en la escuela y la universidad** y a la empresa de servicios educativos **SM Chile**, que hicieron el llamado a compartir estas experiencias destacables de la carrera PLEFM (USACH) en el ámbito de la formación de profesores y profesoras de ciencia física y de matemática. Agradecimientos que hacemos

extensivos al coordinador docente de la carrera, magíster Héctor Alarcón, quien asumió con compromiso y entusiasmo la responsabilidad de incentivar a esta comunidad educativa a participar en este desafío, lo que hizo posible que docentes y estudiantado colaborasen con sus aportes, los que han pasado a formar parte de este segundo libro.

Al compartir los enfoques educativos innovadores que caracterizan las experiencias destacables que damos a conocer, aspiramos a enriquecer el debate en torno a una educación de calidad, particularmente en lo que dice relación con la formación de docentes en Física y Matemática para la educación secundaria.

El libro se estructura en dos partes. La primera comprende tres capítulos referidos a experiencias de aula asociadas a actividades curriculares del Plan de Estudios de la carrera. La segunda, que consta de cuatro capítulos, destina el primero de ellos a dar a conocer las características principales de cada uno de los siete *minors* de la carrera, en tanto los tres restantes se exhiben en experiencias didácticas desarrolladas con estudiantes que cursaban alguna asignatura de *minor*.

PARTE I

Capítulo 1. *Explorando la refracción de la luz: una propuesta kinestésica para su comprensión fenomenológica basada en el aprendizaje experiencial*

Bajo la constatación de que se hace preciso mejorar el proceso de aprendizaje prevaeciente actualmente tanto a nivel de educación media como de educación superior en torno a las condiciones bajo las cuales tiene lugar el fenómeno de refracción de la luz, el autor presenta en este texto varias secuencias didácticas alternativas a través del movimiento del propio cuerpo de los y las estudiantes (propuesta kinestésica).

La experiencia releva los principales fenómenos físicos que ocurren cuando se estudia la trayectoria de la luz, así como la relación entre estos fenómenos. La propuesta kinestésica contribuye a profundizar estos conocimientos y permite una mejor apropiación de ellos por parte del universo estudiantil.

Capítulo 2. *Laboratorios de Física en modo b-learning y dispositivos móviles*

Este capítulo presenta el desarrollo y los principales resultados de una estrategia formativa que utiliza herramientas digitales en las asignaturas de laboratorio de la carrera PLEFM (USACH).

Aborda la utilización de la plataforma Moodle institucional para establecer un formato híbrido *blended-learning* (*b-learning*) en esas asignaturas. Lo cual implica que, junto con las clases presenciales que tienen lugar en los laboratorios docentes, los y las profesoras y estudiantes pueden acceder, de forma remota y en cualquier momento, a los recursos y a las actividades disponibles en esta plataforma.

Asimismo, el texto hace referencia a la progresiva incorporación de dispositivos móviles (DM) como instrumentos de medición y procesamiento de datos en las actividades experimentales desarrolladas en las sesiones de laboratorio, y describe las ventajas que, gracias a su fácil acceso, representó su utilización en las clases de laboratorio de Física en pleno periodo de pandemia, lo que permitió la continuidad de los procesos de aprendizaje.

Capítulo 3. “De la sociedad al número”: Propuesta de enseñanza de los números racionales utilizando aprendizaje situado en tres liceos vulnerables

Este capítulo constituye un ejercicio de reflexión sobre la propia práctica docente de tres egresados de la carrera PLEFM (USACH), en el contexto de su trabajo académico conducente a la obtención del grado de Licenciado/a en Educación de Física y Matemática. Los y las estudiantes se encontraban ejerciendo roles docentes en el área de Matemática —a nivel de enseñanza secundaria— en tres establecimientos de la Región Metropolitana de Santiago, Chile. En la experiencia aquí reportada estuvieron acompañados por sus profesores tutores de seminario de grado.

Profesores y docentes en formación reflexionan en torno a las dificultades que debieron enfrentar en la enseñanza de los números racionales en establecimientos educacionales que presentaban elevados índices de vulnerabilidad social. Resaltan la importancia de conectar el aprendizaje con el contexto en que se desenvuelven los y las estudiantes, y consideran que el enfoque del aprendizaje situado conduce a un mayor nivel de logro de los objetivos y al mejoramiento de las propias prácticas pedagógicas.

Ponen de relieve, asimismo, la interdisciplinariedad como enfoque adecuado para ser aplicado en la enseñanza de la matemática, y prestan especial atención a la selección y tratamiento de temas sociales que son significativos para los estudiantes, transitando desde la sociedad al número y, posteriormente, del número al cambio en el comportamiento social.

PARTE II

Capítulo 4. *Minors en una propuesta semiflexible para atender necesidades profesionales de futuros y futuras docentes.*

El autor describe, a grandes rasgos, los objetivos y contenidos curriculares de cada uno de los siete *minors* creados por la carrera PLEFM (USACH), los cuales recibieron reconocimiento institucional en el periodo 2020-abril 2023. Incluye una breve reseña de tres experiencias didácticas vinculadas a igual número de *minors*.

Se trata de: Minor en Gestión de Convivencia y del Clima de Aula Escolar; Minor en Astronomía Educativa; Minor en Uso de Tecnologías Digitales Integradas al Aula; Minor en Gestión Escolar y Curricular; Minor en Ciencia, Tecnología, Sociedad y Medio Ambiente –CTS– en el Aula; Minor en Mecatrónica para la Educación Científica; Minor en Educación Ambiental para las Pedagogías de la Universidad de Santiago de Chile.

El capítulo pone de relieve el aporte curricular que representan los *minors* en el objetivo de elevar la consistencia entre el Plan de Estudios y el Perfil de Egreso de la carrera PLEFM.

Capítulo 5. *Gestión de la convivencia escolar en pandemia y pospandemia: experiencia destacable de estudiantes de Pedagogía en Física y Matemática en un colegio particular subvencionado en Santiago, Chile*

En un escenario complejo, de crisis sanitaria provocada por la propagación del virus Covid-19, y ante la necesidad de aplicar herramientas y enfoques pedagógicos adecuados para el manejo de la contingencia, la autora de este capítulo, profesora M. Soledad Saavedra, plantea la necesidad de adquirir habilidades de gestión enactiva y colaborativa.

El texto aborda la aplicación práctica de herramientas CLEHES (Cuerpo+Lenguaje+Eros+Historia+Emociones+Silencio) en periodos problemáticos como lo han sido los de pandemia y pospandemia, así como propuestas concretas e innovadoras para enfrentar desafíos educativos en situaciones complejas.

Igualmente, proporciona orientaciones tendientes al diseño de estrategias de convivencia escolar que propenden al logro del bienestar emocional, estrategias en las cuales el aprendizaje encarnado y la reflexión crítica ocupan un lugar central.

Capítulo 6. *Pedagogía performática en la formación docente: prácticas de Física y Matemática con enfoque intercultural crítico.*

En este capítulo se resalta la necesidad de incorporar prácticas pedagógicas interculturales y enfoques educativos que tomen en consideración la diversidad cultural de los y las estudiantes migrantes que han venido a Chile, comenzando con un proceso de sensibilización de los y las futuras docentes ante sus necesidades particulares.

La promoción de una educación intercultural significaría un avance hacia la superación de la discriminación y exclusión de estos y estas estudiantes, y una vía conducente tanto a valorar su identidad cultural como al logro del objetivo de ofrecerles igualdad de oportunidades.

Propone el uso de enfoques como el aprendizaje colaborativo, el aprendizaje dialógico, el aprendizaje basado en proyectos y el aprendizaje basado en problemas como herramientas importantes para abordar la interculturalidad en el aprendizaje de la ciencia y la matemática.

Capítulo 7. *El aprendizaje de la astronomía escolar en una comunidad educativa rural*

La experiencia didáctica reseñada en este capítulo se planteó como objetivo la adquisición de conocimientos y habilidades técnicas necesarios en el proceso de instalación de una estación de observación astronómica. Su implementación tuvo lugar por medio de actividades realizadas en una escuela básica ubicada en una comuna rural de la Región Metropolitana de Santiago de Chile. Esta característica significó el desarrollo de una experiencia única tanto para los estudiantes de la carrera PLEFM (USACH) como para la comunidad educativa rural beneficiada, incluidos en ella escolares, docentes, equipo directivo, paradocentes, padres y apoderados.

Además de las exigencias de planificación, elaboración de contenidos y presentación de los mismos ante un público diverso, uno de los aspectos clave de esta iniciativa fue la reflexión en torno a las prácticas docentes implementadas, que finalmente desembocaron en el fortalecimiento de conocimientos y habilidades susceptibles de ser considerados en el futuro desempeño profesional de los y las estudiantes de PLEFM.

**Teresita Selamé y Bárbara Ossandón, editoras
Santiago de Chile, agosto 2023**





PARTE I

**APRENDIZAJE DE LA FÍSICA Y
LA MATEMÁTICA A TRAVÉS DE
EXPERIENCIAS INNOVADORAS EN LA
CARRERA PEDAGOGÍA EN FÍSICA Y
MATEMÁTICA (PLEFM)**



Capítulo 1

Explorando la refracción de la luz: una propuesta kinestésica para su comprensión fenomenológica basada en el aprendizaje experiencial

La experiencia que se expone a continuación se enmarca en la problemática de explorar con los y las estudiantes en formación de la carrera Pedagogía en Física y Matemática/Licenciatura en Educación de Física y Matemática (PLEFM) de la Universidad de Santiago de Chile (USACH) alternativas a las explicaciones tradicionales sobre la ley de la refracción. Ello, tomando en consideración que las explicaciones tradicionales, si bien son adecuadas en niveles de enseñanza superior, no son pertinentes para el primer año de Educación Media, grado en el cual, conforme a las actuales bases curriculares, se estudia dicho concepto.

En este trabajo se detallan el fenómeno de refracción de la luz y su explicación. Se describe un conjunto de experiencias inspiradas en el aprendizaje experiencial [1] que, con base en una analogía, permite comprender lo que le ocurre a un frente de onda al pasar desde un medio en el que se propaga con una cierta velocidad a un segundo medio en el que la velocidad de propagación disminuye o aumenta. Se discuten varios aspectos de dicha analogía, lo que hace que sea una actividad muy adecuada tanto para estudiantes de Educación Media como para futuros docentes de Física. Finalmente, se reportan algunas opiniones y apreciaciones de un conjunto de estudiantes de la PLEFM que, en los años 2018, 2019, 2022 y 2023, vivieron la experiencia en el marco de la asignatura de Física de la Luz de la mencionada carrera.

La problemática

El concepto de refracción de la luz es uno de los conceptos fundamentales en el contexto del estudio de los fenómenos ópticos en Educación Media. Es la base para poder comprender otros fenómenos de mayor complejidad, como los sistemas ópticos formados por lentes y la comprensión del ojo como sistema formador de imágenes. Sin embargo, y pese a lo fundamental

¹ Doctor en Física, Licenciando en Ciencias y Profesor de Física y Matemática de la Universitat Autònoma de Barcelona. Profesor de la carrera de Pedagogía en Física y Matemática de la Universidad de Santiago de Chile (USACH). Subdirector del Centro Félix Klein, USACH.



del concepto de refracción, son numerosos los estudios [2-7] que muestran la poca comprensión de dicho fenómeno, tanto en Educación Media como en la enseñanza superior. Un estudio realizado por Singh y Butler [8], en el que participaron estudiantes de ambos niveles de educación, concluye que, frente a ciertas cuestiones muy básicas sobre la refracción de la luz, en su gran mayoría solo son capaces de dar respuestas muy vagas y superficiales, presentando muchas dificultades, incluso, frente a problemáticas tan simples como establecer la trayectoria de un rayo de luz al refractarse en distintos medios. El tema suscita tal preocupación en las comunidades educativas de ciencia que son muchos los investigadores que han propuesto instrumentos orientados, específicamente, a diagnosticar las distintas concepciones sobre el fenómeno de refracción y reflexión de la luz, a nivel de estudiantes y de docentes [9-10] de Física [11].

Numerosos trabajos proponen secuencias didácticas para el estudio de la refracción usando distintos enfoques [12-16], reportando, a su vez, los resultados y dificultades de aprendizaje que tuvieron los y las estudiantes como consecuencia de su implementación.

Cabe destacar que, durante los últimos treinta años, a la hora de estudiar los fenómenos ópticos asociados a la propagación, refracción y reflexión de la luz, ha predominado en la enseñanza el modelo de la Óptica Geométrica [17]. Ello no es casual, pues este modelo resulta ser una brillante simplificación de la Óptica Ondulatoria que, sin necesidad de introducir conceptos relativamente complejos, permite abordar con éxito un considerable conjunto de problemáticas de manera muy simplificada, las cuales van desde el trazado de rayos hasta la formación de imágenes a través de sistemas ópticos [18]. Sin embargo, desde la Óptica Geométrica resulta complejo construir un argumento que permita comprender la física detrás del fenómeno de la refracción. De hecho, si se considera la luz como un rayo de partículas, en el sentido clásico, el razonamiento lógico lleva a plantear que este, al atravesar de un medio en el que viaja más rápido a otro en

el que viaja más lento, debiera refractarse alejándose de la normal ², tal y como proponía el propio Newton [19]. Pero resulta que sucede lo contrario. Son los conceptos de la Óptica Ondulatoria de frente de onda y el principio de Huygens los que, de manera relativamente simple, permiten elaborar una explicación satisfactoria del fenómeno de la refracción [20]. El problema es que el modelo de la Óptica Ondulatoria, por ser de mayor complejidad que el de Óptica Geométrica, suele introducirse en Educación Media de manera muy superficial, y exclusivamente para explicar de manera cualitativa fenómenos de difracción e interferencias. Rara vez se considera la noción de frente de onda y su propagación cuando se estudia la ley de Snell. Esto, a pesar de que la evidencia muestra cómo, al incorporar al estudio de la refracción el modelo ondulatorio, ello deriva en una mayor comprensión del fenómeno que cuando se estudia exclusivamente desde el geométrico [15 y 21]. En particular, Harrison y Treagust [14] muestran, de manera concluyente, los efectos positivos derivados de estudiar el fenómeno de la refracción a partir del concepto de frente de onda usando la famosa analogía propuesta por Paul Hewitt [22] en el texto *Física conceptual*. Dicha analogía consiste en visualizar lo que le ocurre a la trayectoria de un carrito cuyas ruedas delanteras están fijadas a un eje que puede cambiar de dirección, en el momento en que deja de circular por la vereda y entra a una zona de pasto, con cierta inclinación. A propósito de ello, cabe decir que el uso de analogías para explicar ciertos fenómenos físicos ha sido ampliamente utilizado, incluso por físicos ilustres, o si no, que le pregunten al gemelo viejo ³ si el gato de Schrödinger ⁴ sigue vivo o muerto en su caja, o bien, cansado de vivir en ella, escapó a un universo paralelo ⁵ donde anda merodeando por la terraza de un café de barrio sin que nadie lo moleste.

.....
2 Es perpendicular a la superficie de separación de los medios involucrados.

3 La paradoja de los gemelos es un experimento mental que propuso el propio Einstein y que plantea una paradoja derivada de la dilatación del tiempo que involucra el paso del tiempo de dos gemelos: el que realiza un largo viaje por el espacio y el que se queda envejeciendo en la Tierra esperando su vuelta.

4 El gato de Schrödinger es un ejemplo propuesto por el propio Schrödinger como una forma de visualizar la superposición de estados cuánticos. El ejemplo plantea el hipotético caso de que un gato encerrado en una caja puede estar vivo y muerto simultáneamente, y en que solo al abrirla toma uno de esos dos estados.

5 Hugh Everett, basándose en la idea de ramificación temporal de la función de onda, propuso la interpretación de que el gato está vivo y muerto a la vez, en dos mundos paralelos incapaces de interactuar entre sí.

La pertinencia del uso de ciertas analogías en ciencia y los efectos positivos que tienen en la comprensión de ciertos fenómenos ha sido ampliamente estudiada [23].

En todo caso, el cúmulo de evidencias que muestran las publicaciones revisadas permite levantar la hipótesis de que, si bien el estudio de la refracción basado en el modelo geométrico simplifica considerablemente el fenómeno y permite resolver exitosamente una amplia gama de problemas usando el trazado de rayos, es esta misma simplificación la que se vuelve un verdadero obstáculo epistemológico para su comprensión [24]. Desde este punto de vista, las dificultades que presentan los y las estudiantes a la hora de comprender el fenómeno de la refracción podrían interpretarse como una consecuencia de la decisión didáctica de omitir el aspecto ondulatorio durante el proceso de enseñanza-aprendizaje y no a la naturaleza del propio saber. En ese caso, se podría afirmar que estamos frente a un fenómeno de transposición didáctica que no tuvo suficientemente presente el principio de vigilancia epistemológica [25].

Desde esta premisa, en este trabajo se formula una propuesta simplificada del modelo ondulatorio para el estudio del fenómeno de la refracción, utilizando una analogía inspirada en la planteada por Hewitt [22] que involucra, a su vez, aspectos del aprendizaje kinestésico [26]. La propuesta, adecuada para estudiantes de Educación Media, permite explorar y comprender el fenómeno de la refracción, así como otros fenómenos derivados del mismo, como es el caso de la reflexión total interna.

“... en este trabajo se propone una propuesta simplificada del modelo ondulatorio para el estudio del fenómeno de la refracción, utilizando una analogía inspirada en la planteada por Hewitt [22] que involucra, a su vez, aspectos del aprendizaje kinestésico [26]”.

Desarrollo

La experiencia

Materiales

Para la realización de la experiencia se requiere:

- De 8 a 12 tubos de PVC de entre 3 y 4 metros de longitud, y, preferentemente, de 25 mm de ancho, puesto que al realizar la experiencia se precisa que los tubos mantengan su rigidez;
- Algún tipo de cinta que permita marcar de manera visible el centro de cada tubo;
- Una vara de un metro, la que, al igual que los tubos, también se marcará a la mitad;
- Unos 20 metros de cordel preferentemente blanco junto con tres lastres (bolsas de arena, piedras, adoquines medianos o pesos que permitan anclar el cordel en el suelo);
- Un silbato, tizas de colores y una huincha de medir;
- Un patio o multicancha con una superficie lisa grande, de a lo menos 100 m², que presente dos zonas contiguas rectangulares claramente delimitadas por una línea recta.

La preparación

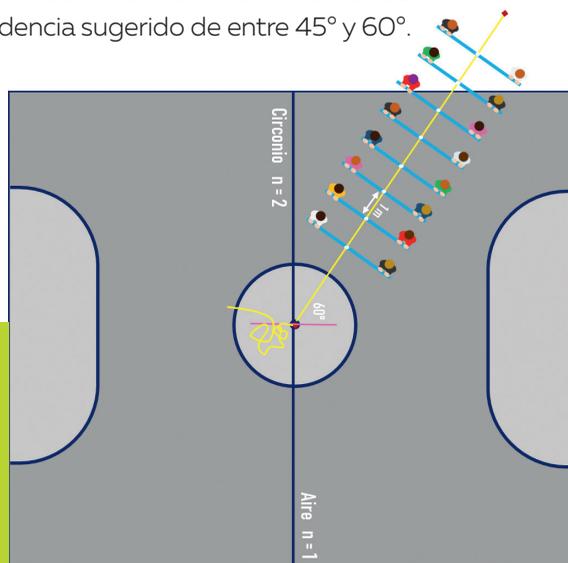
En primer lugar, se conversa con las y los estudiantes comunicando que se va a realizar una simulación sobre lo que le sucede a un rayo de luz al atravesar la frontera desde el aire (de índice de refracción $n = 1$) a un cristal de circonio (de índice $n = 2$). Para ello se va a considerar un lado de la cancha como aire, mientras que el otro lado como circonio. Se sugiere que los y las estudiantes escriban con tiza en cada uno de los lados el medio que representa, así como su índice de refracción, como se muestra en la Figura 1.

Una vez identificados los medios, se les pide que identifiquen la línea que corresponde a la interfaz aire/circonio. Se espera que identifiquen la línea de medio campo como la interfaz. Se les indica que el centro del campo va a representar el punto de incidencia del rayo; se les solicita que marquen con tiza sobre el suelo la normal de la interfaz en el punto de incidencia, y que, usando el cordel,

representen un rayo ⁶ que viene desde el aire e incide en el centro del campo con un ángulo de incidencia sugerido de entre 45° y 60°.

Figura 1

Preparación inicial de la experiencia que simula la incidencia de un rayo con un ángulo de 60° respecto de la normal proveniente del aire, a un cristal de circonio.



Trazado el rayo incidente, se pide a los y las estudiantes que formen parejas de manera tal que las longitudes de sus calzados sea lo más similar posible entre ellos y ellas ⁷. Luego, a la primera pareja se le solicita que tome uno de los tubos de PVC por sus extremos y se sitúe, con el tubo centrado, en dirección perpendicular al rayo incidente y lo suficientemente alejado del punto de incidencia para que toda la longitud del tubo quede en el lado del campo que representa el aire. Una vez fijada la posición de la primera pareja, se solicita a las demás parejas que vayan ubicándose en esa misma posición una tras otra, manteniendo los tubos centrados y perpendiculares a la dirección del rayo y guardando un metro de distancia entre una pareja y la siguiente.

Se sugiere que el o la docente a cargo, una vez ubicadas todas las parejas, les indique que deben mantener bien pegados a sus cinturas los tubos durante toda la actividad; revise las posiciones de

⁶ Se sugiere utilizar los lastres para fijar el cordel al suelo y mantenerlo tenso en la dirección solicitada.

⁷ En este aspecto, es importante considerar que, cuanto más similares sean las longitudes de los calzados que van a sostener los tubos, mayor precisión se obtendrá a la hora de realizar la experiencia. Por ello se aconseja usar como criterio para seleccionar a aquellos estudiantes que van a sostener los tubos el que tengan todos ellos longitudes de calzado similares.

los tubos y termine de ajustarlas de manera tal que todos los tubos queden bien centrados, paralelos entre sí (perpendiculares respecto de la dirección del rayo incidente), y que guarden una distancia de un metro ⁸ entre ellos. Una vez que los y las estudiantes estén en sus posiciones, se sugiere preguntarles si, considerando que el rayo incidente es una onda plana que se propaga en línea recta, qué es lo que podrían estar representando los tubos de PVC, tal y como están dispuestos, y qué significado se podría dar a la distancia entre ellos. Se espera que logren establecer que los tubos representan los frentes de onda del rayo incidente y la distancia entre tubo y tubo su longitud de onda.

“La torcida”

En este punto, está todo listo para empezar la dinámica de propagación del rayo. Para ello se informa a las y los estudiantes que se va a considerar como velocidad de propagación en el aire dos pies cada vez que suene el silbato. Es decir, que cuando oigan el silbato deberán avanzar todos dos pies (poniendo un pie seguido del otro), manteniendo la dirección de propagación del rayo y procurando que el avance de los dos pies suceda de manera coordinada entre los y las estudiantes.

Antes de realizar el primer silbido, se les solicita que discutan y argumenten cuántos pasos deberán avanzar en el momento en que crucen la línea de medio campo. Se espera que se den cuenta de que, al cruzar dicha línea, dejan de estar en el aire ($n = 1$) y pasan a estar en el circonio ($n = 2$), por lo que su velocidad debiese disminuir a la mitad, y, por tanto, todo aquel estudiante que cruce la línea de medio campo, a partir de ese momento, después de cada silbido deberá avanzar un solo pie en lugar de dos, independientemente de lo que avance su pareja.

Se sugiere aprovechar este momento para solicitar a varios estudiantes que registren en video y/o tomen fotos de la dinámica de lo que va a suceder, de manera que, una vez finalizada la experiencia, puedan volver a visualizarla las veces que sea oportuno.

8 Se sugiere utilizar la vara de 1 metro para revisar las distancias entre tubo y tubo en ambos extremos, fijándose en que todos los tubos queden equidistantes y paralelos entre sí.

Ahora sí, llegó el momento de empezar a tocar el silbato, realizando un silbido aproximadamente cada 5 segundos. Es importante estar bien atento a que todos los y las estudiantes avancen dos pies manteniendo la dirección del rayo en cada silbido mientras no crucen la media cancha, y solo uno a partir del momento en que la cruzan. Se continúa silbando hasta que todos los frentes de onda se encuentren completamente inmersos en el circonio. Antes de dar por finalizada la actividad, y manteniéndose en las posiciones tal y como quedaron después del último silbido, para que puedan relacionar la experiencia vivida con el fenómeno de la refracción es recomendable realizar

“... para que puedan relacionar la experiencia vivida con el fenómeno de la refracción es recomendable realizar una breve puesta en común sobre lo ocurrido. Un buen punto de partida es orientar la discusión formulando ciertas cuestiones como: ¿Qué cambios pueden percibir que sucedieron en el desarrollo de la actividad? ¿Cuál fue la causa de que se produjeran dichos cambios?”

una breve puesta en común sobre lo ocurrido. Un buen punto de partida es orientar la discusión formulando ciertas cuestiones como: ¿Qué cambios pueden percibir que sucedieron en el desarrollo de la actividad? ¿Cuál fue la causa de que se produjeran dichos cambios? Se discuten las respuestas esperadas.

Las escenas de la primera fila de la Figura 2 ilustran la dinámica de la propagación de un haz de luz con sus respectivos frentes de onda al propagarse por el aire (Figura 2a), al atravesar la interfaz aire/circonio (Figura 2b) y al propagarse por el circonio (Figura 2c). Nótese cómo los frentes de onda se van refractando al momento de cruzar la interfaz cambiando su dirección de propagación. La segunda fila de la figura representa la dinámica de lo que ocurre durante la experiencia.

Como se puede apreciar al contrastar ambas dinámicas, ellas presentan un comportamiento muy similar, y, de hecho, la dirección del rayo refractado en ambos casos debiera ser similar (alrededor de los 25° en el caso de que el rayo incidente sea de 60°). En un inicio (escenas 2a y 2d de la Figura 2), el rayo todavía no llega a

la interfaz. Al encontrarse todos los frentes de onda inmersos en el aire se propagan a una misma velocidad avanzando en bloque (alrededor de 300.000 km/s en el caso de la luz, a dos pies por silbido en el caso de la analogía), y manteniendo su dirección hacia el punto de incidencia (el centro del campo en la analogía). Una vez

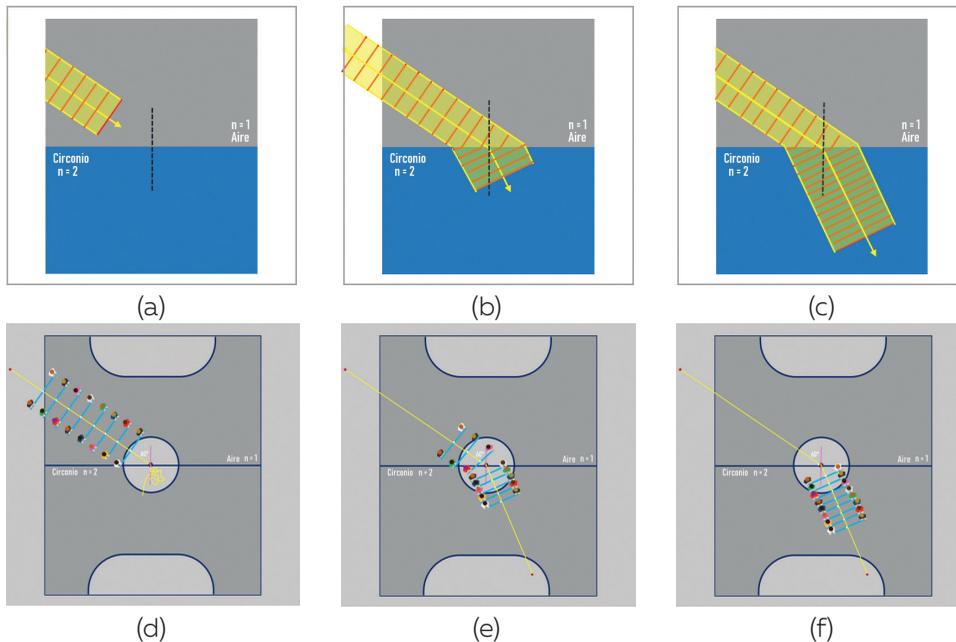


Figura 2

Secuencia de la propagación de un haz de luz que se propaga por el aire (a), al momento de cruzar la interfaz aire/circonio (b) y su propagación por el circonio (c), junto con las imágenes correspondientes (d), (e) y (f), que representan la dinámica de la analogía que ocurre durante el desarrollo de la actividad propuesta.

que el primer frente de onda cruza la interfaz aire/circonio (la línea de medio campo), este disminuye su velocidad a la mitad. En este sentido, un aspecto clave para entender el porqué el rayo se desvía es el hecho de que, justamente, un extremo del frente de onda, en este caso el derecho, cruza la interfaz antes que su extremo izquierdo. Ello implica que una parte del frente de onda (aquella que ya cruzó la interfaz) empiece a viajar más lento que la otra (la que todavía no lo cruza), y que, como consecuencia de ello, el frente cambie su dirección de propagación (escenas 2b y 2e de la Figura 2).

Así pues, el cambio en la dirección de propagación que se produce durante la refracción es consecuencia del cambio de velocidad de propagación del frente de onda a medida que este va traspasando la interfaz. En el caso de la analogía, podría argumentarse que mientras los pies de mi compañero o compañera de frente de onda todavía estén en el aire, y los míos ya se encuentren en el circonio (o sea, que yo haya cruzado la línea de medio campo, pero mi compañero o compañera aún no), él o ella avanzara dos pies y yo solo uno. Esa diferencia de velocidad de propagación de nuestro frente al atravesar la interfaz aire/circonio es la que inexorablemente provocará un cambio en su dirección de propagación, acercándolo en este caso a la normal, puesto que el lado izquierdo del frente, por ir más lento, se empezará a “retrasar” respecto del derecho. Esta situación de cambio de dirección se prolongará hasta que la totalidad del frente haya atravesado la interfaz. Una vez que todo el frente se encuentre dentro del circonio, ambos extremos avanzarán a un pie por silbido, por lo que el frente se propagará siguiendo una línea recta, dando origen al rayo refractado (escenas 2c y 2f de la Figura 2).

Al contrastar las secuencias se puede observar la gran similitud entre ambas. La única diferencia es que los frentes de onda no son rígidos, y, por tanto, se van doblando a medida que van entrando al segundo medio, mientras que los tubos de PVC, al ser rígidos, en lugar de doblarse sufren una pequeña rotación durante su tránsito por la interfaz. En todos los demás aspectos, la analogía funciona exactamente de la misma manera y con el mismo principio que explica la ley de la refracción.

La reversa, de frente, el sándwich, el prisma, sin salida, el switch y la autopista

Basándose en la experiencia de “La torcida”, en este apartado se sugieren otras siete configuraciones como posibles extensiones y/o variaciones de dicha actividad, que permiten explorar con mayor profundidad y enriquecer diversos aspectos de la refracción. Desde luego, estas variantes no se presentan, necesariamente, con el propósito de que se implementen todas ellas, sino más bien para que sea el o la propia docente, junto con sus estudiantes, quienes decidan aquellas configuraciones que van a realizar.

“La reversa” está propuesta como una prolongación natural de “La torcida”, que permite explorar la reversibilidad del camino de la luz. “De frente” indaga lo que le sucede a un haz de luz cuando este incide perpendicularmente. “El sándwich” explora la trayectoria que sigue un rayo al cruzar una lámina plano-paralela. “El prisma” plantea una situación similar a la del sándwich en el caso de que las caras de entrada y de salida tengan distinta orientación. En la configuración “Sin salida” se explora una situación en la que un rayo que se propaga desde dentro del circonio trata de salir al aire con un ángulo de incidencia en la interfaz circonio/aire mayor al ángulo crítico. “La autopista” propone una actividad que, a partir del fenómeno de reflexión total interna, permite comprender cómo funcionan las fibras ópticas. Finalmente, “El switch” se propone como una prolongación de la actividad “Sin salida”, que evidencia el fenómeno óptico conocido como reflexión total interna frustrada.

“La reversa”

Es muy recomendable iniciar el desarrollo de esta experiencia desde las posiciones en que quedaron los y las estudiantes al finalizar “La torcida”. En ese caso, se les solicita que, manteniendo sus posiciones, se agachen y pasen por debajo de los tubos dándose media vuelta sobre sí mismos a fin de que mantengan la dirección del rayo, pero avanzando en sentido contrario. Para una adecuada implementación, antes de empezar el regreso, es importante cerciorarse de que los tubos permanecen todos centrados alrededor del rayo, manteniéndose paralelos entre sí, de manera que conserven la distancia de medio metro entre un frente de onda y el siguiente, y manteniendo su orientación perpendicular a la dirección de propagación. Luego se empieza a tocar el silbato nuevamente, de manera que vuelvan a avanzar hacia el centro del campo, un pie por cada silbido puesto que están en el circonio ($n = 2$), manteniendo la dirección del rayo. En este caso, a medida que van traspasando la línea del medio campo, avanzan dos pies (puesto que pasan a estar en el aire). Es importante que caigan en la cuenta de que, a diferencia de lo que ocurrió al cruzar la interfaz aire/circonio, en este caso, al cruzar la interfaz circonio/aire, el rayo refractado se aleja de la normal y que sale al aire justo en la misma dirección con la que entró en “La torcida”. Ello se conoce en óptica como el principio de reversibilidad de los rayos de luz, principio que suele enunciarse

como: "el camino de un rayo de luz no sufre cambio alguno al intercambiar la fuente con el observador". Significa que, si se invierte el sentido de propagación de la luz, esta se devolverá siguiendo el mismo camino por el que vino.

En esta ocasión, y justamente por dicho principio, se ha optado expresamente por omitir la figura que ilustra la evolución del rayo de luz y su correspondiente analogía en el caso de "La reversa", pues basta que el lector tome como referencia la Figura 2 leída, eso sí, de derecha a izquierda, e imaginándose que las y los estudiantes representados están situados del otro lado de los tubos y se mueven en dirección ascendente en lugar de descendente. En ese caso, la Figura 2(f) muestra la configuración una vez iniciada la actividad, justo antes de que el primer frente de onda empiece a salir del circonio para entrar al aire. La Figura 2(e) ilustra el momento en que varios frentes de onda ya han cruzado la interfaz circonio/aire, mientras que otros todavía no la cruzan, y la Figura 2(d) muestra la posición en la que quedan todos los frentes de onda, una vez que el último terminó de cruzar la interfaz.

Otro aspecto importante que suele pasar inadvertido es que, en este caso, la distancia entre los frentes de onda, en lugar de disminuir, aumenta, recuperando de ese modo el metro de distancia que tenían los frentes en el aire.

"De frente"

Es la misma actividad de la experiencia "La torcida", pero, en esta ocasión, el rayo que incide desde el aire lo hace en dirección perpendicular a la interfaz aire/circonio, tal y como lo ilustran las Figuras 3(a) y 3(d). Ello significa que todos los frentes de onda están orientados paralelamente a la superficie de la interfaz aire/circonio. Una vez iniciada la dinámica de esta variante, y antes de que el primer frente ingrese al circonio, se sugiere pedir a las y los estudiantes que anticipen lo que va a suceder con el rayo refractado. Se espera que deduzcan que, pese a cambiar la velocidad de propagación, este va a mantener su dirección. Ello porque todo el frente de onda entra al circonio en un mismo instante, puesto que se desplaza de manera paralela a la interfaz. Así pues, todos los puntos del frente, incluidos sus dos extremos,

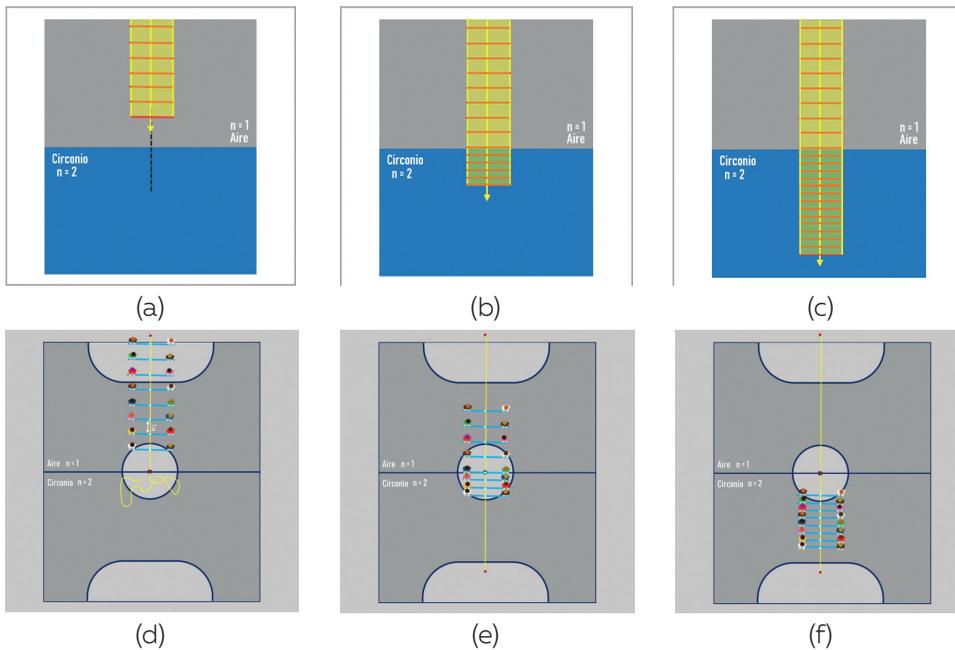


Figura 3

Secuencia de la propagación de un haz de luz que atraviesa una interfaz aire/circonio incidiendo perpendicularmente a ella, (a) propagándose por el aire, (b) al ingresar al circonio y (c) propagándose por el circonio, junto con las imágenes correspondientes (d), (e) y (f), que representan la dinámica de la analogía que ocurre durante el desarrollo de la experiencia “De frente”.

disminuyen la velocidad al mismo tiempo. En consecuencia, el rayo no sufre ninguna modificación en su dirección de propagación. Sin embargo, el hecho de que el haz no se desvíe no significa que la luz no sufra cambios al ingresar al segundo medio. Por el contrario, los frentes de onda, a medida que ingresan en el circonio, reducen su velocidad de propagación a la mitad, por lo que la distancia entre un frente de onda y el que le sigue se va a reducir a la mitad.

La imagen de la Figura 3(b) ilustra el momento en el que los primeros frentes de onda ya han ingresado al circonio. Nótese cómo, para los frentes que ya están en el circonio, la distancia entre frente y frente se ha reducido a la mitad. En la Figura 3(e) se representa el momento de la actividad en que está por ingresar al circonio el cuarto frente de onda. Como se puede apreciar, se mantiene la distancia de un metro entre ese frente y el que le sigue, puesto que ambos todavía están en el aire. Sin embargo, la distancia con el frente anterior es solo de medio metro,

puesto que ese frente, en un mismo tiempo, al estar en el circonio, avanzó la mitad de distancia que el que todavía está en el aire. La Figura 3(f) muestra cómo, una vez que todos los frentes de onda han atravesado la interfaz, avanzan manteniendo la misma dirección de incidencia, pero reduciendo a la mitad la distancia entre ellos.

“El sándwich”

Esta variante plantea una situación muy similar a “La torcida”, salvo que, en este caso, la extensión del segundo medio (el circonio) tiene un espesor definido, como se puede observar en la Figura 4(a). A este tipo de configuraciones ópticas se les conoce como láminas plano-paralelas (de circonio en este caso) y son muy comunes como, por ejemplo, los vidrios de una ventana. Se trata de estudiar qué le sucede al haz de luz al atravesar este tipo de láminas cuando incide sobre ellas formando un cierto ángulo respecto de la normal. En este caso, la actividad se inicia con la misma configuración de “La torcida”, salvo que sobre la cancha se traza una línea paralela a la línea de medio campo, a unos tres metros de distancia, tal y como ilustra la Figura 4e. Las escenas de la primera fila de la Figura 4 muestran la dinámica del frente de onda al atravesar la lámina. Nótese cómo el rayo, al atravesar primera interfaz aire/circonio, se refracta acercándose a la normal (Figura 4b); luego sigue propagándose en línea recta por el circonio hasta salir de nuevo al aire. Al momento de cruzar la interfaz circonio/aire vuelve a refractarse, esta vez alejándose de la normal. Lo interesante es observar cómo el ángulo con el que emerge el rayo a la salida del circonio es el mismo que con el que entró (Figura 4c). Eso explica el hecho de que cuando un rayo de luz atraviesa una lámina de vidrio (o de cualquier otro medio) no percibamos ninguna desviación en su dirección, puesto que sale del vidrio con el mismo ángulo con el que entró, y, por tanto, no se desvía. En las imágenes también se puede observar cómo la distancia entre un frente de onda y el siguiente se reduce a la mitad al ingresar al circonio, mientras que al salir al aire los frentes vuelven a distanciarse, quedando con la misma separación que mantenían antes de entrar al circonio.

En la experiencia, a esta variante la hemos llamado “El sándwich”, por tratarse de un medio (aire) que envuelve a otro (circonio) formando una doble interfaz aire/circonio/aire. En este caso, hay

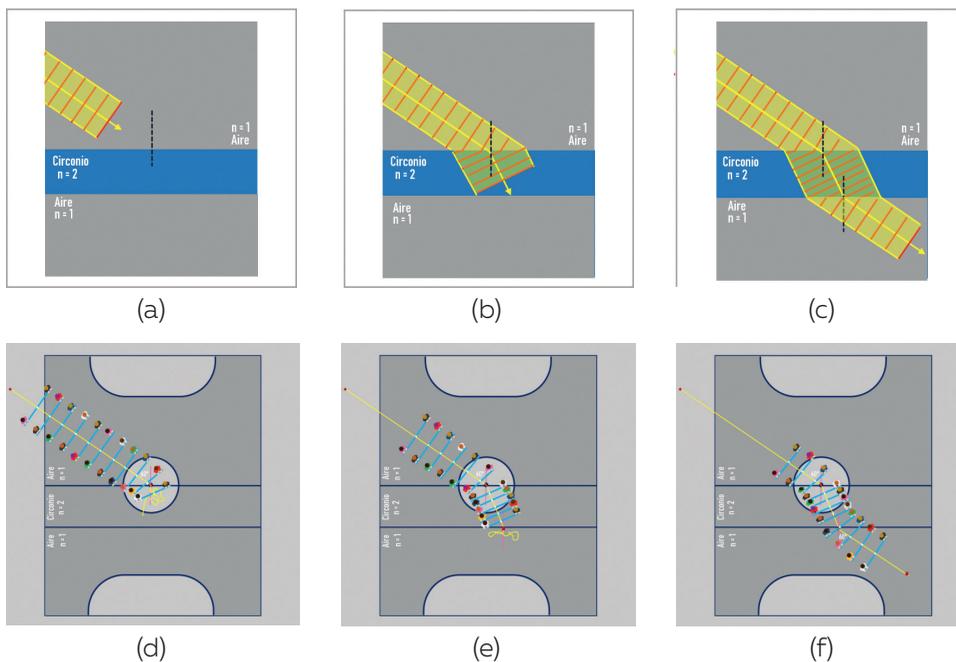


Figura 4

Secuencia de la propagación de un haz de luz que atraviesa una lámina plano-paralela de circonio al momento de cruzar la interfaz aire/circonio (a), su propagación por el circonio (b) y al salir nuevamente al aire (c). Las imágenes correspondientes (d), (e) y (f) representan la dinámica de la analogía que ocurre durante el desarrollo de la variante de la experiencia “El sándwich”.

que considerar que, para observar simultáneamente la propagación del haz en las tres capas del sándwich (tal y como muestra la Figura 4f), es necesario tener a lo menos unos diez frentes de onda. A modo de cierre de la actividad, se sugiere plantear a los y las estudiantes algunas cuestiones para la reflexión, como, por ejemplo: ¿Por qué los vidrios de una ventana no desvían la dirección de los rayos del sol al atravesarla, siendo que sufren un cambio de dirección al entrar al vidrio? ¿Cómo se puede justificar que el ángulo con el que sale la luz después de atravesar una lámina plano-paralela es el mismo que el de entrada usando el principio de reversibilidad de los rayos de luz?

“El prisma”

En esta variante se explora la propagación de un haz de luz a través de un prisma de circonio de un ángulo de refringencia⁹ de unos 45°, como muestra la Figura 5(a). En este caso, se sugiere seguir utilizando la línea de medio campo para representar la cara de entrada del prisma de circonio, y trazar una diagonal desde un extremo de la línea de mediocampo a la esquina del córner del lado opuesto para dibujar la cara de salida. Las escenas (a), (b) y (c) de la Figura 5 ilustran la propagación de los frentes de onda a medida que va avanzando el rayo. Como se puede apreciar en la

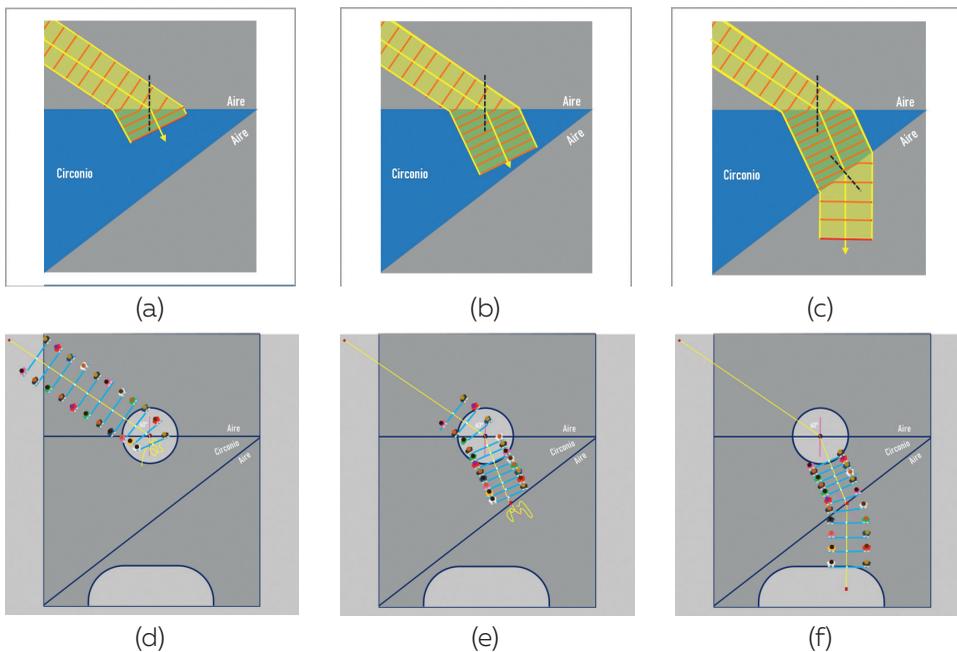


Figura 5

Secuencia de la propagación de un haz de luz que atraviesa un prisma de circonio al momento de cruzar la interfaz aire/circonio (a), su propagación por el circonio (b) y al salir nuevamente al aire (c), junto con las imágenes correspondientes (d), (e) y (f), que representan la dinámica de la analogía que ocurre durante el desarrollo de la variante de la experiencia “El prisma”.

9 Un prisma óptico consiste en un medio de un determinado índice de refracción, formado por dos superficies planas que forman un cierto ángulo entre sí, llamado ángulo de refringencia.

Figura 5(a), al entrar al circonio, el rayo refractado cambia de dirección acercándose a la normal. Luego se propaga por el circonio [Figura 5(b)] hasta encontrar la interfaz de salida circonio/aire, y se vuelve a refractar alejándose de la normal [Figura 5(c)]. Nótese que, a pesar de que dentro del circonio el rayo siempre mantiene la misma dirección, en este caso (a diferencia de lo que sucedía con la lámina plano-paralela), el ángulo refractado y el incidente dentro del circonio son distintos. Ello debido a que sus caras no son paralelas y, por tanto, las normales en los puntos de entrada y salida del circonio tienen distinta dirección. Esto hace que el haz salga del circonio en una dirección distinta a la que entró. A este fenómeno óptico se le conoce como el efecto prisma.

Las escenas (d), (e) y (f) de la Figura 5 muestran la representación de la dinámica de la actividad. Al finalizar la actividad, se sugiere formular algunas preguntas a las y los estudiantes como, por ejemplo: ¿Por qué en este caso, a diferencia del sándwich, el rayo sí se desvía al atravesar el prisma de circonio? ¿Qué fue lo que cambió? En este caso, ¿se cumple el principio de reversibilidad? También se les puede solicitar que midan el ángulo de desviación entre la dirección del rayo de entrada al prisma y la dirección del rayo de salida, y que busquen información sobre cómo se le llama en óptica a dicho ángulo¹⁰.

“Sin salida”

De todas las variantes propuestas, esta resulta ser la más sorprendente. Su configuración inicial es similar a la de la actividad “La reversa”, de manera que el rayo incidente se sitúa en el lado del circonio, salvo que, en este caso, el rayo incide desde el circonio a 60° respecto de la normal, como lo ilustra la Figura 6a.

Los frentes de onda, mientras se encuentran inmersos en el circonio, van avanzando a un pie por silbido hasta que uno de sus extremos cruza la línea de medio campo. A partir de ese momento, dicho extremo empieza a avanzar dos pies por silbido, mientras que el otro extremo del frente avanza solo uno (Figura 6d). Como consecuencia de ello, la parte del frente que salió del circonio va a ir doblegándose

.....
¹⁰ A dicho ángulo se le conoce como ángulo de desviación del prisma y depende del ángulo de incidencia y de los parámetros ópticos del propio prisma (índice de refracción y ángulo de refringencia).

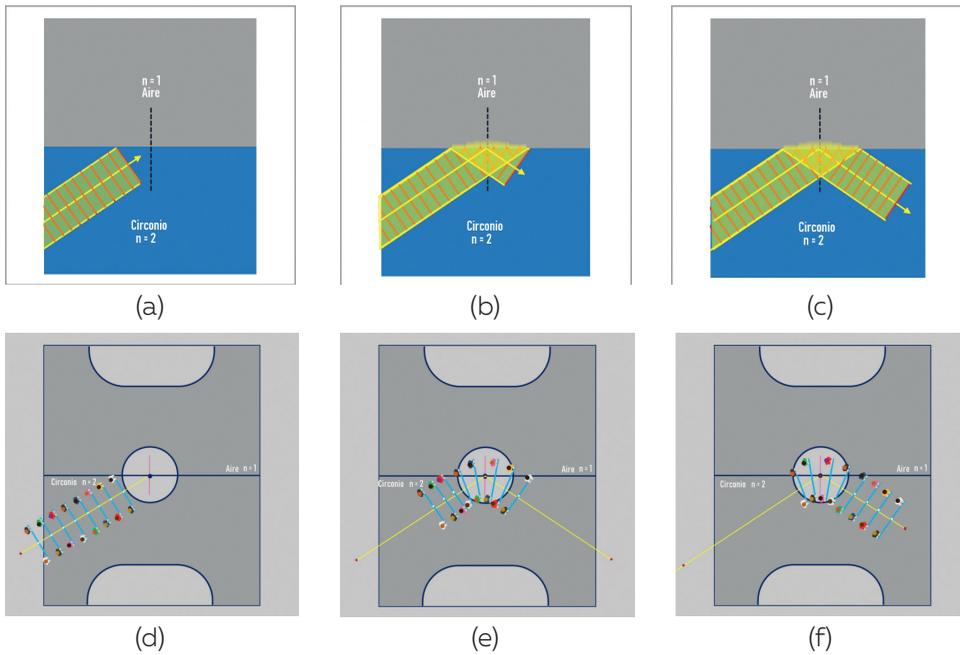


Figura 6

Secuencia de la propagación de un haz de luz que, desde dentro del circonio, incide sobre la interfaz circonio/aire con un ángulo mayor al ángulo crítico: (a) al momento en que el primer frente toca la interfaz, (b) cuando se están reflejando los primeros frentes, y (c) cuando la mayoría de frentes ya se han reflejado; y (d), (e) y (f) la evolución de la dinámica de la analogía del proceso de reflexión total interna que sucede durante la actividad “Sin salida”.

progresivamente en cada silbido (Figura 6e). Hasta este punto, la situación pareciera ser muy similar a la que sucede en “La reversa”, en la que el rayo incidía en la interfaz circonio/aire en un ángulo aproximado de 26° y se refractaba emergiendo en el aire con un ángulo de 60° . Sin embargo, basta con dar unos cuantos silbidos más para darse cuenta de que los 60° de incidencia hacen que la situación evolucione de una forma muy distinta. En este caso, el frente de onda nunca alcanza a salir por completo del circonio, puesto que, antes de que ello suceda, la parte del frente que emergió vuelve a entrar (Figura 6e).

Por simetría, el ángulo que se forma justo en el momento en que el frente vuelve a entrar completamente de nuevo al circonio, es exactamente el mismo que el que tenía justo en el momento en que empezó a salir. Por ende, a partir de ese momento el frente volverá a adentrarse en el circonio, avanzando un pie en cada silbido

en el mismo ángulo con el que incidió. Este fenómeno es el que se conoce como la reflexión total interna (Figura 6c), y, para que ello suceda, deben cumplirse dos condiciones. La primera es que el índice de refracción del segundo medio tiene que ser menor que el del primer medio. Ello, porque para que el rayo se refleje es necesario que durante el proceso los frentes de onda se doblen acercándose a la interfaz (alejándose de la normal), lo que ocurre si la velocidad de propagación de la parte del frente que sale al segundo medio es mayor que la de la parte que permanece en el primer medio. La segunda condición es que el seno del ángulo de incidencia debe ser igual o mayor al cociente del índice de refracción del segundo medio entre el primero. En óptica, a dicho ángulo se le conoce como ángulo crítico, y, en el caso del circonio/aire, tenemos que el seno del ángulo crítico viene dado por $\frac{1}{2}$, por lo que el ángulo crítico es de 30° . Para ángulos incidentes menores a 30° el rayo emergerá del circonio al aire refractándose y alejándose de la normal, mientras que para ángulos mayores, el rayo se reflejará completamente en la cara interna del circonio.

Una pregunta muy interesante que surge al contrastar la analogía de la dinámica producida en la actividad "Sin salida" con el fenómeno de la reflexión total interna, es si, en realidad, durante el fenómeno de la reflexión total interna existe una parte del frente de onda de la luz incidente que emerge temporalmente del primer medio, o si, por el contrario, no hay luz que salga del circonio. Lo cierto es que el físico francés Agustín Fresnel, usando la teoría de Maxwell, logró establecer un conjunto de ecuaciones que relacionan las amplitudes de las ondas electromagnéticas reflejadas y transmitidas al cambiar de un medio a otro, conocidas como las ecuaciones de Fresnel. La solución que se obtiene a partir de ellas, en el caso de la reflexión total interna, es que la amplitud de la onda reflejada es la misma que la onda incidente, lo que da cuenta de que la onda sufre una reflexión total. Sin embargo, a su vez, aparece una onda transmitida en el segundo que se propaga paralelamente por la superficie de la interfaz y cuya intensidad decrece muy rápidamente al alejarse de ella, de manera que solo alcanza a penetrar en el aire un par de longitudes de onda. Así pues, se les puede decir con toda certeza a los y las estudiantes que esos pasos por el aire que tuvieron que dar los extremos de los frentes de onda antes de volver a entrar en el circonio en realidad existen.

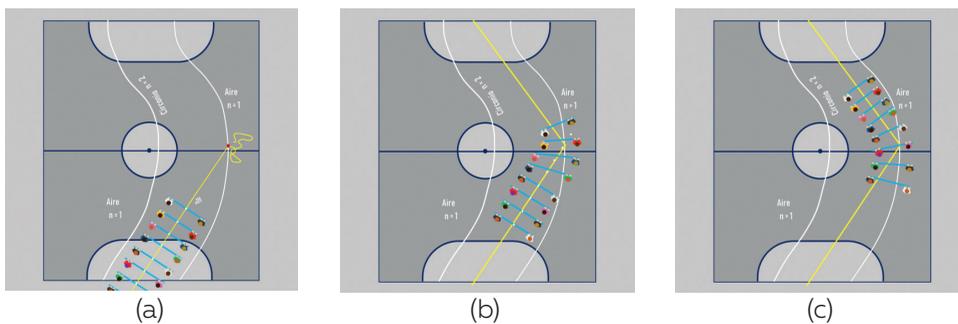


Figura 7

Secuencia de simulación de la propagación de un haz de luz por una guía óptica de circonio.

La autopista

Esta actividad consiste en dibujar un camino ancho de "circonio" de unos cuatro metros de ancho con curvas suaves, que vaya desde una portería del campo a la portería contraria evitando pasar por el círculo central, como lo muestra la Figura 7a. Se sitúa un rayo incidente con los frentes de onda a la entrada de dicho camino y se empieza a simular su propagación. Mientras los frentes de onda permanezcan dentro del camino avanzan un solo pie por silbido. A la que un extremo de algún frente se sale del camino, este avanza dos pies por silbido, hasta que entre de vuelta en el camino. Como se puede apreciar en la dinámica, lo que sucede es que el rayo va sufriendo varias reflexiones totales (Figura 7b) siguiendo el camino hasta llegar a su fin (Figura 7c).

Esta actividad simula cómo se propaga un haz de luz por el interior de una fibra óptica. El corazón de una fibra óptica, por donde se propaga la luz, suele tener un índice de refracción de 1,47. De manera que al insertar en la fibra un haz de luz, este se propaga por su interior siguiendo la trayectoria de la fibra. Ello gracias al fenómeno óptico de reflexión total interna, de manera que el haz va reflejándose sucesivamente en la pared de la fibra hasta llegar al otro extremo de ella.

"El switch"

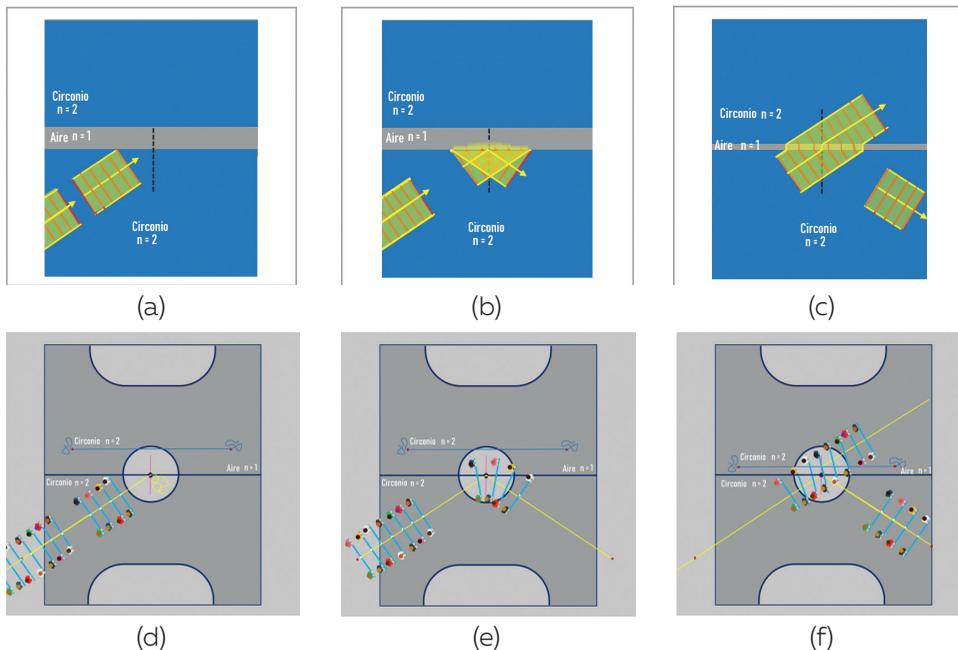
Esta experiencia se puede plantear como una extensión de la actividad "Sin salida". Se parte con la misma configuración de "Sin salida", en la que un rayo que viaja desde el circonio incide en la

interfaz circonio/aire (línea de medio campo) con un ángulo de incidencia mayor al ángulo crítico como, por ejemplo, los mismos 60° que consideramos en "Sin salida". En esta ocasión, para la preparación de la actividad, se dividen los frentes de onda en dos "trenes" de a lo menos 5 frentes cada tren, conservando una separación de medio metro entre frente y frente de un mismo tren, y unos 5 metros entre un tren y el siguiente, como lo ilustra la Figura 8d.

Usando un cordel, en el lado del campo que representa el aire se delimita una línea paralela a unos 3 metros de distancia de la línea del medio campo. Dicha línea representa una nueva interfaz aire/circonio, separada a unas tres longitudes de onda (vale la pena recordar que,

Figura 8

Secuencia de la propagación de un haz de luz (a) con dos trenes de frentes de onda que se propagan entre dos cristales de circonio separados por una capa delgada de aire con un ángulo de incidencia mayor al ángulo crítico; (b) Reflexión total interna del primer tren de ondas sobre la interfaz aire/circonio; y (c) transmisión del segundo tren de ondas de un cristal de circonio al otro; (d), (e) y (f), representación de la dinámica de la actividad "El switch".



en las experiencias en el aire, la separación fijada entre frentes es de aproximadamente 1 m), de manera que se obtiene una configuración similar a la utilizada en "El sándwich". Pero, en lugar de aire/circonio/aire, esta vez el sándwich es de circonio/aire/circonio, como se muestra en la Figura 8a. Con el silbato se da inicio a la dinámica de la actividad, de manera que todos los frentes de onda (inmersos todavía en el circonio) avanzan un pie a cada silbido. Al igual que sucedía con la dinámica de la actividad "Sin salida", el primer tren de ondas, al llegar a la primera interfaz (circonio/aire), sufre una reflexión total interna, puesto que, pese a que una parte de los frentes emergen del circonio y alcanzan a propagarse por el aire, estos vuelven a entrar. En este caso, la presencia del segundo bloque de circonio a unos escasos metros del primero no hace ninguna diferencia (Figuras 8b y 8e).

Ahora bien, antes que el segundo tren de frentes empiece a emerger del primer bloque de circonio, se solicita a una pareja de ayudantes que desplace el cordel, de manera de acercar el segundo bloque de circonio al primero, dejando entre ambos una separación de aire de media longitud de onda (medio metro). Al igual que el primer tren, el segundo tren de ondas, al empezar a salir del primer bloque de circonio al aire, empieza a doblarse alejándose de la normal. Sin embargo, en esta ocasión, el espesor de aire entre los bloques de circonio es tan delgado que no deja suficiente espacio para que los extremos de los frentes de onda completen el giro. En lugar de ello, los frentes, tan pronto entran en el segundo bloque de circonio, vuelven a avanzar dos pies, por lo que recuperan la dirección de 60° con la que incidieron en la primera interfaz circonio/aire. En consecuencia, el segundo tren atraviesa la capa de aire sin reflejarse (Figuras 8c y 8f). Este efecto se conoce como reflexión total interna frustrada, o también como el efecto túnel óptico, y se trata de un fenómeno de naturaleza cuántica que prueba la existencia de la onda evanescente en el proceso de la reflexión total interna predicha por Fresnel. De hecho, lo que sucede en realidad es que, al acercar los dos bloques lo suficiente aun cuando todavía existe una delgada capa de aire entre ellos, se logra capturar la onda evanescente, frustrando de ese modo la reflexión total interna. Son muchas las aplicaciones que usan este efecto óptico. Una de las más populares son los lectores ópticos de huellas digitales.

Resultados

Algunas cuestiones y otros menesteres experimentales

Aspectos muy importantes que se necesita considerar a la hora de planificar las experiencias son la selección y secuenciación de las actividades que se van a implementar y las problemáticas que se van a plantear a las y los estudiantes a lo largo de cada una de estas.

Respecto de las siete actividades, si bien se presentan siguiendo un cierto orden evolutivo (la torcida, la reversa, de frente, el sándwich, el prisma, sin salida, la autopista y el *switch*), ello no significa que en su implementación tenga que mantenerse necesariamente dicho orden, ni mucho menos que se lleven todas a la práctica. En todo caso, es muy recomendable empezar por "La torcida", puesto que permite establecer y comprender la base del fenómeno de la refracción a partir del cual se sustenta la comprensión de las otras actividades. Esto no implica que dicha actividad sea suficiente, puesto que, para lograr una comprensión adecuada del fenómeno es necesario abordar lo que le sucede al rayo de luz cuando pasa de un medio de mayor índice a otro de menor índice, incluyendo el caso particular de la reflexión total interna. A modo de ejemplo, una secuencia mínima recomendable es: "La torcida" -> "La reversa" -> "Sin salida".

Respecto de las cuestiones que pueden plantearse durante la realización de "La torcida", una de las primeras preguntas se sugiere que sea: ¿Qué sucedió?

"Respecto de las siete actividades, si bien se presentan siguiendo un cierto orden evolutivo (...), ello no significa que en su implementación tenga que mantenerse necesariamente dicho orden, ni mucho menos que se lleven todas a la práctica. En todo caso, es muy recomendable empezar por 'La torcida', puesto que permite establecer y comprender la base del fenómeno de la refracción a partir del cual se sustenta la comprensión de las otras actividades".

La idea es orientar la discusión para que sean los propios estudiantes quienes terminen por identificar que, respecto de la situación inicial, en la que el haz se propagaba por el aire, sucedieron dos cambios importantes. En primer lugar, la modificación en la dirección de propagación del rayo. En ese sentido, una vez que lo hayan identificado, se sugiere profundizar en la comprensión del fenómeno que origina dicho cambio con preguntas como: ¿Por qué sucedió? ¿Cuál fue la causa? Se espera que los y las estudiantes identifiquen que el cambio de dirección ocurre mientras los frentes de onda cruzan de un medio a otro (aire/circonio), debido a que el extremo del frente que entra primero al circonio empieza a avanzar un solo pie por silbido, mientras que la parte del frente que todavía permanece en el aire avanza dos pies. Es importante que los y las estudiantes asocien el fenómeno de refracción como una consecuencia del cambio de velocidad de propagación de la luz al cruzar de un medio a otro. En este sentido, conviene explicitar la relación entre el hecho de que se escogiera aire y circonio como medios y que en el aire avancen dos pasos en cada silbido mientras que en el circonio avancen solo uno.

Una vez que hayan relacionado los índices de refracción del aire ($n = 1$) y del circonio ($n = 2$) con el hecho de que la velocidad de propagación de la luz en el circonio es la mitad de la velocidad de propagación en el aire, se espera que identifiquen el cambio de velocidad de propagación como la "causante" de la refracción. Es conveniente profundizar sobre el hecho de que el cambio de dirección en el rayo, en el caso de aire/circonio, provoca que este se aleje de la normal. Más allá de la respuesta basada en la experiencia, la idea es que puedan argumentar por qué se acerca. En este caso, la primera parte del frente que ingresa al circonio es la que empieza a avanzar más lentamente, mientras que la que todavía no ha ingresado va a mayor velocidad provocando que el frente "gire" acercándose a la normal.

Un segundo cambio, un poco más sutil de percibir, es el hecho de que, después de la refracción, la distancia entre los frentes de onda se reduce a la mitad. La explicación de este hecho se debiera basar en que durante el tiempo que transcurre desde que entró un primer frente al circonio, hasta que entra el segundo, el primer frente

avanza solo la mitad de distancia (puesto que este se encuentra en el círculo), mientras que el segundo frente, al encontrarse todavía en el aire, avanza el doble.

De hecho, la comprensión de cómo influye el cambio de velocidad en la propagación de los frentes de onda es lo que permitió a Huygens deducir, a partir de su principio ¹¹, la ley de la refracción. Por supuesto, dicha deducción se puede encontrar en prácticamente todos los textos de Física; sin embargo, no por ello vamos a excluirla en esta presentación.

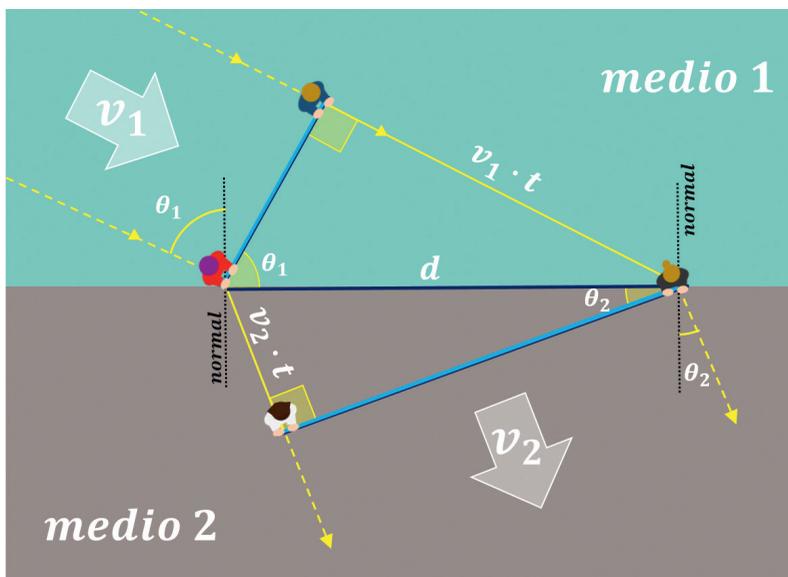


Figura 9

Deducción de la ley de refracción, a partir de la propagación de los frentes de onda.

Es importante dejar bien claro, antes de desarrollar la ley de refracción a partir de la propagación de los frentes de onda, que ella requiere del uso de la razón trigonométrica del seno, así como de anotar algebraicamente ciertas longitudes como velocidades por tiempo, por lo que puede que no sea adecuada para estudiantes

¹¹ El principio de Huygens plantea que todo punto de un frente de onda puede considerarse como una fuente puntual emisora que emite un frente de onda esférico que se extiende en todas direcciones.

de los primeros niveles de Educación Media. Más allá de estas consideraciones, la deducción es relativamente sencilla y, dada su importancia, debería formar parte del repertorio de todo profesor y profesora de Física.

La Figura 9 muestra el esquema utilizado por Huygens para deducir la ley de refracción, conocida también como ley de Snell. Para entender la figura, en primer lugar, hay que entender qué es lo que representa cada parte de ella. En azul se representan dos frentes de onda seguidos. El primero, acaba de entrar completamente en el *medio 2*, y, por tanto, ya se ha refractado. El segundo frente de onda aún está en el *medio 1*, por lo que todavía no se ha refractado.

Consideremos que la velocidad de propagación de la luz en el *medio 1* es v_1 , mientras que en el *medio 2* es v_2 . En ese caso, podemos establecer que el tiempo t es aquel tiempo que tardó la estudiante de polerón negro en avanzar desde el punto donde se encuentra el compañero de atrás (el del polerón azul marino) hasta llegar a la interfaz, donde se encuentra ahora, pudiendo entonces escribir esa distancia como $v_1 \cdot t$. En ese mismo tiempo t , su compañera de frente (de polerón blanco) avanzó la distancia desde el punto de la interfaz donde está ahora el compañero de polerón rojo del frente que está detrás hasta la posición en la que se encuentra ahora, pudiendo escribir entonces esa distancia como $v_2 \cdot t$. Dado que la dirección de propagación es siempre perpendicular a la del frente de onda, podemos afirmar que el triángulo formado por el primer frente de onda (cateto contiguo a θ_2), junto con el cateto opuesto, $v_2 \cdot t$, y la hipotenusa d entre la estudiante de polerón negro y el estudiante de polerón rojo es rectángulo. Asimismo, también lo es el triángulo formado por el segundo frente de onda (cateto contiguo a θ_1), la misma hipotenusa d , y el cateto opuesto $v_1 \cdot t$. Entonces, podemos escribir:

$$\sin \theta_1 = \frac{v_1 \cdot t}{d} \quad \text{y} \quad \sin \theta_2 = \frac{v_2 \cdot t}{d}$$

Expresiones que se pueden reescribir como:

$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{t}{d} \quad \text{y} \quad \frac{\sin \theta_2}{v_2} = \frac{t}{d}$$

pero, tanto la distancia d como el tiempo t de ambas expresiones son iguales y, por tanto, podemos igualar las expresiones, de manera que:

$$\frac{\sin \theta_1}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{v_2}$$

Ahora, si nos fijamos bien, resulta que el ángulo θ_1 es el mismo ángulo que forma el rayo incidente con la normal y, por tanto, es el ángulo incidente, mientras que θ_2 es el ángulo refractado. Por lo cual la expresión que acabamos de escribir relaciona el ángulo del rayo incidente con el ángulo del rayo refractado a partir de las velocidades v_1 y v_2 del primero y segundo medio, respectivamente. A dicha expresión se la conoce como la ley de la refracción, o bien, la ley de Snell. En todo caso, si se quiere expresar la ley con los índices de refracción (en lugar de las velocidades), basta con considerar que el índice de refracción se define como $\frac{c}{v}$, donde c es la velocidad de la luz en el vacío y v es la velocidad de la luz en el medio. Por tanto, basta con multiplicar la ecuación anterior por c :

$$\frac{c}{v_1} \sin \theta_1 \quad \text{y} \quad \frac{c}{v_2} \sin \theta_2$$

para, de ese modo,

$$n_1 \sin \theta_1 \quad \text{y} \quad n_2 \sin \theta_2$$

obtener la expresión de la ley de Snell en función de los índices de refracción.

Resulta relativamente sencillo, a partir del mismo esquema de la Figura 9, deducir una expresión que permite establecer el cambio que sufre la longitud de onda al cambiar de medio de propagación. Para ello basta con suponer como tiempo t aquel en que tarda el frente de onda en avanzar una longitud de onda λ . De ese modo la longitud de onda en el primer medio vendrá dada por

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= v_1 \cdot t \\ \lambda_2 &= v_2 \cdot t \end{aligned}$$

Despejando t de ambas expresiones e igualándolas se obtiene:

$$\frac{\lambda_2}{v_2} = \frac{\lambda_1}{v_1}$$

que si se amplifica por c puede expresarse en función de los índices de refracción del medio incidente y el transmitido como

$$n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$$

Tal y como se puede apreciar, si reemplazamos en la expresión los valores para la interfaz aire ($n_1 = 1$)/circonio ($n_2 = 2$) se obtiene:

$$\lambda_{\text{aire}} = 2\lambda_{\text{circonio}}$$

expresión que refleja cómo la longitud de onda en el aire es el doble de la longitud de onda en el circonio.

Se sugiere hacer la actividad "La reversa" inmediatamente después de "La torcida", sin necesidad de que los y las estudiantes se muevan de las posiciones en que quedaron. Antes de empezar la actividad se aconseja pedirles que conjeturen qué es lo que va a suceder. En particular, se les puede solicitar que traten de anticipar la dirección del rayo refractado. Se espera que levanten la conjetura de que el rayo refractado va a salir en la misma dirección con la que entró, aludiendo a que si siguen el mismo camino, pero de vuelta, los frentes debieran moverse de la misma forma que lo hicieron a la ida. La reversibilidad del camino óptico es un principio muy utilizado en óptica. De manera experiencial se puede enunciar como: "Si, desde donde me encuentro, estoy viendo los ojos de mi hija, bien sea porque la miro directamente, bien sea porque lo hago a través del espejo retrovisor de mi auto, o bien por el reflejo de su imagen sobre el estanque, es porque ella está viendo los míos". "La reversa" permite indagar si la vivencia de la actividad "La torcida" generó una comprensión profunda del fenómeno de la refracción puesto que, de ser así, los y las estudiantes deberían ser capaces de predecir lo que va a suceder y explicar el porqué.

La actividad "De frente" es una buena candidata para ser planteada de manera tal que la resuelvan a nivel conceptual, sin necesidad de desarrollarla. Efectivamente, si los y las estudiantes entendieron bien el concepto de refracción en las dos actividades

anteriores, debieran ser capaces de explicar por qué el rayo, al incidir perpendicular a la superficie, aun cuando cambia de medio y, por tanto, cambia su velocidad, no se desvía. El argumento que debieran desarrollar apunta a que, en la incidencia normal, todo el frente de onda (en particular, sus dos extremos también), traspasa la interfaz simultáneamente. Por tanto, si bien este cambia su velocidad de propagación, dicho cambio no modifica su dirección de propagación. Es interesante reflexionar respecto de que la incidencia normal sí genera cambios en la longitud de onda. Efectivamente, si la longitud de la onda (distancia entre un frente y el siguiente) en el aire estaba representada por un metro, en el circonio se reducirá a medio metro. Es interesante que se pueda establecer que, independientemente de la longitud de onda que tenga inicialmente un rayo, y del ángulo en el que este incida, la longitud de onda en el circonio siempre va a ser la mitad de la longitud de onda en el aire, como se vio en la expresión anterior.

La actividad "Sin salida" permite poner de manifiesto el fenómeno de la reflexión total interna y comprender por qué sucede. Ello es muy relevante, puesto que se trata de uno de los fenómenos ópticos que presentan mayores dificultades en su comprensión. En este caso, se sugiere desarrollar esta actividad planteando, en un inicio, como si se tratara de un nuevo caso de la actividad "La reversa", pero con un ángulo de incidencia de 60° . Se pueden formular las mismas preguntas que en "La torcida". Se espera que las y los estudiantes anticipen que el rayo, al pasar del circonio al aire, se va a refractar alejándose de la normal, y que, por tanto, va a emerger en el aire con un ángulo mayor a los 60° . Si aparece esta respuesta, se sugiere actuar como si fuera correcta, de manera de dar inicio a la actividad sin develar de antemano lo que va a suceder realmente. En el momento en que los primeros frentes de onda estén empezando a entrar de vuelta al circonio, se pueden formular preguntas del tipo: ¿Qué está sucediendo con el rayo? ¿Por qué se devuelven? ¿Estarán haciendo bien la actividad? ¿Cómo se puede explicar lo que está sucediendo? En este punto se espera que puedan comprender y explicar lo que sucede. En primer lugar, que reconozcan que los frentes de onda del rayo no terminan nunca de salir completamente del circonio, y que se devuelven a él como si el rayo se hubiese reflejado en la superficie circonio/aire con el

mismo ángulo con el que incidió. En segundo lugar, que utilicen como argumento para explicar lo sucedido el hecho de que la parte del frente que alcanza a salir va alejándose cada vez más de la normal, y que, debido a que el ángulo de incidencia era elevado, los extremos de los frentes que salieron empiezan a devolverse antes de que sus otros extremos alcancen a salir.

Si bien se consideran las actividades “La torcida”, “La reversa”, “De frente” y “Sin salida” como aquel conjunto que permite lograr una comprensión del fenómeno de la refracción en toda su amplitud, ninguna actividad puede reemplazar la observación directa del fenómeno. De manera que, como parte esencial de la secuencia de actividades, se considera incorporar la observación experimental de los y las estudiantes. Por fortuna, hoy en día son muy comunes, económicos y fáciles de adquirir los láseres verdes, siendo estos una fuente de luz ideal para poder observar directamente estos fenómenos. Además de los láseres, para la sala de clases se recomienda usar botellas de plástico transparentes de bebidas de 3 litros llenas de agua hasta la mitad. De esa forma se evita la posibilidad de que se derrame el agua y/o se rompa algún vaso. Para poder apreciar mejor la trayectoria del rayo en el agua es adecuado diluir en ella un poco de agua de hierbas, mientras que para poder apreciar la trayectoria en el aire se hace necesario poner algún tipo de partículas en suspensión en el aire de la botella como, por ejemplo, las partículas producidas por el humo de una vela que se acaba de apagar. Otra buena fuente de humo son las barritas de incienso. La ventaja de estas es que, a diferencia de la vela, no requieren estar prendiéndolas y apagándolas a cada rato, puesto que producen humo de manera constante.

“Si bien se consideran las actividades ‘La torcida’, ‘La reversa’, ‘De frente’ y ‘Sin salida’ como aquel conjunto que permite lograr una comprensión del fenómeno de la refracción en toda su amplitud, ninguna actividad puede reemplazar la observación directa del fenómeno. De manera que, como parte esencial de la secuencia de actividades, se considera incorporar la observación experimental de los y las estudiantes”.

La Figura 10 muestra las tres configuraciones experimentales que, según el parecer del autor de este trabajo, se debieran incluir en toda secuencia didáctica cuyo propósito sea el aprendizaje del fenómeno de la refracción. La Figura 10a muestra la situación en que un haz de luz, procedente del aire ($n = 1$) se refracta en el agua ($n = 1,33$). Nótese cómo el rayo de luz, al cruzar la interfaz aire/agua, se desvía acercándose a la normal, tal y como sucede en la actividad “La torcida”. En caso de tener otro láser, resulta bien interesante situarlo en el punto del vaso en que emerge el rayo, y orientado en la dirección opuesta, de manera tal de alinear la trayectoria de ambos rayos, el de ida y el de vuelta, dentro del agua. En esas circunstancias, se puede observar claramente cómo las trayectorias de ambos rayos en el aire también quedan alineadas, verificando experimentalmente el principio de reversibilidad de los rayos luminosos estudiado en “La reversa”.

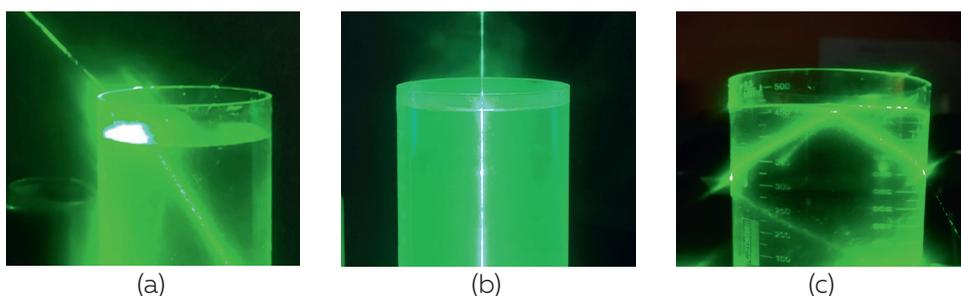


Figura 10

(a) Refracción de un láser verde aire/agua con un ángulo de incidencia de 45° , (b) con una incidencia normal a la interfaz aire/agua, y (c) reflexión total interna en la interfaz agua/aire.

La Figura 10b muestra lo que sucede cuando el rayo incide perpendicularmente sobre la interfaz aire/agua. En ese caso, como se aprecia en la imagen, el rayo refractado no se desvía. La Figura 10c muestra cómo un rayo que incide desde la parte inferior del lado izquierdo del vaso sufre una primera refracción al ingresar al agua. Luego se propaga en línea recta por el agua hasta llegar a la superficie agua/aire, con un ángulo de incidencia cercano a los 60° , sufriendo una reflexión total interna. Nótese cómo el ángulo

con el que se refleja el rayo es el mismo que el ángulo con el que incide en la superficie, tal y como se discute y argumenta en la actividad "Sin salida".

Otra experiencia muy interesante que permite evidenciar el fenómeno de la propagación de un rayo de luz por una guía óptica consiste en poner a la salida del láser una barra de silicona transparente y curvarla en forma de U, como se aprecia en la imagen de la Figura 11.

Una precaución importante que es necesario tener en cuenta a la hora de realizar la actividad es que la luz del láser quede bien alineada con la entrada de la barra. En ese caso, se puede observar claramente cómo la luz se propaga por dentro de la barra y termina emergiendo por su otro extremo. Este montaje permite visualizar cómo funciona una fibra óptica, según se estudia en "La autopista", entendiendo de ese modo que es el fenómeno de la reflexión total interna el que permite que la luz se refleje sucesivamente por la barra hasta salir por el otro extremo.



Figura 11

Haz de luz propagándose a través de una barra de silicona transparente curvada en 180°.

A modo de cierre de esta sección, y como guinda de la torta, se propone un montaje óptico muy simple que permite obtener imágenes muy claras de las huellas dactilares y, de paso, comprender cómo funcionan estos dispositivos ópticos de identificación que, cada vez, se han vuelto más comunes. Para el montaje se requiere de un vaso de agua y una pequeña fuente de luz blanca, como la luz de un celular. Una vez lleno el vaso de agua, este se ilumina situando la luz pegada al vaso, cerca e iluminando

a través de él. Por el lado opuesto al que se encuentra la fuente de luz, a media altura, se presiona ligeramente la cara del vaso con la yema de un dedo tal y como representa el esquema de la Figura 12a. Al observar la yema a través de la superficie del agua desde un ángulo de unos 45° por encima del vaso, se pueden ver claramente las líneas que conforman la huella dactilar. La Figura 12b muestra el montaje real con el que se obtuvo la imagen de la huella de la Figura 12c. Para poder comprender cómo, con un dispositivo tan sencillo, se logra observar una imagen tan nítida de la huella, hay que entender primero que el gris plateado que se observa como color de fondo de la imagen en la Figura 12c es la base del vaso, la cual se refleja (por reflexión total interna) sobre la cara en la que se encuentra ubicada la yema. Al presionar con la yema del dedo en un punto de dicha cara, la película de aire que queda en los surcos de la huella dactilar sigue siendo lo suficientemente gruesa para que en esas zonas la luz proveniente de la base del vaso se siga reflejando en esa cara. Sin embargo, las partes de mayor prominencia de la huella hacen contacto con el vaso, disminuyendo la película de aire en esos puntos a espesores de escasamente unos cientos de nanómetros, frustrando de ese modo la reflexión total interna en esas zonas. Por ende, es posible observar, a través de la cara lateral, las prominencias de la huella, las que se mantienen bien iluminadas por la luz proveniente de la fuente que, precisamente en esos puntos, logra salir del vaso.

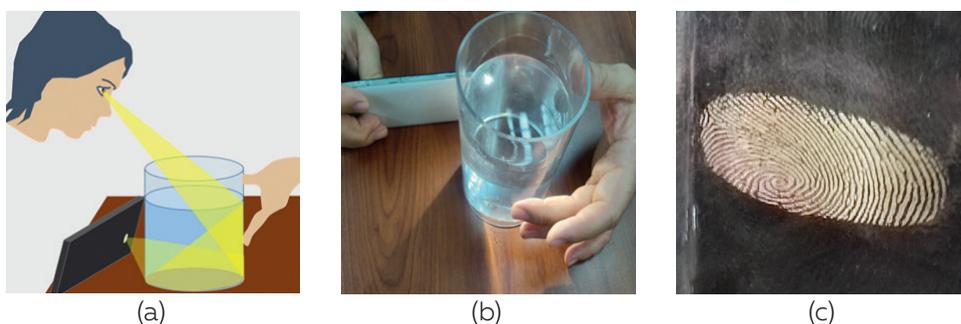


Figura 12

(a) esquema del montaje experimental de toma de huellas, (b) imagen del montaje real con el que se tomó la fotografía de la huella dactilar mostrada en (c).

Conclusiones

..... A modo de discusión y conclusiones

Desde su concepción, en el 2018, varias de las experiencias propuestas en este trabajo han sido implementadas en el contexto de la asignatura de Física de la Luz, impartida por la carrera de Pedagogía en Física y Matemática de la Universidad de Santiago de Chile.

El primer aspecto que comentamos sobre estas implementaciones es la alta valoración que expresan las opiniones de los y las estudiantes una vez realizadas las actividades. La gran mayoría declaran que, si bien ya conocían la ley de la refracción y sabían cómo utilizarla para calcular la trayectoria de los rayos, nunca habían reflexionado sobre los principios físicos que estaban detrás del fenómeno. Expresiones como: "No lo puedo creer, primera vez que entiendo esta cosa... y eso que la he estudiado muchas veces", "¡Por fin! Ahora sí que podría explicar esto de la refracción" aparecen sistemáticamente en boca de una u otro estudiante todos los años, al momento de finalizar la realización de la actividad "La torcida".

"La gran mayoría [de los y las estudiantes] declaran que, si bien ya conocían la ley de la refracción y sabían cómo utilizarla para calcular la trayectoria de los rayos, nunca habían reflexionado sobre los principios físicos que estaban detrás del fenómeno".

Año tras año, la actividad "Sin salida" toma por sorpresa a los y las estudiantes cuando estos empiezan a descubrir que se están dando media vuelta. Son varios los que, en ese momento, están convencidos de que algo están haciendo mal, cuando observan cómo, frente tras frente, terminan todos devolviéndose hacia el circonio. Hasta que alguna estudiante aventajada expresa, con tono de entre sorpresa y duda: "Profe, ¿esto tendrá algo que ver con la reflexión total interna?" y cambian sus expresiones de duda por asombro.

Es interesante analizar los cambios que produce el haber vivido alguna de las actividades propuestas en las y los estudiantes respecto de los conocimientos previos que tenían. En particular, una de las preguntas del diagnóstico inicial que se aplica año tras año al empezar la asignatura de Física de la Luz es que describan aquellos fenómenos ópticos que se relacionan con el hecho de considerar a la luz como una onda. Cabe mencionar que, en el primer semestre del 2023, de las 33 respuestas a esta pregunta solo en 4 de ellas encontramos algún tipo de referencia al fenómeno de la refracción. Ello está en concordancia con los estudios [5-8] que constatan cómo los y las estudiantes de Educación Media presentan vacíos y errores importantes en la comprensión de dicho fenómeno, como consecuencia de que lo perciben como un hecho de naturaleza geométrica, sin establecer ninguna relación entre el hecho de que el rayo se refracte con el carácter ondulatorio de la luz.

En otra de las preguntas del cuestionario inicial, extraída del modelo de una prueba de admisión a la enseñanza superior, se presenta una imagen que ilustra la refracción que sufre un rayo de luz acercándose

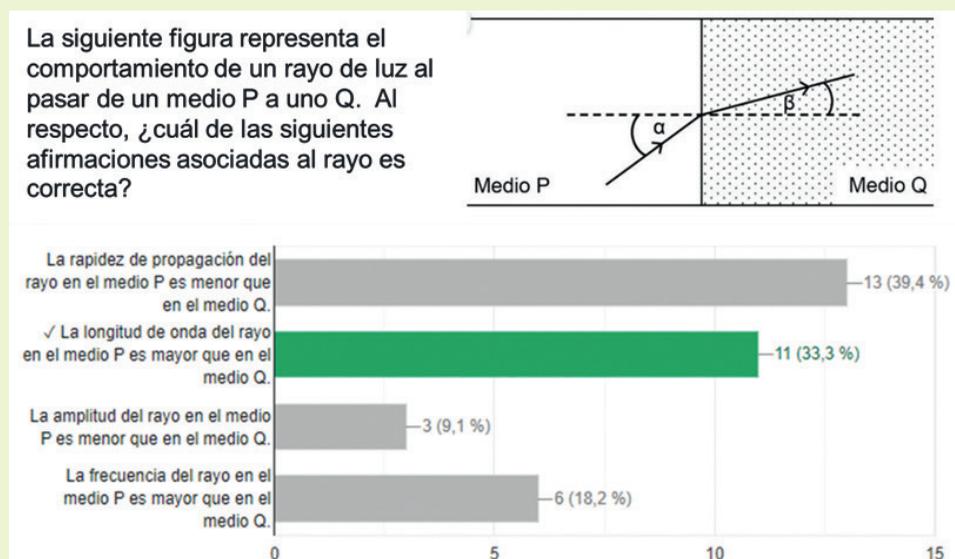


Figura 13

Pregunta sobre refracción del cuestionario inicial aplicado en el curso Física de la Luz y las respuestas escogidas por los y las estudiantes de la PLEFM el año 2023.

a la normal al cruzar del medio P al Q, y se solicita que se escoja aquella afirmación que, asociada a la situación representada, resulta correcta (Figura 13).

Como se puede apreciar, 13 de los 33 estudiantes de la asignatura (prácticamente el 40%) escogieron erróneamente la respuesta según la cual la velocidad de propagación del rayo en el medio P es menor que en el medio Q, mientras que solo 11 escogieron la respuesta correcta. Una explicación plausible es que la primera respuesta es la única en la que se menciona explícitamente la velocidad de propagación del rayo en los medios. En cambio, la segunda hace referencia al cambio en la longitud de onda, siendo que dicho fenómeno es un cambio más sutil. La tercera hace referencia a un cambio en la intensidad y la cuarta a un cambio en la frecuencia. En ese contexto, hay que considerar que, si bien es cierto que al cambiar de medio ello produce un cambio en la distancia entre los frentes, ese no es un concepto que se suele estudiar en Educación Media, salvo en ocasiones circunstanciales. Por el contrario, el hecho de que la refracción se produce debido a un cambio de velocidad en los medios es uno de los conceptos que más se trabajan. Ello podría explicar el porqué escogieron la primera opción en lugar de la segunda, puesto que aquella opción les era mucho más familiar.

El problema es que cuando un rayo pasa de un medio de menor velocidad a otro de mayor velocidad el rayo refractado se aleja de la normal, y este no es el caso. Obviamente, la tercera afirmación viola el principio de conservación de la energía, por lo que no es de extrañar que solo la escogieran tres estudiantes. Por otro lado, la frecuencia de la luz es un invariante, que viene determinado exclusivamente por la energía de los fotones que conforman el rayo. Por tanto, la única respuesta plausible es la segunda. Todas las ondas, al atravesar de un medio a otro en el que se propagan a velocidades distintas, sufren un cambio en su longitud de onda. Es parte esencial de una comprensión adecuada del fenómeno de la refracción de la luz entender el hecho de que la dirección del rayo (siempre y cuando este no incida perpendicularmente) cambia de dirección, acercándose a la normal, si es que disminuye su velocidad en la transición, o alejándose de ella si es que aumenta. A su vez, que la longitud de onda se acorta al momento en que disminuye su velocidad, mientras que se alarga cuando esta se aumenta. De hecho, el principal objetivo de las actividades "La torcida", "La vuelta" y "De frente" es, justamente, evidenciar la ocurrencia de estos dos fenómenos y comprender cómo, cuándo y por qué ocurren.

Aparte del diagnóstico inicial asociado a la asignatura, antes de empezar a estudiar el tema de la refracción de la luz se implementa un breve cuestionario Knowledge and Prior Study Inventory (KPSI) con el fin de indagar sobre ciertas concepciones de los y las estudiantes acerca del fenómeno de la refracción. En dicho cuestionario se les solicita que expliquen brevemente en qué consiste el fenómeno de refracción de la luz, por qué se produce y cuáles son los cambios en la luz refractada. Al analizar las respuestas, una característica común a la gran mayoría de ellas es que presentan explicaciones muy escuetas y carentes de argumentación, y en las que solo se hace referencia a uno de los tres cambios involucrados en la refracción (bien sea el cambio de velocidad, el cambio de dirección, o bien el cambio en la longitud de onda). A modo de ejemplo, algunas de las respuestas son:

- "Consiste en el cambio de velocidad de la luz por un cambio de medio de propagación";
- "Este fenómeno sucede cuando la luz pasa en forma de onda de un medio a otro cambiando su velocidad";
- "La refracción de la luz ocurre cuando la luz viaja siguiendo una trayectoria en línea recta y, al momento de cambiar de medio, su trayectoria cambia";
- "La refracción consiste en un cambio de dirección en la propagación de la luz cuando esta cambia de medio".

En un segundo grupo de respuestas están aquellas que hacen referencia al cambio de velocidad y al cambio de dirección sin mencionar el cambio en la longitud de onda:

- "Es el cambio de dirección y velocidad de la luz al pasar de un medio a otro";
- "La refracción de la luz consiste en un cambio de velocidad y dirección de la luz al pasar de un medio a otro";
- "La refracción genera una onda lumínica al traspasar de un medio a otro, produciéndose de inmediato un cambio en su dirección y su velocidad".

Como se puede apreciar en las respuestas, si bien se mencionan los cambios de velocidad y dirección, no se establece una relación de causa y efecto entre ellos.

A su vez, cuando se les pregunta directamente acerca de si la luz, al pasar de un medio en el que viaja más lento a otro en el que viaja más rápido con un cierto ángulo distinto a la normal, el rayo refractado se aleja o se acerca a la normal, y que argumenten por qué, más del 50% de los y las estudiantes responde que se acerca a la normal, cerca de un 20% responde que, o no lo sabe, o que ello depende del ángulo de incidencia, y solo un 30% responde que se aleja de la normal.

El hecho de que la mayoría afirme que el rayo refractado se acerca a la normal refleja la escasa apropiación que tienen sobre dicho fenómeno. Este error suele ser común y se atribuye, principalmente, a dos aspectos: el primero, es una falta de comprensión del fenómeno en sí [6], mientras que el segundo es que rara vez aparecen representaciones en que el primer medio tiene mayor índice que el segundo, por lo que las y los estudiantes, independientemente de los índices de refracción de los medios, suelen afirmar que el rayo refractado siempre se acerca a la normal [27].

Cuando a esos mismos estudiantes se les solicita que expliquen en qué consiste el fenómeno de reflexión total interna, cuándo sucede y por qué, más de un 80% reconoce que dicho fenómeno consiste en que el rayo de luz incidente, en lugar de traspasar al segundo medio, este se refleja en el primero. Sin embargo, cerca de un 40% de las respuestas no hacen alusión alguna a las condiciones necesarias para que ello suceda. Veamos algunos ejemplos de ellas:

- “Cuando la luz se refleja con el mismo ángulo de refracción, sin cambiar de medio”;
- “Se refiere al caso en que un rayo de luz no cruza a otro medio, sino que se refleja dentro de su mismo medio cambiando totalmente su dirección”;
- “La luz es incapaz de refractarse y se queda atrapada en un medio”.

Alrededor de un 25% de las respuestas incluyen una de las dos condiciones necesarias para que la reflexión total interna suceda

(bien sea que el índice de refracción del medio incidente debe ser mayor que el índice del segundo medio, o bien que el ángulo de incidencia debe superar el umbral del ángulo crítico). Algunas de esas respuestas son:

- “Sucede cuando la luz de un medio se refleja completa desde su entorno, y se genera cuando el ángulo de la luz incidente y la normal es mayor al ángulo crítico”;
- “La reflexión total interna es cuando la luz reflexiona en su totalidad, es decir que nada se pierde; para que esto ocurra el índice de reflexión del medio por donde se está propagando debe ser mayor al índice del medio donde choca”;
- “Sucede cuando la luz de un medio se refleja completa desde su entorno, y se genera cuando el ángulo de la luz incidente y la normal es mayor al ángulo crítico”.

Solo un 15% de las respuestas hacen alusión a ambas condiciones, como, por ejemplo:

- “Cuando un rayo de luz incide con determinado ángulo, pasa de un medio de mayor índice de refracción a otro de menor índice, se refracta. Si se supera ese ángulo (respecto de la normal) los rayos de luz no pueden salir del medio y se reflejan”.

Así pues, al analizar las respuestas dadas por las y los estudiantes a ciertas cuestiones sobre los principales aspectos del fenómeno de la refracción de la luz, antes de que se estudie formalmente el fenómeno en la asignatura de Física de la Luz, se puede concluir que la gran mayoría de ellos identifica adecuadamente el fenómeno de refracción como la desviación que sufre la dirección de propagación de la luz al cambiar de un medio a otro. A su vez, identifican el fenómeno de reflexión total interna como aquellos casos en que, por diversos motivos, el rayo de luz, al incidir sobre un cambio de medio, en lugar de refractarse se refleja. Asimismo, los y las estudiantes presentan mayores dificultades a la hora de identificar de manera precisa las condiciones para que un determinado fenómeno vinculado a la refracción ocurra. Por ejemplo, en qué circunstancias el rayo refractado se aleja de la normal, o bien cuándo sucede el fenómeno de reflexión total interna. Por otro lado, son muy escasas

aquellas respuestas que explicitan argumentos y/o explicaciones que plantean y/o relacionan adecuadamente el cambio de velocidad que sufre un frente de onda mientras cruza de un medio a otro como la causante de que la luz se refracte y que la longitud de onda varíe.

Los antecedentes presentados sobre las concepciones y conocimientos que tienen la mayoría de los y las estudiantes sobre el fenómeno de la refracción de la luz no hacen más que mostrar la necesidad de incorporar a los procesos de enseñanza-aprendizaje actividades formativas como las presentadas en este trabajo.

La Figura 14 muestra a un grupo de estudiantes de Física de la Luz realizando la actividad "La torcida". En esta ocasión, se aprovechó la estructura de un radier para delimitar la superficie que representa el circonio, mientras que la parte exterior al radier representa el aire. En la imagen se aprecia a todos los y las estudiantes avanzando

Figura 14

Imagen de realización de la actividad "La torcida" durante una clase de Física de la Luz en el momento en que parte del primer frente de onda está por ingresar al circonio.



al ritmo de dos pies por silbido. Sin embargo, ello está a punto de cambiar, puesto que uno de los extremos del primer frente de onda está por cruzar la interfaz aire/circonio. En el próximo silbido, la estudiante del gorro con rayas blancas de la primera fila va a avanzar un solo pie, mientras que el resto de sus compañeras y compañeros seguirán avanzando dos (en particular, también su compañera de frente de onda), hasta que, uno a uno, entren en el radier.

Cabe destacar que, una vez que experimentan varias de las actividades propuestas, como "La torcida", "La reversa" y "Sin salida", combinadas adecuadamente con experiencias de laboratorio, los y las estudiantes demuestran haberse apropiado de una profunda comprensión sobre el fenómeno de la refracción. Evidencia de ello es que, durante su realización, elaboran discursos argumentativos claros que explican el fenómeno de la refracción en sus diversas dimensiones.

Figura 15

Imagen de la realización de la actividad "La torcida" unos instantes después, cuando el último frente de onda está a punto de cruzar la interfaz aire/circonio.



Por ejemplo, durante la actividad “La torcida” realizada el presente año 2023, una vez que los y las estudiantes con sus frentes de onda estuvieron completamente inmersos en el circonio, se les formuló la pregunta ¿Qué sucedió? En esa ocasión, fueron capaces de responder que el rayo incidente, al entrar al circonio, cambió de dirección, acercándose a la normal. Luego, frente a la pregunta ¿En qué momento identifican que ello sucedió?, lograron identificar el momento en que los frentes de onda están atravesando la interfaz aire/circonio y pudieron explicar que el cambio de dirección se debe a que el frente de onda, al cruzar la interfaz con cierta inclinación, no lo hace simultáneamente, avanzando a un ritmo de un pie por síbido el extremo del frente que ya ha cruzado la interfaz, mientras que el otro extremo todavía sigue avanzando dos.

En palabras textuales de una estudiante:

- “El rayo se empezó a doblar hacia adentro [entiéndase, acercándose a la normal] en el momento en que yo ingresé al circonio. Ello porque empecé a avanzar un paso [se refiere a un pie], mientras que mi compañera siguió avanzando dos, y terminó de doblarse cuando ‘Antonia’ [se refiere a su compañera de frente de onda] entró al circonio. De ahí para adelante ambas avanzamos solo un paso, pero en una dirección distinta a la del aire”.

Estudiantes de ese mismo grupo, en la actividad “La reversa”, fueron capaces de anticipar que el rayo se va a refractar alejándose de la normal, argumentando que, a diferencia de la actividad “La torcida”, en esta ocasión el primer extremo del frente que sale es el que avanza dos pies, mientras que el extremo que todavía permanece inmerso en el circonio avanza solo uno. Ello provoca que el frente gire alejándose de la normal.

El cambio que tardaron más en identificar en el contexto de la experiencia fue, justamente, el de la longitud de onda. Ello llama mucho la atención puesto que, en este caso, los frentes de onda pasaron de estar separados un metro entre sí en la zona que representa el aire, a medio metro en la zona que representa el circonio. Desde luego, no cabe duda de que, a nivel vivencial, el cambio que más se percibe durante la experiencia es, precisamente, el hacinamiento de frentes de onda que se produce una vez se

entra en el circonio. Basta con contrastar la holgura con la que se mueven los y las estudiantes en cada silbido mientras permanecen en el aire (Figura 14), con la incomodidad con la que se avanza en el circonio (Figura 15). La explicación del porqué de esa dificultad para establecer ese cambio es, muy probablemente, atribuible al hecho mencionado anteriormente, respecto de que no identifican como posible respuesta válida que en un proceso de refracción cambie la longitud de onda. En definitiva, el cambio de dirección es un aspecto del fenómeno de refracción que tienen muy presente en sus concepciones, y no así el cambio en la longitud de onda.

De todos modos, y, en defensa de los dos grupos que el año 2023 hicieron la actividad, si bien se demoraron un par de minutos, ambos grupos, frente a la insistente pregunta de qué otro cambio percibían aparte de la dirección, terminaron por identificar que la longitud de la onda se redujo a la mitad. El siguiente diálogo se dio entre estudiantes y profesor cuando en el grupo 2, finalizada la actividad de la "La torcida", todavía permanecían los estudiantes "achoclonados" uno tras otro en el circonio, manteniendo firmemente los frentes de onda.

Profesor: Ya dijeron que cambió la dirección, pero es evidente que también hubo otro cambio... ¿o no?

Estudiantes: (silencio...)

Profesor: Pero, ¡mírense como están!

Estudiante 1: En el circonio los frentes de onda están mucho más juntos.

Profesor: ¿Y, entonces, qué es lo que cambió?

Estudiante 2: Que disminuyó la distancia de un frente a otro.

Profesor.: Ya, y ¿cuánto disminuyó?... ¿Aproximadamente?

Estudiante 2: ¿A la mitad?

Profesor: ¿Por qué a la mitad?

Estudiante 3: Pues, porque al momento de entrar un frente al circonio avanza solo un paso, mientras que el que está detrás, en el aire, todavía avanza dos.

Profesor: Y, entonces... ¿qué es lo que cambia?

Estudiante 1: *La distancia.*

Profesor: Ya, pero... ¿qué variable física es esa?

Estudiantes: *(silencio...)*

Profesor: *La distancia entre frente y frente... ¿qué variable física es?*

Estudiante 4: ¡Ya sé! ¡Ya sé! *La longitud de onda.*

A modo de conclusión, de manera muy preliminar, se puede afirmar que, la incorporación de algunas de las actividades diseñadas *ad hoc* para el estudio y la comprensión de ciertos fenómenos vinculados a la refracción de la luz, a secuencias didácticas más tradicionales, facilita que emerjan desde los y las estudiantes ciertos conceptos y discursos argumentativos que permiten establecer los principales fenómenos físicos que ocurren en el proceso de refracción de la luz y la relación entre ellos. Queda por averiguar cuán profundos son los cambios en la comprensión del fenómeno de la refracción atribuibles a la incorporación de estas actividades, y si son más bien perecederos o perduran en el tiempo. En unos años más, cuando estén explicando la refracción a sus estudiantes ¿se acordarán de aquellos tiempos en que eran universitarios y, en particular, de lo “achoclonados” que quedaron al final de “La torcida”? El tiempo lo dirá.

“... la incorporación de algunas de las actividades diseñadas *ad hoc* para el estudio y la comprensión de ciertos fenómenos vinculados a la refracción de la luz, a secuencias didácticas más tradicionales, facilita que emerjan desde los y las estudiantes ciertos conceptos y discursos argumentativos que permiten establecer los principales fenómenos físicos que ocurren en el proceso de refracción de la luz y la relación entre ellos”.

Referencias bibliográficas

- [1] Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2006). Learning styles and learning spaces: A review of the multidisciplinary application of experiential learning theory in Higher Education. In R. R. Sims, & S. J. Sims (Eds.), *Learning styles and learning*; pp. 45-91. Nova Science Publishers. Retrieved from www.researchgate.net
- [2] Keawkhong, K., Emarat, N., Arayathanitkul, K., Soankwan C., & Chitaree, R. (2008). Students' misunderstanding in using a ray diagram in light refraction, *Thai Journal of Physics*, series 3, 175-176.
- [3] Anderson, B., & Karrqvist, C. (1983). How Swedish pupils aged 12-15 understand light and its properties, *European Journal of Science Education*, V. 5, n. 4; pp. 387-402.
- [4] Bouwens, R. E. A. (1987). Misconceptions among pupils regarding geometrical optics. In J. Novak (ed.), *Proceedings of the Second International Seminar Misconception and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Vol. III, Ithaca, Cornell University; pp. 23-28.
- [5] Saxena, A. B. (1991). The understanding of the properties of light by students in India, *International Journal of Science Education* 13 (1991), 283-289.
- [6] Thompson, F., & Logue, S. (2006). An exploration of common student misconceptions in science *Int. Educ. J.*, 7 553-9.
- [7] Kaewkhong, K., Mazzolini, A., & Emarat, N. (2010). Thai high-school students' misconceptions about and models of light refraction through a planar surface *Phys. Educ.*, 45, 95-107.
- [8] Singh A. & Butler P. (1990). Refraction: Conceptions and knowledge structure, *International Journal of Science Education*, 12, 429-442.
- [9] Chen, J.-Y., Chang H.-P., & Guo C.-J. (2004). The development of a diagnostic instrument to investigate students' alternative conceptions of reflection and refraction of light, *Chinese Journal of Science Education*, 12 (2004); 311-340.
- [10] Ndiokubwayo, K. et al. (2020). Light phenomena conceptual assessment: an inventory tool for teachers, *Phys. Educ.* 55 035009 DOI 10.1088/1361-6552/ab6f20.
- [11] Kaltakci-Gurel D., Eryilmaz, A., & Mcdermott, L. C. (2017). Development and application of a four-tier test to assess preservice physics teachers' misconceptions about geometrical optics, *Res. Sci. Technol. Educ.*, 35, 238-60.
- [12] Galili, I. Hazan, A. (2000). The influence of an historically oriented course on students' content knowledge in optics evaluated by means of facets-schemes analysis, *Physics Education Research, a Supplement to the American Journal of Physics*, Vol. 68; pp. S3-S15.
- [13] Goldberg, F., Van Neie and Sukow (1995). Powerful Ideas in Physical Sciences, A model Course, *American Association of Physics Teachers*, College Park, Maryland.

- [14] Harrison A. G., & Treagust, D. F. (1993). Teaching with analogies: A case study in grade-10 Optics, *Journal of Research in Science Teaching*, 30 (1993); 1291-1307.
- [15] McDermott L. C. and the Physics Education Group at the University of Washington (1996). *Physics by Inquiry*, Wiley, New York, Vol. I; pp. 124-136.
- [16] Aydin, S. (2012). Remediation of misconceptions about geometric optics using conceptual change texts, *Journal of Education Research and Behavioral Sciences* 1 (2012) 1-12.
- [17] Dedes C., & Ravanis K. (2009). History of science and conceptual change: the formation of shadows by extended light sources, *Science & Education* 18 (2009) 1135-1151.
- [18] Ravanis K., & Boilevin J.-M. A comparative approach to the representation of light for five-, eight- and ten-year-old children: educational perspectives, *Journal of Baltic Science Education* 8 (2009); 182-190.
- [19] Newton, I. (1962). *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (London, 1686); Sir Isaac Newton's *Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World*, Vols. 1 and 2, A. Motte translation, revised and edited by F. Cajori (University of California Press, Berkeley).
- [20] Eugene, H. (2002). *Optics*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- [21] McDermott L. C. et al. (2000), *Phys. Educ.* 35 411. DOI 10.1088/0031-9120/35/6/306.
- [22] Hewitt, P. G. (2019). *Física conceptual* (10.a ed.), México: Addison Wesley Longman.
- [23] Jesper Haglund (2013). Collaborative and self-generated analogies in science education, *Studies in Science Education*, 49:1, 35-68, DOI: 10.1080/03057267.2013.801119.
- [24] Bachelard, G. (1988). La formación del espíritu científico, en G. Bachelard, *La formación del espíritu científico*, México: Siglo XXI.
- [25] Chevallard, Y. (1985). *La transposición didáctica. Del saber sabido al saber enseñado*, 1.a ed., Buenos Aires, Aique, 1985.
- [26] Chisholm, A. & Spencer, B. (2017). Let's get moving! Eight ways to teach information literacy using kinesthetic activities. *Pennsylvania Libraries: Research & Practice*, 5(1), 26-34. <https://doi.org/10.5195/palrap.2017.141>
- [27] Nasir, M., Cari, C., Sunarno, W., Rahmawati, F. (2021). Article Diagnostic Difficulties and Misconceptions of Light Refraction: A Need Analysis Learning Abstract Concepts Using PhET Simulation, *Advances in Engineering Research*, 209; pp. 317-322.



Capítulo 2

Laboratorios de Física en modo *b-learning* y dispositivos móviles

A nivel mundial, los países llevan décadas aplicando las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) a la educación a través de su integración en las escuelas y con el propósito de transformar la pedagogía y garantizar la equidad y la calidad del aprendizaje (UNESCO, 2023). Las competencias docentes desempeñan un papel fundamental para integrar las TIC en su ejercicio profesional. Requieren ser capaces de utilizarlas para facilitar el desarrollo de competencias en los y las estudiantes, las cuales deben estar "relacionadas con la sociedad del conocimiento, como la reflexión crítica e innovadora, la resolución de problemas complejos, la capacidad de colaboración y las aptitudes socioemocionales" (UNESCO, 2019).

En lo que se refiere a la formación docente, diversos organismos nacionales e internacionales han elaborado estándares que establecen las competencias, conocimientos y habilidades necesarias para el ejercicio profesional docente. A nivel internacional, la International Society for Technology in Education (ISTE) ha publicado estándares docentes en 2008 y 2021, y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha elaborado estándares TIC, cuyas versiones más recientes se difundieron en los años 2019 y 2023.

A nivel nacional, el Ministerio de Educación de Chile ha publicado diversos estándares en las últimas dos décadas: estándares TIC (MINEDUC, 2011), y estándares para la formación pedagógica y disciplinar para la profesión docente en 2012 y 2021. Los estándares vigentes para la Formación Inicial Docente (FID) de profesores de Física de Educación Media establecen, en lo relativo a las TIC, que el futuro docente "comprende cómo las herramientas digitales permiten apoyar los procesos de aprendizaje de la disciplina que enseña" (MINEDUC, 2021) e incorpora estas herramientas digitales en el diseño de actividades de aprendizaje. Respecto de las

¹ Ingeniera Física USACH, Magíster en Astronomía Universidad de Chile, Doctora en Ciencias en Física Educativa Instituto Politécnico Nacional de México.

habilidades de investigación científica, los estándares establecen que el futuro docente “selecciona e implementa experimentos, demostraciones, simulaciones digitales y laboratorios virtuales que permitan a sus estudiantes formular y fundamentar hipótesis; recolectar y analizar datos; elaborar, argumentar y comunicar conclusiones” (MINEDUC, 2021).

En el presente artículo se analiza el desarrollo y los resultados de una experiencia formativa que ha involucrado el uso de TIC durante más de una década en los laboratorios de Física de la carrera de Pedagogía en Física y Matemática/ Licenciatura en Educación de Física y Matemática (PLEFM) de la Universidad de Santiago de Chile (USACH). La primera parte del análisis aborda la utilización de la plataforma Moodle institucional para establecer un formato *blended-learning* (*b-learning*²) en las asignaturas de laboratorio. La segunda parte se enfoca en la incorporación de dispositivos móviles (DM) como instrumentos para medir y procesar datos en las sesiones de laboratorio. La última parte se refiere a cómo esta experiencia se puso en tensión por la situación de pandemia del Covid-19 y por la constatación de la brecha digital evidenciada tanto en el acceso a internet como en el uso de tecnologías digitales por parte de estudiantes y docentes.

“... se analiza el desarrollado y los resultados de una experiencia formativa que ha involucrado el uso de TIC durante más de una década en los laboratorios de Física de la carrera de Pedagogía en Física y Matemática...”

2 El *b-learning* implica la combinación de los ambientes presencial y virtual.

En su arquitectura curricular organizada en nueve semestres o niveles, la carrera contempla una Línea de Formación en Tecnologías Digitales que está conformada por seis asignaturas TICE ³, articuladas entre sí, cuyo propósito es desarrollar progresivamente en los y las futuras profesoras competencias digitales, comenzando con habilidades a nivel de usuario, hasta lograr el nivel de desarrolladores y administradores de contenido digital.

La carrera cuenta con dos asignaturas tipo taller: ¿Cómo Funcionan las Cosas I? (CFC I) y ¿Cómo Funcionan las Cosas II? (CFC II), y seis laboratorios para la formación disciplinar en física experimental:

- Nivel 1: Laboratorio Física de lo Cotidiano I.
- Nivel 2: Laboratorio Física de lo Cotidiano II.
- Nivel 3: ¿Cómo Funcionan las Cosas I? (CFC I).
- Nivel 5: Laboratorio de Termo-Fluidos.
- Nivel 6: Laboratorio de Electromagnetismo.
- Nivel 7: ¿Cómo Funcionan las Cosas II?, Laboratorio de Física de la Luz y Laboratorio de Física Moderna y Mecánica Cuántica.

Cada una de las asignaturas de la Línea de Formación en Tecnologías Digitales se articula con las asignaturas de la Línea de Formación Disciplinar en Física, principalmente con las que pertenecen al mismo nivel en la malla curricular. Por ejemplo, en el nivel 3, los y las estudiantes toman en paralelo TICE II: Tecnologías de Información y Comunicación en Educación II y CFC I: ¿Cómo Funcionan las Cosas I? En la primera, aprenden a elaborar páginas web, y en la segunda deben crear una página web para mostrar el desarrollo y los resultados de un proyecto semestral (Huerta-Cancino y Matus, 2019).

.....
3 TICE: Tecnologías de Información y Comunicación en Educación.

Desde el año 2009, se comenzaron a implementar los laboratorios en la plataforma Moodle, lo que permitió una mejor coordinación y administración de los laboratorios de la carrera. Profesores y estudiantes pueden acceder de forma remota en cualquier momento a los recursos y las actividades de la plataforma, pudiendo leer o descargar el reglamento de la asignatura, las guías de laboratorio, las rúbricas para la evaluación y, también, subir sus trabajos o informes.

Posteriormente, en el año 2016, se rediseñaron algunas de las experiencias para incorporar dispositivos móviles (DM) como instrumentos de medición y procesamiento de datos en las actividades experimentales, lo cual fue posible gracias a la obtención de recursos provenientes del FONDO PID 039-2016, que financiaron el proyecto de innovación docente: "Integración de dispositivos móviles en el laboratorio, para adquirir y procesar datos en actividades de física experimental para profesores en formación"⁴.

En el siguiente apartado se presenta la forma como se llevaron a cabo estas innovaciones.

"[Junto con lo desarrollado a partir del 2009 en la plataforma Moodle] en el año 2016, se rediseñaron algunas de las experiencias para incorporar dispositivos móviles (DM) como instrumentos de medición y procesamiento de datos en las actividades experimentales.."

4 Este proyecto se ejecutó en el periodo 2017-2019.

Desarrollo

Moodle y *b-learning*

En relación con el uso de la plataforma Moodle, se debe señalar que, desde el año 2009, progresivamente, seis de los ocho laboratorios de la carrera ⁵ se han organizado con una estructura común que consta de un reglamento general y normas específicas para cada laboratorio. Entre ellos, la presentación y organización visual de los distintos laboratorios es similar (Figura 1); la estructura de las guías de laboratorio contempla: título de la experiencia, objetivos, dimensiones que serán evaluadas, introducción, y el detalle de las actividades (Huerta, 2017).

El uso de la plataforma Moodle no estuvo enfocado solo en organizar archivos a modo de repositorio digital. El propósito apuntó siempre a desarrollar un formato híbrido (*b-learning*), con clases presenciales en los laboratorios docentes, y disponibilidad en línea de los recursos y actividades en todo momento (Figura 2). De este modo, los y las estudiantes pueden acceder a los archivos que

Figura 1

Organización visual en Moodle de los laboratorios de Electromagnetismo y de Física Moderna y Mecánica Cuántica.



⁵ Solo las asignaturas tipo taller ¿Cómo Funcionan las Cosas I? y ¿Cómo Funcionan las Cosas II? usan Google Drive en lugar de Moodle.

contienen las guías de laboratorio, subir sus trabajos a la plataforma en plazos definidos, y ser evaluados y retroalimentados a través de Moodle.

A medida que los desarrolladores de Moodle fueron actualizando la herramienta, se dispuso de una mayor variedad de recursos y actividades para ser trabajados en esta plataforma. Es así como, a partir de la versión 3.8 (a fines de 2019), Moodle integró H5P: un recurso de código abierto que permite crear contenido interactivo (cuestionarios, videos interactivos, visitas virtuales, juegos, actividades de arrastrar y soltar, entre otros recursos), mejorando la experiencia tanto de los creadores de

“El uso de la plataforma Moodle (...) apuntó siempre a desarrollar un formato híbrido (*b-learning*), con clases presenciales en los laboratorios docentes, y disponibilidad en línea de los recursos y actividades en todo momento”.

Figura 2

Recursos y actividades en la plataforma Moodle para el Laboratorio de Física Moderna y Mecánica Cuántica.

The screenshot shows a Moodle course page with a yellow header. The course title is 'Laboratorio sobre el Efecto Fotoeléctrico'. Below the header, there are navigation tabs for 'Lab. 1: Radiación Electromagnética', 'Lab. 2 Efecto FotoEléctrico', 'Lab. 3: Radiación Térmica', and 'Lab. 4: Exp. de Millikan'. The main content area is titled 'Laboratorio sobre el descubrimiento de la radiación infrarroja.' and is divided into several sections:

- GUÍA DE LABORATORIO:** Includes 'Guía 1: Radiación Electromagnética'.
- INFORME DE LABORATORIO:** Includes 'Reporte 1'.
- RECURSOS COMPLEMENTARIOS:** Includes 'La Radiación Solar', 'Radiación Solar y Climatología', 'El Espectro Electromagnético y sus aplicaciones', 'El experimento de W. Herschel', and 'El experimento de J. Ritter'.
- GUÍA DE LABORATORIO:** (repeated) Includes 'Guía n° 2: Efecto Fotoeléctrico'.
- INFORME DE LABORATORIO:** (repeated) Includes 'Taller sobre el Efecto Fotoeléctrico' and 'Regresión lineal (Efecto Fotoeléctrico)'.
- INFORME DE LABORATORIO:** (repeated) Includes 'Tarea: Efecto Fotoeléctrico Sección A', 'Rúbrica Tarea "Efecto Fotoeléctrico"', and 'Imágenes de instrumentos y montajes experimentales'.
- RECURSOS COMPLEMENTARIOS:** (repeated) Includes 'Applet Efecto Fotoeléctrico', 'Resumen y ejercicios Efecto Fotoeléctrico', and 'Normas APA 7'.

contenido interactivo como de los estudiantes. En la Figura 2 puede constatarse la incorporación de dos recursos H5P (presentaciones interactivas) creados para el Laboratorio de Física Moderna y Mecánica Cuántica relativos al efecto fotoeléctrico y la regresión lineal.

Dispositivos móviles en el laboratorio

Ante su alta disponibilidad (la mayoría de los y las estudiantes y docentes tienen uno), y dada la variedad y calidad de los sensores especializados que estos dispositivos incorporan en su arquitectura (chipset), los DM son una gran alternativa para ser usados como instrumentos de medición en los laboratorios docentes de física (Prieto et al., 2016). Aun cuando el uso de DM en la enseñanza de la física es relativamente reciente (tienen menos de quince años de desarrollo), la literatura especializada ha reportado una cantidad creciente de experiencias innovadoras, al punto que la revista *The Physics Teacher* creó la sección iPhysicsLab en 2012, dedicada exclusivamente a reportes sobre el uso de los DM en actividades de física experimental. Una década después, se publicó una selección de 70 experiencias de iPhysicsLab (Kuhn y Vogt, 2022).

El uso progresivo de DM en las actividades experimentales de física se debe no solo a los sensores integrados, sino también al desarrollo de apps capaces de leer y procesar la información generada por esos sensores. Entre las apps más usadas pueden mencionarse Physics Toolbox Sensor Suite, Lab4U, Androsensor, Phyphox, Magnetometer, entre otras. A continuación, se presentan algunos de los distintos sensores disponibles en DM y las actividades experimentales en las que han sido utilizados (Tabla 1).

“El uso progresivo de DM en las actividades experimentales de física se debe no solo a los sensores integrados, sino también al desarrollo de apps capaces de leer y procesar la información generada por esos sensores”.

El proyecto PID O39-2016 mencionado anteriormente, que nos fue adjudicado por la USACH, tenía como objetivo principal que los “futuros profesores desarrollen las competencias necesarias para realizar fluidamente la transposición didáctica al aula de enseñanza media, utilizando dispositivos móviles, de fácil acceso, en lugar de los instrumentos de alta tecnología (y de alto costo) con los que generalmente se trabaja en los laboratorios de Física” (Huerta, 2017). La implementación de este proyecto comenzó con los laboratorios de primer año de la carrera (Laboratorio Física de lo Cotidiano I y Laboratorio Física de lo Cotidiano II). Se rediseñaron

Tabla 1

Sensores integrados en DM y sus usos como instrumentos para física experimental, publicados en revistas especializadas.

Nombre del sensor	Usos	Autores(as)
cámara (CCD o CMOS)	Estudios cinemáticos de videos cortos (trayectoria, rapidez, aceleración, etc.)	Calderón, Núñez y Gil (2009)
micrófono	Fenómenos acústicos (detección de ondas sonoras, tono, timbre, intensidad)	Kuhn y Vogt (2022)
proxímetro	Periodo de péndulos, aceleración de gravedad	Martínez (2015)
acelerómetro	Estudios cinemáticos y dinámicos (fuerza y aceleración)	Vogt y Kuhn (2012)
GPS	Estudios cinemáticos (trayectorias geolocalizadas, rapidez)	González et al. (2015)
giroscopio	Rapidez angular	Kuhn y Vogt (2022)
magnetómetro	Campos magnéticos (terrestre o generados por electrodomésticos)	Arribas et al. (2015)
fotómetro	Fenómenos luminosos (intensidad de la luz, interferometría, etc.)	Kuhn y Vogt (2022)
barómetro	Presión atmosférica	Kuhn y Vogt (2022)

guías para incorporar DM como instrumentos para la adquisición de datos (mediciones) a través de sus sensores, y para el uso de apps especializadas tanto para acopiar como para procesar datos (en Android y en IOS).

En el año académico 2017, se adquirieron iPads Mini 4 para su uso exclusivo en los laboratorios de la carrera, debido a la gran calidad de sus sensores y por ser casi el único DM con un barómetro. Estos DM se usaron ininterrumpidamente en las clases de laboratorio, hasta la suspensión de la enseñanza presencial debido a la pandemia.

Laboratorios en pandemia

Durante la pandemia por Covid-19, las clases (tanto cátedras como laboratorios) se realizaron en modalidad telemática. Los y las estudiantes de la carrera ya tenían experiencia con la plataforma Moodle, por lo que su uso no representó ningún obstáculo. Lo único realmente diferente fue el mayor uso del Foro Novedades, y el mayor problema lo representó la conectividad a internet por parte de los y las estudiantes desde sus hogares, y la falta de condiciones para generar un espacio propicio para el aprendizaje. La autoridad universitaria dispuso de becas de conectividad para ellos y ellas, y la carrera les facilitó DM (iPads) a quienes lo solicitaron.

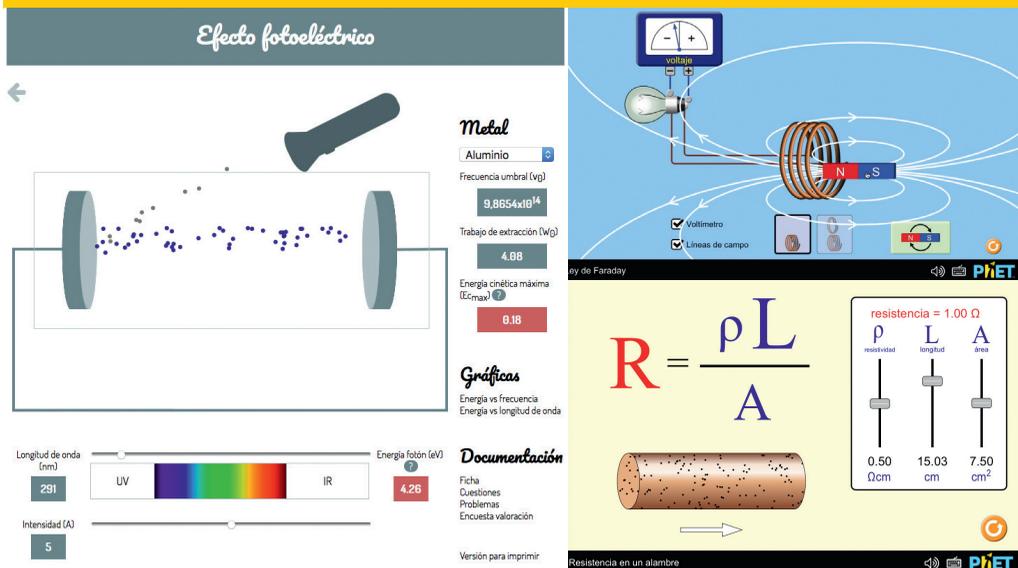
Las clases de laboratorio se realizaron en forma sincrónica por videoconferencia (usando Zoom), semanalmente. Las actividades experimentales fueron adaptadas para que los estudiantes comenzaran realizando actividades indagatorias con materiales de bajo costo y con DM en sus hogares, para después hacer una puesta en común sobre los principales hallazgos. Luego, se mostraban imágenes y videos de los materiales correspondientes a la experiencia, se explicaba el montaje experimental y el procedimiento para realizar las mediciones de las cantidades físicas involucradas en el fenómeno estudiado.

“[durante el confinamiento por la pandemia] Las actividades experimentales fueron adaptadas para que los estudiantes comenzaran realizando actividades indagatorias con materiales de bajo costo y con DM en sus hogares, para después hacer una puesta en común sobre los principales hallazgos”.

Ante la imposibilidad de realizar mediciones con instrumentos calibrados de alta tecnología en los laboratorios de docencia, y cuando los sensores de los DM no eran los apropiados para la experiencia, en las clases en línea se trabajó con datos experimentales obtenidos en semestres anteriores, y se efectuó el procesamiento de datos con énfasis en la retroalimentación a los y las estudiantes. Para el procesamiento de datos, se usaron herramientas en línea como hojas de cálculo y documentos de Google, y la pizarra Jamboard. También se utilizaron manipulativos virtuales, simulaciones interactivas, recursos multimedia y de realidad aumentada (RA) para ofrecer mayores oportunidades de aprendizaje a los y las estudiantes. Por ejemplo, para el aprendizaje del efecto fotoeléctrico en el Laboratorio de Física Moderna y Mecánica Cuántica, se utilizó el manipulativo virtual de FECYT ⁶, y en el Laboratorio de Electromagnetismo se usaron simulaciones interactivas PHET ⁷ (Figura 3).

Figura 3

A la izquierda, el manipulativo virtual para el aprendizaje del efecto fotoeléctrico (<https://acortar.link/lkDDhR>) utilizado en el Laboratorio de Física Moderna y Mecánica Cuántica. A la derecha, simulaciones PHET (<https://shre.ink/lx7f>) usadas en el Laboratorio de Electromagnetismo.



6 Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.

7 PHET: Physics Education Technology - Universidad de Colorado.

Resultados

La implementación de los laboratorios en modalidad *b-learning* usando la plataforma Moodle institucional ha pasado a formar parte de la “cultura” de la comunidad educativa de la carrera. Cuando se ha encuestado al estudiantado, han valorado muy positivamente el poder acceder a las actividades y recursos digitales de esta plataforma (Huerta, 2017), y los registros de actividad en Moodle muestran, semestre a semestre, un alto nivel de uso de los videotutoriales y de las presentaciones interactivas H5P disponibles.

“La implementación de los laboratorios en modalidad *b-learning* usando la plataforma Moodle institucional ha pasado a formar parte de la ‘cultura’ de la comunidad educativa de la carrera”.

Es importante destacar que el uso de DM implicó que muchos estudiantes usaran iPads por primera vez. Al disponer de videotutoriales sobre cómo usar DM en las experiencias de laboratorio, los y las estudiantes llegaban a las clases ya preparados y, a medida que transcurría el tiempo, empezaron a usar sus propios *smartphones* como instrumentos de medición.

Figura 4

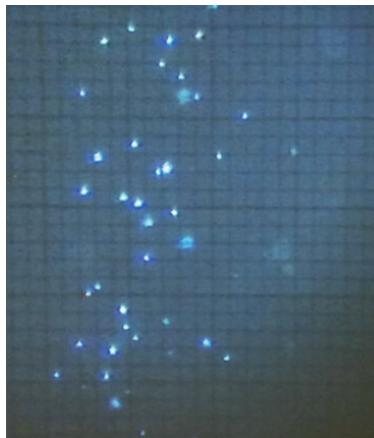
A la izquierda, una nota adhesiva en Jamboard que muestra los resultados obtenidos por estudiantes de la rapidez de una gota en el experimento de Millikan, mediante el análisis del video sobre el movimiento de las gotas (imagen a la derecha).

Para la gota 1 (rapidez de subida):

$v_s = 1,179 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_s = 1,112 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_s = 1,005 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_s = 1,083 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_s = 1,1573 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_s = 1,096 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_s = 1,060 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_s(\text{promedio}): 1,099 \cdot 10^{-4}$ (m/s)

Para la gota 1 (rapidez de caída):

$v_c = 1,368 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_c = 1,333 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_c = 1,332 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_c = 1,363 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_c = 1,317 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_c = 1,548 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_c = 1,3529 \cdot 10^{-4}$ (m/s)
 $v_c(\text{promedio}): 1,373 \cdot 10^{-4}$ (m/s)



Respecto de las evaluaciones de los aprendizajes, generalmente en los laboratorios de Física se evalúan informes de cada experiencia, y, en algunas ocasiones, el desarrollo de un proyecto final. Sin embargo, durante la pandemia se diversificaron las evaluaciones formativas y se utilizaron diversos espacios de colaboración en línea para la socialización de los aprendizajes. Por ejemplo, en el Laboratorio de Física Moderna y Mecánica Cuántica se usó Jamboard para socializar desarrollos y resultados de procesamiento de datos en un trabajo colaborativo sincrónico⁸ (Figura 4) y se usó Padlet para socializar el planteamiento de hipótesis y hallazgos de actividades indagatorias de forma asincrónica (Figura 5).



Figura 5 Captura del Padlet sobre radiaciones electromagnéticas fuera del espectro visible. Los estudiantes subieron videos cortos que mostraban sus hallazgos y redactaron hipótesis y posibles explicaciones.

8 Sincrónico se refiere a la instancia en que los participantes están conectados en línea realizando la actividad al mismo tiempo.

Como se mencionó anteriormente, los instrumentos de evaluación en los laboratorios se diversificaron durante la pandemia, pasando de solo informes escritos, a pósters en formato pdf y videos cortos de presentaciones con diapositivas. En la Figura 6 se presenta una selección de trabajos en formato póster elaborados por estudiantes en el Laboratorio de Física Moderna y Mecánica Cuántica:

Figura 6

Imágenes de pósters elaborados por estudiantes durante la pandemia.

Radiación Térmica

Autoras: Karen Almonacid y Sofía Ariola
Profesoras Leonor Huerta

I. Introducción

II. Materiales e instrumentos

III. Montaje

V. Datos experimentales

Intensidad	Reflexividad (%)	Volaje (V)	Distancia (cm)
Negro	76,9	5,7	
Reflexivada	76,8	0,8	
Blanca	76,7	8,9	
Opaca	76,7	2	

VI. Procesamiento de datos

Color	Intensidad	Potencia (W)
Negro	8,7	100
Reflexivada	0,8	0,25
Blanca	8,9	0,25
Opaca	2,0	0,25

VIII. Bibliografía

INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN TÉRMICA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

Fernanda Vargas Ángel

OBJETIVOS

- Explicar el concepto de radiación térmica y la relación entre sus variables
- Determinar experimentalmente la dependencia funcional entre la radiación de una fuente y la distancia

RADIACIÓN TÉRMICA

Se entiende equilibrio térmico cuando las partículas que tiene un cuerpo coinciden aproximadamente a una misma temperatura. Se conoce como radiación térmica cuando dicho cuerpo que se encuentra en este equilibrio emite radiación debido a su temperatura. En dicha radiación se liberan fotones o energía debido a ella.

FLUJO Y DENSIDAD DE FLUJO DE UNA FUENTE PUNTUAL

El flujo de una fuente puntual de radiación, se encuentra distribuido de forma homogénea en todas las direcciones, teniendo como centro la fuente. Mientras que la densidad de una fuente puntual depende del flujo y la energía por unidad de área.

En cambio, la intensidad de la radiación no es homogénea y varía según la distancia. La relación que existe entre la distancia y la intensidad es la que se busca establecer.

MONTAJE EXPERIMENTAL

MATERIALES

ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

A partir del gráfico n°1 se puede deducir que las variables se encuentran relacionadas inversamente. Lo que queda confirmado luego de la rectificación de los datos, donde dicha relación consiste en que la intensidad de radiación disminuye con el inverso del cuadrado de la distancia.

REFERENCIAS

Una experiencia que generó mucho entusiasmo entre los y las estudiantes correspondió a una actividad exploratoria sobre emisión de radiación térmica para superficies diferentes (blanca, negra, plateada y opaca) a una misma temperatura. Ante la imposibilidad de implementar la experiencia con el cubo de Leslie, los estudiantes debieron usar un tarro metálico mediano (como un envase de café o de leche) y "pintarlo" para lograr las combinaciones blanca-plateada, blanca-negra, negra-plateada y plateada-opaca. Debían verter agua caliente dentro del tarro y taparlo para, a continuación,

ubicar las palmas de las manos frente a cada uno de los “colores” del tarro y describir la sensación térmica en cada mano. Esta actividad fue realizada en forma individual, y cada estudiante debió reportar el desarrollo de la experiencia y sus resultados en un video corto. En la Figura 7 se muestra una captura de la implementación de una estudiante, y el resultado de la puesta en común para la combinación negra-plateada: es destacable que más del 94% de los estudiantes reportaran la misma sensación de que la cara del tarro pintada de negro irradiaba más energía que la cara plateada. De hecho, para las cuatro combinaciones exploradas, los reportes de la gran mayoría de los estudiantes coincidieron con los resultados que habrían obtenido en el laboratorio utilizando el cubo de Leslie.

“Una experiencia que generó mucho entusiasmo entre los estudiantes correspondió a una actividad exploratoria sobre emisión de radiación térmica para superficies diferentes (blanca, negra, plateada y opaca) a una misma temperatura”.

Figura 7

A la izquierda, el gráfico muestra que un 94,3% de los estudiantes declara que la mitad del tarro pintada de negro irradia más energía que la mitad plateada. A la derecha, se muestra una captura del video realizado por una estudiante

Respecto de la situación planteada (pulida)-mitad negra, la sensación en las manos fue: (35 respuestas)



Evaluación



La modalidad *b-learning* para los laboratorios de la carrera ha demostrado ser una implementación exitosa en varias dimensiones: ha permitido una mejor coordinación de los distintos laboratorios y de sus múltiples secciones; la organización estructural y gráfica de los recursos y actividades en la plataforma ha facilitado a los y las estudiantes adquirir habilidades para desenvolverse en este entorno virtual de aprendizaje desde el primer semestre (al cursar Laboratorio Física de lo Cotidiano I). Ello, definitivamente, implicó una ventaja al enfrentar la docencia en pandemia.

El uso de DM y recursos digitales (simulaciones interactivas, realidad aumentada, cápsulas de video, entre otras) ha permitido que los futuros profesores y profesoras de Física y Matemática adquieran competencias y habilidades para el desarrollo de actividades experimentales con materiales de bajo costo y mediante la utilización de tecnologías digitales de alta disponibilidad (como es el caso de los *smartphones*), condiciones que facilitan su implementación en el aula de Educación Media. En este sentido, se pudo constatar que los y las estudiantes que ingresaron a la carrera durante la pandemia desarrollaron estas competencias y habilidades, aun cuando algunos no tenían experiencia previa en laboratorios docentes. El desafío para ellos y ellas, al volver a la presencialidad, consistió en aprender a trabajar con materiales e instrumentos especializados propios de los laboratorios, realizar montajes experimentales y mediciones.

Otro aspecto destacable es que la Línea de Formación en Tecnologías Digitales y la incorporación de DM en las experiencias de laboratorios de Física ha significado que un importante número de estudiantes realizaran sus trabajos de seminario de grado sobre diseños didácticos con uso de dispositivos móviles y apps para adquirir y procesar datos en actividades experimentales. Algunos de estos trabajos son:

- “Elaboración de un diseño didáctico experimental con metodologías de aprendizaje activo, para tópicos de cinemática y dinámica de Enseñanza Media, usando dispositivos móviles” (Bahamondes et al., 2015).

- “Enseñanza de la Física en el contexto de las nuevas tecnologías móviles y portables: herramientas, usos y posibilidades con un enfoque ECBI” (Acuña et al., 2015).
- “Convergiendo por medio de los juegos digitales hacia la reflexión de la luz y su aprendizaje: Propuesta didáctica para primer año de Educación Media” (Medina et al., 2016).
- “Propuesta didáctica integrando los teléfonos inteligentes para enseñar, aprender y hacer ciencia” (Bozo et al., 2022).
- “Propuesta de aprendizaje de ciencia sobre sonido y audición para estudiantes de primero medio” (Mery y Poblete, 2018).

A modo de reflexión final, y proyectando líneas de desarrollo a futuro, es importante considerar la integración de metodologías emergentes, como el aprendizaje móvil y el aprendizaje ubicuo, en el diseño didáctico de las experiencias de laboratorio. El hecho de que los estudiantes trabajen experimentalmente con elementos que les son significativos en su vida cotidiana, además de serles asequibles por su bajo costo, junto con el uso de DM, constituye una instancia de aprendizaje contextualizado que contribuye a internalizar conocimiento científico acorde con lo que señalan Putnam y Borko (2000) respecto de la naturaleza de la cognición (contextualizada y construida).

En el sistema educativo, los y las profesoras de ciencias tienen pocas posibilidades de disponer de una sala de laboratorio en el establecimiento educacional. En cambio, encontrarán una alta disponibilidad de DM: ya en 2013 había más *smartphones* que población mundial (UNESCO, 2013). En esto radica la importancia del compromiso de integrar las TIC, y, en especial, los DM, en el aprendizaje de la física experimental. Además, concuerda completamente y promueve la consecución del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4 (ODS 4) de la ONU para 2030: garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje a lo largo de la vida para todos y todas.

“A modo de reflexión final, y proyectando líneas de desarrollo a futuro, es importante considerar la integración de metodologías emergentes, como el aprendizaje móvil y el aprendizaje ubicuo, en el diseño didáctico de las experiencias de laboratorio”.

Referencias bibliográficas

- Acuña, C., Candia, M. y Solar, S. (2015). Enseñanza de la Física en el contexto de las nuevas tecnologías móviles y portables: herramientas, usos y posibilidades con un enfoque ECBI [tesis de pregrado, Universidad de Santiago de Chile].
- Arribas, E., Escobar, I., Suárez, C., Nájera, A. y Beléndez, A. (2015). Medida del campo magnético de imanes pequeños con un smartphone: una práctica de laboratorio muy económica. En E. Arribas y A. Nájera (Eds.), *Experiencias de innovación docente en la enseñanza de la Física universitaria* (pp. 209-222), Albacete, España.
- Bahamondes, C., Ferreira, L. y Herrera, C. (2015). Elaboración de un diseño didáctico experimental con metodologías de aprendizaje activo, para tópicos de cinemática y dinámica de Enseñanza Media, usando dispositivos móviles [tesis de pregrado, Universidad de Santiago de Chile].
- Bozo, C., Budin, C. y León, S. (2022). Propuesta didáctica integrando los teléfonos inteligentes para enseñar, aprender y hacer ciencia [tesis de pregrado, Universidad de Santiago de Chile].
- Calderón, S., Núñez, P. y Gil, S. (2009). La cámara digital como instrumento de laboratorio: estudio del tiro oblicuo, *Latin-American Journal of Physics Education*, 3(1), 87-92.
- González, M., Da Silva, J., Cañedo, J., Huete, F., Martínez, Ó., Esteban, D., Rochadel, W., Manso, J. y González, M. (2015). Doing physics experiments and learning with smartphones, *Proceedings of the 3rd International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality* (pp. 303-310), Porto, Portugal.
- Huerta, L. (2017). Uso de TIC en actividades experimentales de Física en formación inicial docente, en J. Silva (Ed.), XX Congreso Internacional EDUTEC: *Educación y tecnología. Una mirada desde la investigación e innovación* (pp. 1007-1010), Santiago, Chile.
- Huerta-Cancino, L. y Matus, C. (2019). Integración de TIC en la formación inicial docente en Física y Matemática, en R. Barrera y R. Montaña (Eds.), *Innovación y tecnologías. Mitos y realidades*; pp. 131-136.
- Kuhn, J. y Vogt, P. (2022). Smartphones as Mobile Minilabs in Physics. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-94044-7>
- Medina, A., Mesías, M. y Tapia, O. (2016). Convergiendo por medio de los juegos digitales hacia la reflexión de la luz y su aprendizaje: Propuesta didáctica para primer año de Educación Media [tesis de pregrado, Universidad de Santiago de Chile].

Mery, A., y Poblete, J. (2018). Propuesta de aprendizaje de ciencia sobre sonido y audición para estudiantes de primero medio [tesis de pregrado, Universidad de Santiago de Chile].

MINEDUC (2011). Competencias y estándares TIC para la profesión docente [Archivo PDF]. <https://11nq.com/BWEGO>

MINEDUC (2012). Estándares orientadores para las carreras de pedagogía de Educación Media [Archivo PDF]. <https://onx.la/e09e4>

MINEDUC (2021). Estándares pedagógicos y disciplinarios para carreras de pedagogía en Física de Educación Media [Archivo PDF]. <https://onx.la/d301f>

Martínez Pérez, J. E. (2015). Obtención del valor de la aceleración de la gravedad en el laboratorio de Física. Experiencia comparativa del sensor de un teléfono celular inteligente y el péndulo simple, en *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(2), 341-346.

Prieto, C., Santos, M., Hernández, A., Merchán, M., Rodríguez, C. y Queiruga, A. (2016). Dispositivos móviles como instrumentos para la adquisición de competencias en materias de ciencias, *VI Jornada de Innovación Docente de la Universidad de Valladolid: Los Universos Docentes*. Coordinadores: Valentín Cardeñoso Payo, Alfredo Corell Almuzara. Valladolid: Área de Formación Permanente e Innovación Docente, 2016, pp. 7-11.

Putnam R. y H. Borko (2000). El aprendizaje del profesor: implicaciones de las nuevas perspectivas de la cognición, en Biddle, Bruce J., Good, Thomas L. y Goodson, Ivor F.: *La enseñanza y los profesores I. La profesión de enseñar*, Barcelona: Paidós.

Salinas, I. (2019). Didáctica de la física experimental con *smartphones* [tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia].

UNESCO (2013). UNESCO Policy Guidelines for Mobile Learning, Paris, France: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNESCO (2019). Competencias y estándares TIC desde la dimensión pedagógica: una perspectiva desde los niveles de apropiación de las TIC en la práctica educativa docente [Archivo PDF].

UNESCO (2023). Directrices para la formulación de políticas y planes maestros de TIC en educación, París, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

Vogt, P. y Kuhn, J. (2012). Analyzing free fall with a smartphone acceleration sensor, *The Physics Teacher*, 50(3), 182-183. <http://doi.org/10.1119/1.3685123>



Capítulo 3

“De la sociedad al número”: Propuesta de enseñanza de los números racionales utilizando aprendizaje situado en tres liceos vulnerables

Claudia Matus Zúñiga¹
Danny Ahumada Vargas²
Manuel Núñez Bravo³
Evelyn Aguillón Santelices⁴
Pablo Gasc Navia⁵

No cabe duda alguna acerca de la importancia de que los profesores y las profesoras reflexionen sobre sus prácticas docentes. Esta convicción fue el punto de partida de la experiencia que se presenta a continuación. Según Dewey (1989), la reflexión sobre la práctica pedagógica permite hacer una conexión entre los individuos y sus contextos, con el propósito de facilitar que examinen críticamente sus actitudes, creencias, valores y prácticas de enseñanza, de tal manera que puedan identificar aquellas situaciones que requieren ser modificadas o reformuladas para la mejora del ejercicio docente.

Esta experiencia destacada, realizada en el contexto de trabajo de un seminario de grado, permitió a tres egresados de la carrera de Pedagogía en Física y Matemática/Licenciatura en Educación de Física y Matemática (PLEFM) de la Universidad de Santiago de Chile (USACH), que ejercían docencia en colegios de la Región Metropolitana de Santiago, reflexionar sobre las dificultades que enfrentaban en la enseñanza y aprendizaje de la matemática, condición que se acentuaba en contextos vulnerables; como, también, meditar acerca de la forma de mejorar su práctica pedagógica.

- 1 Profesora de matemática y computación, Master of Arts in Education, New Mexico State University. Docente del área Didáctica de las Matemáticas y Tecnologías Digitales, Pedagogía en Física y Matemática/Licenciatura en Educación de Física y Matemática (PLEFM), Universidad de Santiago de Chile (USACH).
- 2 Profesor de Historia y Geografía, Doctor en Estudios Americanos, USACH. Docente del área de CTSa, carrera PLEFM, USACH.
- 3 Profesor de Física y Matemática, egresado carrera PLEFM, USACH, Magíster en Innovación Curricular y Evaluación Educativa, Universidad del Desarrollo. Docente del Liceo Técnico Clelia Clavel Dinator, Región Metropolitana de Santiago.
- 4 Profesora de Física y Matemática, egresada carrera PLEFM, USACH. Docente de matemática, Instituto Domingo Eyzaguirre, San Bernardo, Región Metropolitana de Santiago.
- 5 Profesor de Física y Matemática, egresado carrera PLEFM, USACH. Docente de matemática, Centro Educacional Eduardo de la Barra, Recoleta, Región Metropolitana de Santiago.

“De la sociedad al número” fue el título escogido por los seminaristas para el trabajo académico que les permitiría acceder al grado de Licenciado/a en Educación de Física y Matemática. Su objetivo fue transformar el proceso de enseñanza de los números racionales –contenido que percibían como difícil de entender por parte de los y las estudiantes de primer año de educación secundaria, por su nivel de abstracción y por el simbolismo utilizado–, en una temática susceptible de ser comprendida contextualizando su uso a su vida y a su comunidad.

Mediante una estrategia interdisciplinaria, basada en el uso del enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) (Acevedo, 2001) y del Aprendizaje Situado (Brown, Collins & Duguid, 1989), se relacionaron los números racionales con el tema Vida Saludable y Salud, correspondiente a una unidad de la asignatura de Educación Física de primer año medio, uniendo así objetivos de dos sectores del currículum: Matemática y Educación Física. Vale destacar que la temática Vida Saludable surgió como resultado de una encuesta aplicada a un grupo de estudiantes de primero medio, participantes de la experiencia que aquí se reporta.

“A través de una estrategia interdisciplinaria (...) se relacionaron los números racionales con el tema Vida Saludable y Salud, correspondiente a una unidad de la asignatura de Educación Física de primer año medio, uniendo así objetivos de dos sectores del currículum: Matemática y Educación Física”.

La propuesta consistió en el diseño y desarrollo didáctico de tres guías tituladas: “Aprendiendo sobre las colaciones saludables”, “¿Constantemente realizamos actividad física?” y “¿Cuáles son los factores que afectan a una vida saludable?”, las cuales fueron validadas y posteriormente aplicadas al aula en tres establecimientos de contextos vulnerables de la Región Metropolitana de Santiago de Chile.

Desarrollo

..... Diseño de una propuesta didáctica

Sobre la base de este planteamiento, se requirió recopilar algunos antecedentes previos, revisar teorías y establecer algunos principios que orientarían el diseño didáctico esperado.

Conceptualizando la vulnerabilidad escolar y los resultados en Matemática

De acuerdo con varios autores, la vulnerabilidad escolar no puede ser circunscrita directamente a la pobreza. Como señala Pérez de Armiño (2005), la vulnerabilidad se ha convertido en un fértil instrumento de estudio de la realidad social, de disección de sus causas profundas, de análisis multidimensional, que atiende no solo a lo económico, como puede ser la pobreza, sino también a los vínculos sociales, el peso político, el entorno físico y medioambiental o las relaciones de género, entre otros factores. Bohle (1993) aclara que, mientras la pobreza se puede cuantificar en términos económicos absolutos, la vulnerabilidad es un concepto relacional y social que depende de las contradicciones y conflictos sociales.

Sin embargo, constituye una variable común de clasificación de los resultados de aprendizaje el nivel de ingreso de los padres. Por ejemplo, de acuerdo con las evaluaciones SIMCE y TIMMS aplicadas en Chile, estudiantes pertenecientes al grupo socioeconómico bajo alcanzan solo un nivel de logro inicial en los desempeños esperados de la asignatura de Matemática. Lo anterior implica, de forma específica, que estos alumnos y alumnas están recién iniciando la comprensión de los números naturales, la realización de cálculos simples, el estudio de las formas geométricas y el manejo de aspectos básicos de la resolución de problemas al finalizar octavo básico (Agencia de la Calidad, 2020). Por su parte, los y las estudiantes del grupo socioeconómico alto logran desempeños esperados de acuerdo a los Objetivos de Aprendizajes (OA) propuestos en los programas oficiales de estudio.

Una aproximación a los posibles motivos por los cuales podría generarse esta diferencia en los niveles de aprendizaje se centra en el análisis y caracterización del capital cultural (Bourdieu y Passeron, 1977) de los y las estudiantes de escuelas en contextos de vulnerabilidad. Lo anterior permite entender que estos estudiantes poseen un capital cultural distinto al capital cultural que la escuela valora y que se reconoce, personificado en la labor del o de la profesora en la sala de clases. Desde el punto de vista de la Teoría Antropológica de lo Didáctico desarrollada por Chevallard (1997), esto se explica, además, porque las y los profesores de Matemática muchas veces imponen sus formas de razonamiento, conocimiento y creencias respecto de lo que están enseñando, influenciados por el currículum y los textos de estudio prescritos. Ello podría desvincular al estudiante del proceso de construcción del conocimiento matemático, dejando su capital cultural relegado en segundo plano respecto de su utilidad en el proceso de aprendizaje.

Enfoque de Ciencia, Tecnología y Sociedad y aprendizaje situado para la educación matemática

A partir del enfoque CTS, se trata de comprender mejor el rol de la ciencia y la tecnología en su contexto social, y, en particular, en la educación. Este enfoque nace como una innovación al currículum, destinada a promover la alfabetización científica y tecnológica, y tiene como finalidad formar ciudadanos y ciudadanas informadas, responsables y capaces de tomar decisiones razonadas (Manassero, Vázquez y Acevedo, 2001). Los estudios CTS buscan comprender la dimensión social de la ciencia y de la tecnología, tanto desde el punto de vista de sus orígenes como de sus consecuencias sociales y ambientales, es decir, tanto por lo que atañe a los factores de naturaleza social, política y económica que modulan el cambio científico-tecnológico, como por lo concerniente a las repercusiones éticas, ambientales o culturales de ese cambio. De esta manera, la educación matemática con un enfoque CTS debiese también considerar estas cuestiones de la ciencia, la tecnología y la sociedad como parte del propio rol en la formación ciudadana.

Una visión complementaria proviene del paradigma de la cognición situada, que representa una de las tendencias actuales más promisorias de la teoría y la actividad sociocultural (Daniels, 2003). Su emergencia está en oposición directa a la visión de ciertos enfoques de la psicología cognitiva y a innumerables prácticas educativas escolares en las que se asume, explícita e implícitamente, que el conocimiento puede abstraerse de las situaciones en que se aprende y se emplea. Por el contrario, los teóricos de la cognición situada parten de la premisa de que el conocimiento es situado, es parte y producto de la actividad, del contexto y de la cultura en que se desarrolla y utiliza. Esta visión, relativamente reciente, ha desembocado en un enfoque instruccional, la enseñanza situada, que destaca la importancia de la actividad y el contexto para el aprendizaje y reconoce que el aprendizaje escolar es, ante todo, un proceso de enculturación en el cual los estudiantes se integran gradualmente a una comunidad o cultura de prácticas sociales.

Los estudios realizados por Font (2006) señalan que las matemáticas informales e idiosincrásicas son las dominantes en la vida cotidiana y en el mundo laboral, mientras que la matemática formal es la que predomina en la enseñanza escolar. Este autor plantea que algunas de las personas que fracasan en matemática a nivel escolar pueden llegar a ser lo suficientemente competentes para usar el mismo contenido matemático en la vida diaria. Por ejemplo, un vendedor en un almacén o en la feria puede realizar un cálculo bastante rápido y eficaz de operatoria en fracciones

“Los estudios CTS buscan comprender la dimensión social de la ciencia y de la tecnología, tanto desde el punto de vista de sus orígenes como de sus consecuencias sociales y ambientales... [Por su parte, el] paradigma de la cognición situada (...) está en oposición directa a la visión de ciertos enfoques de la psicología cognitiva y a innumerables prácticas educativas escolares en las que se asume, explícita e implícitamente, que el conocimiento puede abstraerse de las situaciones en que se aprende y se emplea”.

y decimales, pero, escrito, el resultado puede no ser el mismo, de modo que no refleje la habilidad matemática que posee el comerciante.

El enfoque CTS y el enfoque de la enseñanza situada pueden contribuir en la asignatura de Matemática a desarrollar en los y las estudiantes habilidades de resolución de problemas, favorecer el razonamiento lógico, la búsqueda de soluciones a problemáticas cotidianas y de la sociedad, así como la generación de diferentes estrategias y soluciones, y la comunicación de los resultados y procedimientos realizados; en resumen, favorece todas las habilidades que se expresan en la Bases Curriculares para la asignatura de Matemática (MINEDUC, 2015).

“El enfoque CTS y el enfoque de la enseñanza situada pueden contribuir en la asignatura de Matemática a desarrollar en los y las estudiantes habilidades de resolución de problemas, favorecer el razonamiento lógico, la búsqueda de soluciones a problemáticas cotidianas y de la sociedad...”.

La propuesta “De la sociedad al número”: diseño didáctico y materiales

La propuesta didáctica quiso acercar la matemática a estudiantes de primer año de Educación Media con una mirada CTS, transitando desde la sociedad al número, es decir, abordando un tema de importancia social a través de un conocimiento matemático. En este caso, se decidió tratar el concepto de vida saludable por medio de los números racionales. El tema de Vida Saludable emergió como resultado de una encuesta sobre preferencias y hábitos que fue administrada a los y las estudiantes participantes. Tales contenidos forman parte de los programas de estudio de primer año medio en las asignaturas de Educación Física y de Matemática, respectivamente. Así, la propuesta implicaba la aplicación de una mirada interdisciplinaria para ambas asignaturas.

Esta experiencia se enmarcó en el aprendizaje situado, con el propósito de trabajar contenidos con los y las estudiantes acordes con sus características y con su entorno. En particular, se abordan los números decimales positivos, aplicando las operaciones básicas (adición, sustracción, multiplicación y división), transformando números dados como porcentajes a números decimales y calculando porcentajes, contenidos que se pueden implementar en los inicios de la unidad de Números, de primero medio, en el tema de Números racionales. La finalidad fue abordar dificultades de aprendizaje y reforzar habilidades no desarrolladas en torno a la operatoria con números racionales, las que posiblemente se arrastrasen de años anteriores, con estudiantes de primero medio de tres establecimientos educacionales de la Región Metropolitana de Santiago. En estos establecimientos, egresados de la carrera desempeñaban su labor como profesores y profesoras de Matemática.

La propuesta didáctica contemplaba tres clases, las que podían ser desarrolladas tanto en la asignatura de Educación Física como en la de Matemática. Como recursos didácticos se diseñaron guías de trabajo en las que se planteaban problemas contextualizados y lecturas referidas al tema. Junto con ello, se crearon rúbricas, planificaciones y sugerencias para apoyar su desarrollo. Los temas que se trabajaron en cada clase fueron:

- “Aprendiendo sobre las colaciones saludables”. En esta clase, los y las estudiantes observan la información nutricional de diferentes alimentos y bebestibles consumidos durante los recreos. A partir de esta información, resuelven situaciones planteadas en la guía utilizando números racionales y, además, abordan la ley 20606 sobre el etiquetado de los alimentos.
- “¿Constantemente realizamos actividad física?” En esta clase, los y las estudiantes conocen los conceptos de Índice de Masa Corporal y gasto calórico; a partir de ellos, resuelven problemas planteados utilizando números racionales. Además, leen un texto publicado por la Universidad San Sebastián acerca del índice de obesidad de las y los chilenos, comparándolo con el de otros países de América Latina. Luego, responden tres preguntas relacionadas con la actividad física.

- “¿Cuáles son los factores que afectan a una vida saludable?”. En la última sesión se aborda el tema de los factores de riesgo para una vida saludable. Al iniciar la clase, los estudiantes observan un video de la Fundación Chile, “¿Corres o comes?”, en el que se presentan diferentes estereotipos de personas según el concepto de vida saludable. Luego, leen información sobre obesidad, consumo de tabaco y alcohol, temas relacionados con factores de riesgo, y resuelven situaciones planteadas en la guía, a partir de la información copiada. Finalmente, realizan afiches para promover la vida saludable en la comunidad escolar.

Implementación y análisis de la propuesta

Según se ha señalado, la propuesta didáctica diseñada fue implementada en tres colegios de la Región Metropolitana de Santiago de Chile. Los establecimientos fueron el Liceo Clelia Clavel Dinator, el Colegio Instituto Domingo Eyzaguirre y el Liceo Almirante Riveros, pertenecientes a las comunas de Santiago, San Bernardo y Recoleta, respectivamente. Un primer criterio de selección fue que todos presentaban, al año 2018, un índice de vulnerabilidad cercano al 80%. Además, los estudiantes seminaristas trabajaban en dos de ellos desde hacía a lo menos 5 años, lo que aseguraba un espacio para la implementación de un proyecto de esta naturaleza.

La primera acción realizada fue la caracterización del grupo de estudiantes participantes mediante una encuesta. Los cursos de primer año medio seleccionados fueron tres, aplicando el criterio de “ser parte de la carga del o de la docente”, un curso por cada uno de los establecimientos mencionados. La encuesta contempló preguntas sobre cuatro aspectos: I. Información personal y familiar; II. Información sobre gustos e intereses; III. Información sobre hábitos relacionados con vida sana; y IV. Conocimiento general del cuidado del medioambiente. Un total de 103 estudiantes, de los tres colegios, contestaron la encuesta. Sus edades fluctuaban entre los 12 y los 18 años. La mayoría tenía 15 años (30%), seguida de los de 14 años (25%) y de los de 16 años (15%).

En relación con los hábitos de salud, se descubrió que los y las estudiantes dormían entre 7 y 8 horas; consumían solo dos comidas importantes al día: almuerzo (86%) y once (82%), lo cual los predispone a alimentarse a deshoras y al consumo de comida rápida y golosinas durante la jornada escolar. Con respecto a la actividad física, el 43% de los y las encuestadas realizaba actividad física entre 0 a 2 horas semanales, cifra muy por debajo de lo que se recomienda (OMS, 2023). Además, el tiempo dedicado a actividades sedentarias como ver películas, leer o jugar videojuegos sumó las mayores preferencias, casi el 40% de las respuestas totales, en comparación con hacer deporte (18%) y salir con amigos (26%), lo que implica que no existe mucho interés por realizar actividad física. Esta caracterización referida a los hábitos de descanso, alimentación y actividad física ayudó a optar por la temática Vida Saludable como eje de la propuesta didáctica.

La segunda acción consistió en aplicar la secuencia didáctica diseñada en los tres establecimientos mencionados. En dos de los tres establecimientos (Liceo Clelia Clavel Dinator y Colegio Instituto Domingo Eyzaguirre), la propuesta fue implementada por el o la docente seminarista durante sus clases de Matemática, utilizando, además, la estrategia de interdisciplinariedad en una clase con la asignatura de Educación Física. En el colegio Almirante Riveros, en cambio, las tres actividades y guías fueron aplicadas solamente en las clases correspondientes a la asignatura de Matemática.

La Tabla 1 detalla el número de estudiantes que participaron en la experiencia pedagógica por establecimiento. Cada actividad fue desarrollada, en promedio, por un total de 98 estudiantes. Con asterisco (*) se muestra la distribución de los 67 estudiantes que realizaron al menos una actividad de la secuencia didáctica en la clase de Educación Física, con el o la docente correspondiente de esa asignatura.

Tabla 1

Número de estudiantes participantes en cada una de las actividades de la propuesta, según colegio.

Establecimiento educacional	"Aprendiendo sobre las colaciones saludables"	"¿Constantemente realizamos actividad física?"	"¿Cuáles son los factores que afectan a una vida saludable?"
Liceo Técnico Celia Clavel Dinator, 1° medio A	40	36*	38
Instituto Eyzaguirre, 1° medio B	28	31*	31
Colegio Almirante Riveros, 1° medio A	29	31	30
Total	97	98	99

Finalmente, se propuso realizar un análisis FODA ⁶ para estudiar la aplicación de la secuencia didáctica. En la Tabla 2 se resumen las fortalezas y debilidades propias de esta propuesta, en relación con los instrumentos y materiales construidos. Son señaladas, además, las oportunidades y amenazas observadas en la implementación, y los aportes que esta propuesta puede realizar a la comunidad escolar.

6 FODA es una herramienta utilizada para analizar la situación en que se encuentra una empresa o proyecto estudiando sus características internas (Fortalezas y Debilidades) y su situación externa (Oportunidades y Amenazas) en una matriz cuadrada (Chauvin, 2017).

Tabla 2

Análisis FODA de la implementación de la propuesta didáctica en tres establecimientos educacionales.

Fortalezas	Debilidades
<p>La propuesta didáctica presenta una visión diferente de la asignatura de Matemática, incorpora temas actuales y sociales, y plantea problemas contextualizados.</p> <p>Las guías se pueden aplicar en otros niveles de enseñanza, ya que abordan objetivos de segundo ciclo básico.</p> <p>Las situaciones propuestas permiten plantear otros desafíos a los estudiantes con la finalidad de crear conciencia de la importancia de la actividad física y la alimentación en la vida de las personas.</p>	<p>La extensión observada en las guías de trabajo y las actividades propuestas en ellas no permiten que se desarrollen en el tiempo establecido. Faltan orientaciones al docente para abordar diversas dificultades vivenciadas en su implementación.</p> <p>Las preguntas en las guías, que buscaban la aplicación de habilidades como argumentar y comunicar, resultaron difíciles y no todos los estudiantes lograron responderlas.</p>
Oportunidades	Amenazas
<p>Pudieron identificarse errores conceptuales y dificultades para realizar las operaciones básicas con números decimales positivos. Así, aplicar la secuencia didáctica al inicio de la unidad de Números Racionales de primer año medio permitiría a los docentes identificar las dificultades en procedimientos o conceptos y, si fuera necesario, generar un plan de trabajo y retroalimentación para remediar los vacíos existentes.</p> <p>Puede proponerse la realización de charlas con la finalidad de promover la vida saludable, ya que los estudiantes están motivados con la temática, a partir de lo observado en la propuesta.</p>	<p>La propuesta didáctica se encuentra enmarcada en la interdisciplinariedad. Sin embargo, el trabajo interdisciplinario escolar necesita de tiempo y espacios que no siempre se otorgan.</p> <p>Implementar esta secuencia didáctica requiere tiempo escolar que en los programas de estudio no está contemplado. Se deben abordar todos los objetivos de aprendizaje del año, considerando, además, tanto la preparación de evaluaciones internas como externas, por lo que algunos docentes no se motivan a participar en iniciativas interdisciplinarias.</p>

Resultados

Evaluación de la experiencia

A partir de la experiencia personal y laboral de los seminaristas, ellos y ellas detectaron que la enseñanza y el aprendizaje de la matemática se encuentran muy descontextualizados: los y las estudiantes expresaban que los contenidos enseñados en las clases no eran utilizados en su quehacer diario. Es por ello que el objetivo general fue acercar temáticas sociales y actuales al alumnado a través de la asignatura de Matemática, con el fin de lograr un desarrollo crítico y reflexivo y de participación ciudadana, transitando desde la sociedad al número y, posteriormente, del número a la sociedad.

Por este motivo, se inició un tránsito de la sociedad al número para, posteriormente, incidir dicha representación en el desarrollo de la sociedad actual. En lo que compete a acercar la sociedad al número, los y las estudiantes de primero medio, participantes de esta experiencia, al inicio de las sesiones de esta secuencia didáctica indicaban que los temas planteados no tenían una relación con el contenido de números racionales ni con la asignatura de Matemática. Sin embargo, al finalizar cada clase lograban por sí solos relacionar los temas de Vida Saludable y Salud con el contenido matemático, como un medio para aprender y generar una opinión crítica y reflexiva promoviendo conciencia social. En efecto, en el transcurso del desarrollo de las actividades contempladas en las tres guías utilizaron en mayor

“... en el transcurso del desarrollo de las actividades [los y las estudiantes] utilizaron en mayor medida estos números en las situaciones propuestas, pudiendo lograr una mejor comprensión sobre la operatoria de números racionales, y vislumbrar su utilidad en relación con la salud, generando propuestas genuinas para fomentar la vida saludable en su comunidad escolar”.

medida estos números en las situaciones propuestas, pudiendo lograr una mejor comprensión sobre la operatoria de números racionales, y vislumbrar su utilidad en relación con la salud, generando propuestas genuinas para fomentar la vida saludable en su comunidad escolar.

Conforme a la visión de las Bases Curriculares, se plantea la necesidad de observar diversos fenómenos o situaciones desde diferentes asignaturas y perspectivas. Sin embargo, en el caso de las situaciones o asignatura de Matemática para el contenido de números racionales, no existen sugerencias de actividades relacionadas con propuestas interdisciplinarias. La secuencia didáctica planteada en esta experiencia se hace cargo de esta necesidad, abordando la temática de Vida Saludable y Salud, tratada en Educación Física. También se analiza el tema del gasto calórico, mediante el cual el o la estudiante puede ejemplificar, a través de números de manera simbólica, cuánta energía gasta en las actividades que realiza en la clase de Educación Física.

La encuesta para caracterizar al grupo curso que participó en esta experiencia aportó datos para identificar si se encontraban presentes algunos de los factores de salud que supuestamente son propios de los y las estudiantes de contextos vulnerables. También entregó información para construir la propuesta didáctica identificando otros intereses de los y las estudiantes en relación con la asignatura de Matemática. Por ejemplo, se constató que prefieren actividades como resolver problemas y trabajo con guías, así como contenidos del eje de Números, por sobre otras temáticas. Estos aspectos fueron contemplados para decidir sobre el diseño de las actividades en la propuesta didáctica.

La experiencia permitió, además, aportar al cumplimiento de una de las subcompetencias del Perfil de Egreso de la carrera. Las 3 grandes competencias del perfil, son: (1) Preparación para la enseñanza; (2) Pensamiento científico para la formación ciudadana; y (3) Formación integral y discernimiento ético. La primera contempla la subcompetencia: "analiza y reflexiona constantemente en relación a su práctica pedagógica con el propósito de mejorarla", a la cual tributó esta experiencia.

Resultados

Reflexión final

Día a día, el o la docente se ve enfrentada a la necesidad de implementar nuevas estrategias didácticas, de acuerdo al contexto en el que se desenvuelven las y los estudiantes, para acercar los contenidos matemáticos a su realidad social y cultural y abordarlos de forma significativa, considerando el alto grado de abstracción que los caracteriza. La propuesta buscó acercar la matemática al estudiante de primer año medio, a partir de una necesidad social, que tiene que ver con la promoción de la salud, con el fin de que sean capaces de utilizar los números en la vida cotidiana y de impactar, a partir de reflexiones, propuestas y críticas, en su toma de conciencia sobre la importancia del autocuidado en salud.

Al abordar los temas de actividad física, alimentación, obesidad, entre otros, esta secuencia didáctica cumple con la finalidad de lograr un aprendizaje situado en el cual el o la estudiante, a través de situaciones diarias y contextuales, genera un aprendizaje sobre la base de productos que consume diariamente en sus recreos. El análisis de las actividades rutinarias para medir el gasto calórico forma parte de este aprendizaje situado.

La implementación permitió refinar varios aspectos del diseño didáctico. Por ejemplo, del análisis FODA se dedujo la necesidad de introducir modificaciones en las actividades en cuanto a la formulación y extensión de las preguntas de las guías, así como también respecto del número de las preguntas, lo que hizo aconsejable eliminar algunas de ellas.

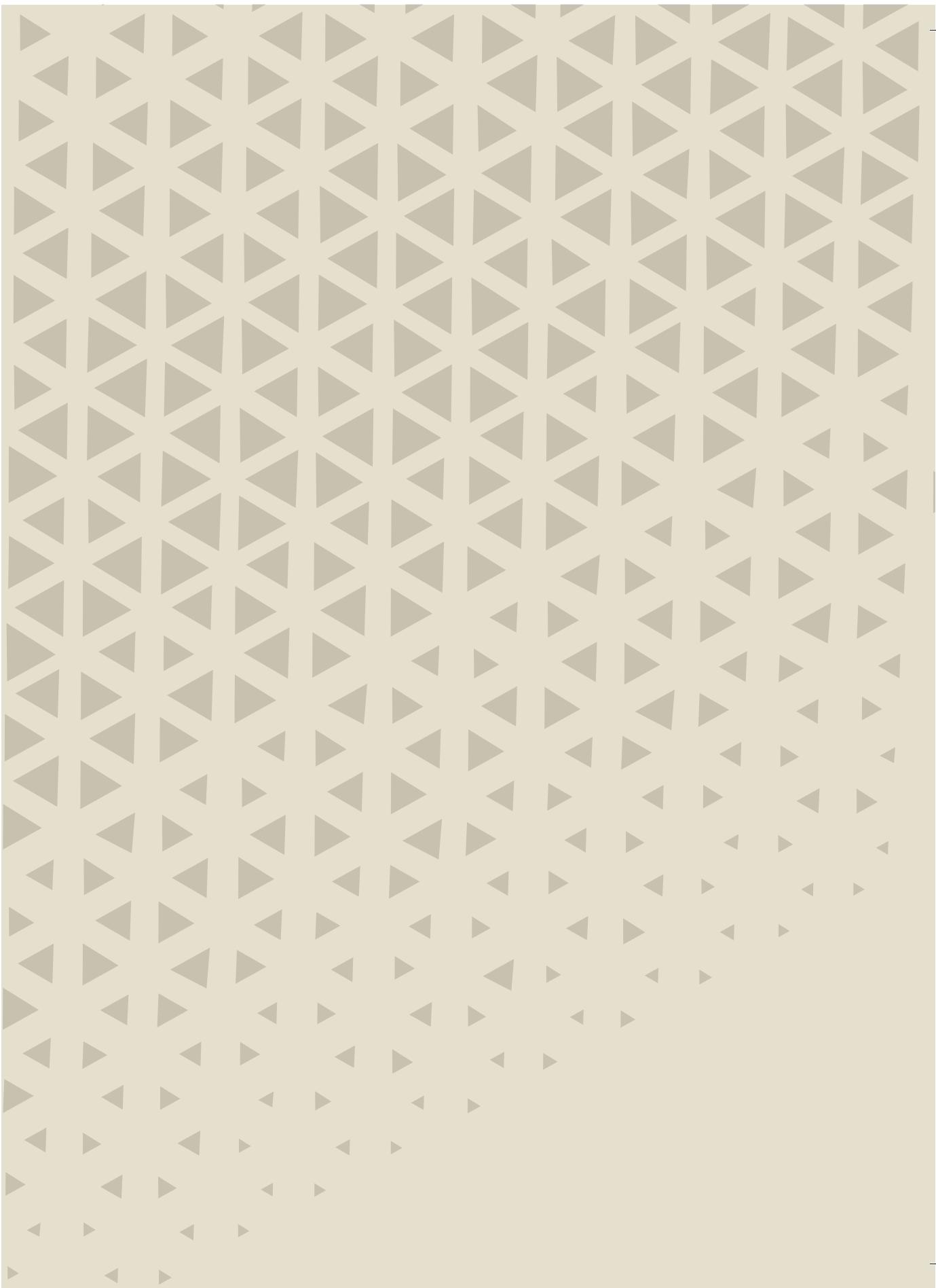
Finalmente, los seminaristas-docentes participantes declararon, en forma unánime, que la experiencia representó un “enriquecimiento en su labor docente”, permitiéndoles, en primer lugar, detectar una problemática común y, en segundo lugar, plantearse la manera de innovar colaborativamente en sus clases de Matemática.

Las reflexiones finales dieron cuenta de la valoración del proceso vivido, el cual favoreció, por un lado, la mejora de sus estrategias pedagógicas, al conocer más acabadamente los hábitos e intereses de sus estudiantes y, a partir de ello, seleccionar temáticas y generar actividades en función de su contexto. Por otro lado, reconocen la necesidad del trabajo interdisciplinario entre docentes de diferentes áreas, pues, como lo mencionaran, no es posible acercar la matemática a los y las estudiantes, generar aprendizajes profundos y relacionados con su vida solo desde una asignatura. Asimismo, este enriquecimiento de su labor como docentes de Matemática les permitió preparar a sus estudiantes para que potenciaran otras habilidades importantes para la vida, como son considerar la adquisición del conocimiento como un proceso de su propia responsabilidad, comprender el entorno en que se desenvuelven, desarrollar el autocuidado en relación con la vida saludable y, eventualmente, despertar una mirada crítica, comprometida y solidaria en su comunidad usando los números racionales.

“... los seminaristas-docentes participantes declararon, en forma unánime, que la experiencia representó un ‘enriquecimiento en su labor docente’, permitiéndoles, en primer lugar, detectar una problemática común y, en segundo lugar, plantearse la manera de innovar colaborativamente en sus clases de Matemática”.

Referencias bibliográficas

- Acevedo, J. (mayo, 2001). *Una breve revisión de las creencias CTS de los estudiantes* [Conferencia]. I Jornadas Universitarias de Ciencia, Tecnología y Humanismo en la Sociedad Actual. Nerva, Huelva, España. Edición digital para la OEI. DOI: 10.13140/2.1.2222.1765.
- Agencia de la Calidad (2020). TIMSS 2019. Estudio internacional de tendencias en matemática y ciencias. Presentación nacional de resultados. Diciembre 2020. https://archivos.agenciaeducacion.cl/Resultados_TIMSS_2019_version_extendida_final.pdf
- Brown, J. S., Collins, A. y Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), 32-42.
- Bohle, H. (1993). The space of vulnerability: the casual structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography*; 17(1), pp. 43-67. DOI:10.1177/030913259301700103
- Bourdieu, P. y Passeron, J. C. (1977). *La reproducción. Elementos para una teoría del sistema de enseñanza*. Editorial Laia.
- Chauvin, S. (2017). FODA: Para qué sirve el análisis FODA. <https://www.grandespymes.com.ar/2017/07/29/foda-para-que-sirve-el-analisis-foda/>
- Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. AIQUE Grupo Editor.
- Daniels, H. (2003). *Vygotsky y la pedagogía*. Barcelona, Paidós.
- Dewey, J. (1989). *Cómo pensamos. Nueva exposición de la relación entre pensamiento reflexivo y proceso educativo*. Barcelona, Paidós.
- Font, V. (2006). Problemas en un contexto cotidiano, *Cuadernos de Pedagogía*, 355, pp. 52-54.
- Manassero, M., Vázquez, A. y Acevedo, J. (2001). El movimiento ciencia-tecnología-sociedad y la enseñanza de las ciencias. OEI. <https://www.oei.es/historico/salactsi/acevedo13.htm>
- MINEDUC-Chile (2015). Bases Curriculares 7° básico a 2° medio. Currículum Nacional. MINEDUC. https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-37136_bases.pdf
- Organización Mundial de la Salud (2023, abril 28). Salud del adolescente y el joven adulto. World Health Organization: WHO. [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/adolescents-health-risks-and-solutions#:~:text=La%20OMS%20recomienda%20que%20los,caminar\)%20o%20la%20educaci%C3%B3n%20f%C3%ADsica.](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/adolescents-health-risks-and-solutions#:~:text=La%20OMS%20recomienda%20que%20los,caminar)%20o%20la%20educaci%C3%B3n%20f%C3%ADsica.)
- Pérez de Armiño, K. (2005). *Vulnerabilidad*. En *Diccionario de acción comunitaria y cooperación al desarrollo*. <http://www.dicc.hegoa.ehu.es/listar/mostrar/228>





PARTE II

**MINORS: CONTRIBUCIÓN
A LA FORMACIÓN
INICIAL DOCENTE DE LA
CARRERA PLEFM**



Capítulo 4

Minors en una propuesta de **formación semiflexible** para atender **necesidades profesionales** de **futuros y futuras docentes**

Contexto y presentación de los *minors*

El Comité de Carrera de Pedagogía en Física y Matemática/ Licenciatura en Educación de Física y Matemática (PLEFM) de la Universidad de Santiago de Chile (USACH) procedió a realizar durante los años académicos 2017 y 2018 una revisión del Perfil de Egreso de este programa de formación docente. Se planteaba la necesidad de profundizar en las competencias vinculadas con el futuro rol del docente, en particular su preparación para la enseñanza, la formación integral, el pensamiento científico para la formación ciudadana y el discernimiento ético. La conformación de 6 *minors* en el año 2020 y de un séptimo en el 2023 ha sido la respuesta ante esta necesidad.

La propuesta de *minors* impulsada en la carrera se desarrolló en consonancia con la Resolución n.º 1741 del 17/11/2017 de la Vicerrectoría Académica, que concernía a la flexibilidad curricular y buscaba generar un proceso de armonización curricular en las carreras y programas de la institución. En este contexto, en 2019 fue aprobada la Resolución n.º 5915 del 12/08/2019, la cual otorgaba reconocimiento académico a los denominados "*minors*". Un *minor*, de acuerdo con esta resolución, está constituido por un conjunto de asignaturas que tiene por objetivo la profundización de habilidades vinculadas a algún área específica del conocimiento. Voluntariamente, los y las estudiantes pueden acceder a un *minor*, según sean sus intereses y/o necesidades académicas particulares. Las asignaturas pueden concernir a áreas disciplinares en las que se inserta la carrera, como también pueden involucrar áreas complementarias.

Desde el punto de vista curricular, un *minor* es la combinación de asignaturas obligatorias del Plan de Estudios con asignaturas complementarias/electivas.

¹ Profesor de Estado en Física y Matemática USACH, Magíster en Didáctica de la Matemática Universidad Alberto Hurtado; Coordinador Docente de la Carrera PLEFM.

Al contar con reconocimiento institucional, la carrera consolidó su proceso de creación de *minors* en el periodo 2019/2020, generando un total de 6; y continuó esta tarea en 2023, luego de que la Vicerrectoría Académica aprobase un séptimo *minor*.

Los *minors* y las resoluciones universitarias respectivas son:

- **Minor en Gestión de Convivencia y del Clima de Aula Escolar.** Resolución exenta del 05/11/2020, n.º 4843.
- **Minor en Astronomía Educativa.** Resolución exenta del 05/11/2020, n.º 4842.
- **Minor en Uso de Tecnologías Digitales Integradas al Aula.** Resolución exenta del 06/11/2020, n.º 4856.
- **Minor en Gestión Escolar y Curricular.** Resolución exenta del 05/11/2020, n.º 4845.
- **Minor en Ciencia, Tecnología, Sociedad y Medio Ambiente –CTS– en el Aula.** Resolución exenta del 05/11/2020, n.º 4844.
- **Minor en Mecatrónica para la Educación Científica.** Resolución exenta del 05/11/2020, n.º 4846.
- **Minor en Educación Ambiental para las Pedagogías de la Universidad de Santiago de Chile.** Resolución exenta del 10/04/2023, n.º 1730.

A continuación, se efectuará una breve reseña sobre cada *minor*, incluyéndose las asignaturas de carácter obligatorio del Plan de Estudios que se deben aprobar para su obtención, y las complementarias.

Minor en Gestión de Convivencia y del Clima de Aula Escolar ²

Conforme a la política pública que considera a los y las docentes actores fundamentales para la convivencia en el aula, y que promueve ambientes de trabajo respetuosos y solidarios a través de una comunicación franca, directa y afable con los y las estudiantes (Ley n.º 20536 de 2011 sobre Violencia Escolar, MINEDUC, 2011), se espera que generen condiciones que contribuyan a las buenas relaciones entre estudiantes, y entre estos y los restantes miembros de la comunidad educativa. Ello, sumado a la necesidad de incorporar en las estrategias y actividades educativas un sentido de trascendencia y de responsabilidad ética frente a la vida en sociedad. Por otra parte, se prohíbe toda forma de discriminación y se espera que exista un plan de apoyo para fomentar la buena convivencia, respetando la diversidad y valorando las diferencias (Ley n.º 20845 de 2015 sobre Inclusión Escolar, MINEDUC, 2015c).

“Este *minor* se propone desarrollar competencias que les permitan a los y las estudiantes una gestión efectiva y proactiva de la convivencia y del clima de aula escolar”.

Este *minor* se propone desarrollar competencias que les permitan a los y las estudiantes una gestión efectiva y proactiva de la convivencia y del clima de aula escolar. La secuencia de asignaturas que se debe cursar para obtenerlo es la siguiente:

- En el primer año de la carrera debe haberse aprobado la asignatura obligatoria Formación Profesional I: Naturaleza del Fenómeno Educativo, en la cual son abordados los argumentos teóricos relevantes para comprender la complejidad del fenómeno educativo en su especificidad. Luego, Formación Profesional II: Cultura Escolar y Gestión de Conflictos,

2 Gestoras: María Soledad Saavedra, Licenciada en Antropología Social Universidad de Chile, Orientadora en Relaciones Humanas y Familia Instituto Profesional Carlos Casanueva; María Magdalena Aguilera, Profesora de Educación Básica Universidad de Magallanes, Máster en Conflictología Universidad Abierta de Cataluña y Doctora en Ciencias de la Educación mención Educación Intercultural USACH.

asignatura también obligatoria que cursan en el segundo año de la carrera y que se propone generar una visión transdisciplinaria, particularmente en lo que dice relación con Convivencia Escolar y la Pedagogía del Conflicto.

Entre las asignaturas complementarias que permiten dar continuidad a este *minor*, se encuentran:

- Pedagogía de la Convivencia y la Mediación: se propone mejorar y fortalecer la convivencia escolar, prevenir situaciones de conflictos e intervenir en situaciones de ruptura o quiebre de las interacciones escolares.
- Adolescencia y Género en la Escuela: aborda la construcción de criterios formativos y pedagógicos fundamentados en el enfoque de género para relacionarse con el escolar adolescente.
- Estrategias para la Diversidad: promueve estrategias incluyentes de la diversidad y la toma de conciencia de la importancia del rol del futuro o futura docente en este ámbito.
- Educación Intercultural: busca discriminar positivamente la diversidad cultural y promover el diálogo intercultural en el aula para favorecer el aprendizaje.

Minor en Astronomía Educativa³

Entre los años 2009 y 2019, fueron introducidos ajustes curriculares en el área de Ciencias Naturales del sistema escolar chileno, de acuerdo con los cuales fueron definidos Contenidos Mínimos Obligatorios y Objetivos de Aprendizaje desde 1° básico a 4° medio (MINEDUC, 2009). Previamente a estos ajustes, en el eje "Tierra y Universo" de Física, los contenidos eran abordados por un bajo número de docentes, lo cual requería generar talleres de apropiación curricular dirigidos a las y los docentes en ejercicio (Huerta, 2017).

3 Gestora: Leonor Huerta, Ingeniera Física USACH, Magíster en Astronomía Universidad de Chile, Doctora en Ciencias en Física Educativa Instituto Politécnico Nacional de México.

Respondiendo a esta realidad, el **Minor en Astronomía Educativa** se propuso especializar a los y las estudiantes y futuros docentes en contenidos referidos a Ciencias de la Tierra y del Universo (CTU), de modo que puedan comprender la importancia de los fenómenos astronómicos y los relacionados con la dinámica terrestre, así como también los conceptos, leyes, modelos y teorías que dan cuenta de los principales fenómenos asociados a la formación, evolución, dinámica y características de la Tierra y de las grandes estructuras del Universo. Podrán cuantificar y establecer relaciones entre los tamaños de los cuerpos y estructuras celestes, así como la distancia entre ellos.

“[Se busca que comprendan] la importancia de los fenómenos astronómicos y los relacionados con la dinámica terrestre, así como también los conceptos, leyes, modelos y teorías que dan cuenta de los principales fenómenos asociados a la formación, evolución, dinámica y características de la Tierra y de las grandes estructuras del Universo”.

El *minor* trabaja sobre la base de analogías, modelos, problemas y estrategias desafiantes que les permiten adquirir conocimiento sobre la formación y evolución de cuerpos y estructuras cósmicas, incluyendo la estructura y dinámica de la Tierra. Para lograr estas competencias, el o la estudiante debe cursar las siguientes asignaturas:

- Física de la Tierra y Física del Universo. Ambas asignaturas se ubican en el segundo año del Plan de Estudios y son de carácter obligatorio. La primera tiene como propósito vincular teoría-práctica para que los y las estudiantes puedan explicar la formación, evolución y funcionamiento del planeta Tierra a través del conocimiento cognitivo y procedimental de la física general y de herramientas matemáticas elementales. La segunda integra conocimientos de las asignaturas de Física de la Tierra y Física de lo Cotidiano I, respecto de la física clásica. Los temas que se trabajan son abordados en cuatro Unidades: El Sistema Solar, Las Estrellas, Las Galaxias, y Cosmología: Origen y Evolución del Universo.

- Astronomía en el Aula y Taller de Observación Astronómica. Son las dos asignaturas complementarias que permiten dar continuidad en el proceso de obtención del *minor*. Mientras la primera se enfoca en la especialización de los y las estudiantes en el área de la Astronomía, involucrando la adquisición de competencias pedagógicas y didácticas del trabajo en la sala de clases, la segunda busca desarrollar técnicas de observación astronómica, basándose en la manipulación de telescopios y el trabajo con la astrofotografía.

Minor en Uso de Tecnologías Digitales Integradas al Aula ⁴

Considerando la diversificación de las tecnologías digitales y el fácil acceso a ellas en la sociedad actual, este *minor* se propone entregar herramientas a los y las futuras docentes para la incorporación al aula de juegos digitales, dispositivos móviles y otros aparatos electrónicos portables. La utilización e integración de las tecnologías en la educación y en la investigación les permitirá incorporar innovaciones en las metodologías de enseñanza y aprendizaje.

El *minor* se propone desarrollar el aspecto pedagógico, técnico y de gestión de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Educación (TICE), en el contexto del aprendizaje de la Física y de la Matemática. La investigación y la creación de situaciones pedagógicas basadas en el uso de la tecnología permiten trabajar con aspectos sociales, éticos y legales de las TIC. Además, se facilita la vinculación entre organizaciones y redes profesionales a través de las cuales se comparten productos,

“... se propone entregar herramientas a los y las futuras docentes para la incorporación al aula de juegos digitales, dispositivos móviles y otros aparatos electrónicos portables [... Esto] les permitirá incorporar innovaciones en las metodologías de enseñanza y aprendizaje”.

4 Gestora: Claudia Matus Zúñiga, Licenciada en Educación Matemática y Computación USACH, Master of Arts in Education New Mexico State University.

proyectos y opiniones críticas sobre las ventajas y desventajas del uso de las tecnologías digitales en educación, contrastando con lo que la literatura señala a nivel nacional e internacional.

Las asignaturas que se deben cursar para obtener este *minor* son las siguientes:

- TICE I: Herramientas de Gestión y Planificación; TICE II: Uso de Recursos Digitales para el Aprendizaje; TICE III: Integración de Tecnologías Digitales al Aula; TICE IV: Diseño de Ambientes Virtuales para la Enseñanza. Todas ellas corresponden a asignaturas obligatorias de la carrera, que se enfocan en el uso y aplicación de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el ámbito educativo. La asignatura TICE I busca desarrollar competencias en el uso de herramientas de gestión y planificación para producir materiales educativos informáticos. TICE II está enfocada en el uso de recursos digitales para el aprendizaje, con el objetivo de desarrollar soluciones pedagógicas basadas en las TIC. TICE III se centra en la formulación de propuestas de integración curricular con las TIC. Por su parte, TICE IV tiene como objetivo dotar a los y las estudiantes de competencias teóricas y prácticas para desarrollar entornos virtuales de aprendizaje y fortalecer experiencias formativas en modalidades *e-learning*, *b-learning* o, cuando se requiera, como complemento a la clase presencial.
- Las asignaturas TICE V: Uso de Juegos Digitales y TICE VI: Uso de Dispositivos Móviles y Otros Aparatos Electrónicos Portables son complementarias en el Plan de Estudios. Están enfocadas en el uso de las nuevas tecnologías digitales para aprender y enseñar Física y Matemática. La asignatura TICE V se centra en el uso de juegos digitales como herramienta pedagógica y en la investigación de las bases cognitivas, sociales y pedagógicas asociadas a su uso. Se propone desarrollar habilidades y conceptos científicos a través de entornos virtuales e incorporar videojuegos y otros juegos educativos virtuales a la práctica docente. La asignatura TICE VI tiene por objetivo explorar el uso de dispositivos móviles y otros aparatos electrónicos portables

en el contexto escolar, entregando estrategias provenientes de buenas prácticas reportadas en la literatura para aprovechar al máximo la potencialidad de estos dispositivos.

Minor en Gestión Escolar y Curricular⁵

La gestión exitosa de una institución educativa implica llevar a cabo una planificación estratégica, desarrollar las habilidades y competencias del equipo, implementar procesos efectivos y garantizar su calidad, así como asumir responsabilidades y rendir cuentas por los resultados obtenidos. Sin embargo, todos estos aspectos carecen de importancia si no están guiados por un liderazgo pedagógico que tenga una perspectiva de futuro clara y definida, que actúe de manera ética y fomente la confianza y la participación de la comunidad en un ambiente inclusivo y respetuoso. Estos principios son esenciales para lograr una gestión efectiva en el ámbito educativo (MINEDUC, 2015a).

El **Minor en Gestión Escolar y Curricular** se propone el desarrollo de competencias para apoyar y mejorar la calidad de la gestión del centro educativo. Los y las estudiantes y futuros(as) docentes serán capaces de caracterizar los diferentes procesos de la gestión escolar mediante modelos, teorías y evidencias reconocidas. Desarrollarán habilidades y conocimientos que son base de los elementos de gestión escolar, liderazgo y monitoreo de los procesos de aprendizaje y enseñanza. Además, se espera que ellos y ellas identifiquen las principales características y procesos que conforman el Proyecto Educativo Institucional (PEI), y el impacto que este tiene en el enfoque

“... serán capaces de caracterizar los diferentes procesos de la gestión escolar mediante modelos, teorías y evidencias reconocidas. Desarrollarán habilidades y conocimientos que son base de los elementos de gestión escolar, liderazgo y monitoreo de los procesos de aprendizaje y enseñanza”.

⁵ Gestor: Francisco Riveros, Ingeniero en Ejecución Química USACH, Ingeniero Civil Industrial Universidad Técnica Federico Santa María, Licenciado en Educación Química UMCE, Magíster en Gestión y Políticas Públicas Universidad de Chile.

educativo del centro escolar. Para lograr las competencias mencionadas anteriormente, el o la estudiante debe cursar las siguientes asignaturas:

- En el primer año de la carrera deben haber aprobado el Taller de Práctica Profesional I, asignatura obligatoria en el Plan de Estudios. Su objetivo es analizar leyes que rigen la política educativa pública nacional y examinar críticamente la estructura organizativa de los establecimientos educacionales. Esta asignatura también busca fomentar el desarrollo de habilidades de observación en los y las estudiantes. En el segundo año, deben haber aprobado la asignatura, también de carácter obligatorio, Formación Profesional II: Cultura Escolar y Gestión de Conflictos, la cual proporciona una visión interdisciplinaria sobre la gestión de conflictos en el entorno educativo, para que los y las estudiantes puedan diseñar y transformar las interacciones que causan tensiones. La asignatura aborda temas emergentes en educación, respetando los enfoques de género y derechos establecidos por la Política Nacional de Convivencia Escolar del Estado de Chile (MINEDUC, 2015b).
- Para continuar con el *minor*, los y las estudiantes deben cursar un total de siete módulos, a saber: Habilidades de Liderazgo; Gestión de las Organizaciones Educativas; Gestión de la Calidad Escolar; Variables en los Resultados de Aprendizaje; Gestión Curricular; Proyecto Educativo Institucional; Estudio de Caso. Estos módulos tienen una duración semestral de cuatro horas pedagógicas; los y las estudiantes pueden ir cursando dos módulos por semestre.

Como se observa, los módulos abordan temáticas referidas al desarrollo de habilidades de liderazgo en el entorno educativo; conocimientos sobre la gestión de organizaciones educativas; la gestión curricular para mejorar la calidad en el entorno escolar; conocer el PEI y forjarse una opinión fundada acerca del mismo; estudiar las variables que influyen en los resultados de aprendizaje; generar habilidades para abordar el estudio de casos.

Minor en Ciencia, Tecnología, Sociedad y Medioambiente –CTS– en el Aula ⁶

Según las bases curriculares de 7° básico a 2° medio publicadas por MINEDUC (2015d), es fundamental motivar a los y las estudiantes y hacerles comprender las implicaciones sociales, económicas, políticas y éticas de la ciencia y de la tecnología. Se resalta la importancia de incorporar elementos críticos y constructivos, así como lograr la participación ciudadana en la mirada propositiva de la ciencia.

Este *minor* busca abordar los desafíos y controversias actuales desde una perspectiva interdisciplinaria y fomentar una educación científico-tecnológica sostenible y responsable. Promueve una mejor comprensión y mayor sensibilidad hacia los aspectos éticos, culturales, históricos y de impacto de las actividades científico-tecnológicas.

“Este minor busca abordar los desafíos y controversias actuales desde una perspectiva interdisciplinaria [promoviendo] una mejor comprensión y mayor sensibilidad hacia los aspectos éticos, culturales, históricos y de impacto de las actividades científico-tecnológicas”.

En relación con este *minor*, las asignaturas que deben cursarse son las siguientes:

- Formación Profesional II Cultura Escolar y Gestión de Conflictos, del segundo año de la carrera; y Formación Profesional III Enfoque CTSA, que se cursa en el tercer año, siendo ambas de carácter obligatorio. Esta última utiliza el enfoque CTSA de la Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura (OEI), que busca desarrollar una mejor comprensión de las interacciones ciencia-tecnología-sociedad.

6 Gestor(as): Danny Ahumada, Profesor de Estado en Historia y Geografía Universidad de Talca, Magíster en Historia de América USACH, Doctor en Estudios Americanos mención Historia de la Educación USACH;

Gloria Baigorrotegui, Licenciada en Ciencias de la Ingeniería USACH, Ingeniera Civil Industrial USACH, Ph.D. en Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología Universidad del País Vasco, España;

María Teresa Santander, Ingeniera Civil Industrial USACH, Doctora en Filosofía de las Ciencias Universidad de Valencia, España.

- Las tres asignaturas siguientes se centran en un aspecto específico del Enfoque CTS: Socio-ambiental, Socio-historia y Tecno-innovación. Tienen como objetivo alfabetizar científica y tecnológicamente a los y las futuras docentes en un contexto de formación ciudadana para la toma de decisiones con base en evidencias, desarrollando pensamiento crítico respecto del avance científico-tecnológico, aportando al debate a través de la construcción de argumentos desde una mirada sistémica, y centrándose en las dimensiones históricas, ambientales y tecnológicas.

Minor en Mecatrónica para la Educación Científica ⁷

Desde el punto de vista de su uso como recurso educativo, la mecatrónica es un proceso organizado que permite relacionar robótica y programación para el desarrollo de aprendizajes conceptuales, procedimentales y actitudinales (Abdul et al., 2020).

En el marco de este *minor*, estos aprendizajes se relacionan con la tecnología y la informática en el ámbito de la Física y de la Matemática. Se enfoca en el desarrollo de la capacidad de diseñar dispositivos electrónicos analógicos y digitales para la resolución de problemas interdisciplinarios y cotidianos. Potencia las destrezas experimentales y la reflexión basada en evidencias por medio de la recolección, análisis e interpretación de datos. El diseño automático y las aplicaciones tecnológicas pueden permitir a los y las estudiantes realizar experimentos virtuales, explorar fenómenos científicos

“Se enfoca en el desarrollo de la capacidad de diseñar dispositivos electrónicos analógicos y digitales para la resolución de problemas interdisciplinarios y cotidianos. Potencia las destrezas experimentales y la reflexión basada en evidencias por medio de la recolección, análisis e interpretación de datos”.

7 Gestores: Jorge Ferrer, Licenciado en Física Pontificia Universidad Católica de Chile;
Leonardo Caballero, Licenciado en Física Aplicada USACH.

y analizar datos. Ello fomenta el desarrollo del pensamiento científico, incluyendo la formulación de preguntas, la recolección y análisis de evidencia, y la elaboración de conclusiones basadas en evidencia. Cabe destacar que, a nivel internacional, se considera que la mecatrónica es capaz de mejorar la creatividad y las habilidades para el siglo XXI (Mendoza, Alarcón y Monroy, 2020). A nivel nacional, forma parte de la última actualización curricular formulada por el Ministerio de Educación (2021) en la asignatura de Pensamiento Computacional y Programación, para el plan de formación diferenciado de Matemática en 3° y 4° año medio.

Para adquirir las competencias señaladas, las asignaturas que se deben cursarse son las siguientes:

- La asignatura ¿Cómo Funcionan las Cosas I? (CFC I): se imparte en el segundo año del Plan de Estudios, contextualizando e integrando conocimientos previos de las asignaturas de Física de lo Cotidiano I y Física de lo Cotidiano II. El objetivo es que los y las estudiantes diseñen un prototipo de bajo costo que permita identificar un fenómeno físico, lo cual se trabaja mediante la metodología del Aprendizaje Basado en Proyectos. Concluye con la presentación del prototipo y la consiguiente explicación sobre cómo la física clásica explica su funcionamiento. También constituye requisito la asignatura ¿Cómo Funcionan las Cosas II? Electrónica Analógica, que se propone lograr que los y las estudiantes sean capaces de diseñar y construir circuitos electrónicos básicos para aplicarlos a situaciones tecnológicas, utilizando conocimiento cognitivo y procedimental proveniente de las aplicaciones actuales de la electrónica analógica, y herramientas matemáticas básicas.
- Las asignaturas que permiten dar continuidad al *minor* son: ¿Cómo Funcionan las Cosas III? Electrónica Digital y ¿Cómo Funcionan las Cosas IV? Mecatrónica. Su objetivo es proporcionar al estudiante habilidades para el diseño y construcción de circuitos aplicables al control de dispositivos y/o mecanismos electrónicos. Estas asignaturas son anticipatorias a la robótica y a la programación de dispositivos electrónicos en el ámbito educacional, según lo propuso con posterioridad el MINEDUC (2021).

Minor en Educación Ambiental ⁸

En el primer semestre del año académico 2023, la carrera creó el **Minor en Educación Ambiental**, el cual se propone desarrollar competencias relacionadas con el respeto al medioambiente desde una mirada socioecosistémica. Requiere que el o la docente en formación curse un total de cuatro asignaturas, la primera de las cuales, de carácter obligatorio, forma parte del Plan de Estudios. Las asignaturas son:

- Bases Físicas de los Seres Vivos y su Medio Ambiente: se propone conocer las leyes físicas que describen el funcionamiento de los seres vivos, la comprensión de la conservación diferenciando entre energías renovables y no renovables, y abordar el estudio de las diferentes formas de contaminación ambiental, acústica, lumínica, entre otras.
- Bases Físicas del Cambio Climático: abocada a comprender los fundamentos físicos del cambio climático mediante recursos educativos. Esta asignatura se propone impulsar acciones que busquen mitigar el cambio climático elaborando experiencias demostrativas que involucren el uso de tecnologías relacionadas con energías renovables.
- Acciones Antrópicas sobre Biodiversidad: Encuentros y Desencuentro: promueve que el o la estudiante se posicione como agente de acciones educativas orientadas a la protección

⁸ Gestores(as): Raúl Cordero, Ingeniero Mecánico Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador; Magíster en Ciencias de la Ingeniería Universidad Técnica Federico Santa María; Doctor en Ciencias de la Ingeniería Pontificia Universidad Católica de Chile; Doctor en Ciencias Naturales Universidad de Hannover, Alemania;

Bárbara Ossandón, Profesora Física y Matemática, Pontificia Universidad Católica de Chile; Licenciada en Física Universidad Complutense de Madrid, España; Magíster en Investigación Educativa Universidad Academia Humanismo Cristiano;

M. Soledad Saavedra, Licenciada en Antropología Social Universidad de Chile;

Daniela Medina, Profesora de Biología UMCE, Máster Universitario en Investigación en Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Universidad Autónoma de Barcelona, España;

Mónica Rivera, Ingeniera Química USACH; Magíster en Ingeniería Ambiental Mención Sistemas de Tratamiento de Residuos USACH;

Ester González, Licenciada en Geografía Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina; Doctora en Ingeniería Geográfica Universidad Politécnica de Madrid.

y conservación de la biodiversidad, comprendiendo, desde una perspectiva sistémica, su complejidad, su estabilidad y el impacto de las acciones antrópicas en la especie humana. Fomenta la elaboración y ejecución de proyectos educativos que comprendan la relación suelo, clima, vegetación y su requerimiento hídrico.

- Yo Ciudadano/a y mi Vinculación con la Naturaleza en el Presente: esta asignatura desarrollará la comprensión del rol de las y los estudiantes en tanto ciudadanos y futuros docentes en relación con la institucionalidad ambiental chilena, incluyendo certificaciones y acuerdos internacionales. Analizará la realidad de organizaciones y establecimientos educativos considerando aspectos como la huella de carbono y la economía circular. Enfatizará la importancia de distinguir acciones eficientes y efectivas de mitigación y adaptación para evitar dañar aún más el ecosistema. Adicionalmente, se apropiará de los criterios de certificación ambiental de carácter voluntario contemplados en el Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos (SNCAE) del Ministerio del Medio Ambiente, proyectándose hacia lo que se espera del futuro rol docente en tales establecimientos.

“Les permitirá comprender la importancia de la biodiversidad y adquirirán un conocimiento sólido sobre los fenómenos climáticos y sus impactos. Podrán tomar medidas concretas, promoviendo el uso de energías renovables y liderando proyectos educativos enfocados en la protección del medioambiente”.

Este Minor es relevante para los y las futuras docentes en el contexto actual que vive la sociedad, debido a las problemáticas que ha traído y traerá el cambio climático para los seres vivos. Les permitirá comprender la importancia de la biodiversidad y adquirirán un conocimiento sólido sobre los fenómenos climáticos y sus impactos. Podrán tomar medidas concretas, promoviendo el uso de energías renovables y liderando proyectos educativos enfocados en la protección del medioambiente. Fomentará una participación activa, preparándolos para ser agentes de cambio comprometidos con un futuro sostenible.

Desarrollo

..... Experiencias de desarrollo de algunos *minors*

A continuación, se reseñan experiencias didácticas vinculadas con algunos *minors*.

Minor en Astronomía Educativa en el Instituto La Salle de La Florida

En el segundo semestre del año académico 2022 se realizó una actividad en el Instituto La Salle de la comuna La Florida, en el marco del Minor en Astronomía Educativa (Imagen 1). A través de ella, esta comunidad educativa pudo participar en diversas actividades de ciencia organizadas por docentes y estudiantes de la carrera, las cuales estaban pensadas para acercar la ciencia a la escuela, a través de una instancia diferente a la del aula tradicional. Los y las estudiantes de enseñanza básica del Instituto, acompañados de sus familias, se involucraron en tareas de observación con microscopios y telescopios, abordando temáticas relacionadas con astronomía y biología. También pudieron aplicar su creatividad representando sus ideas acerca de la evolución del Universo a través de dibujos. En general, fue una instancia valorada positivamente por la comunidad educativa, por la oportunidad que tuvieron de involucrarse con la ciencia desde una mirada práctica y vivencial.

Imagen 1

Registros de la actividad desarrollada en el Instituto La Salle (2022).

◆ Fuente: Fotografías tomadas en el marco de la asignatura Taller de Observación Astronómica (2022).



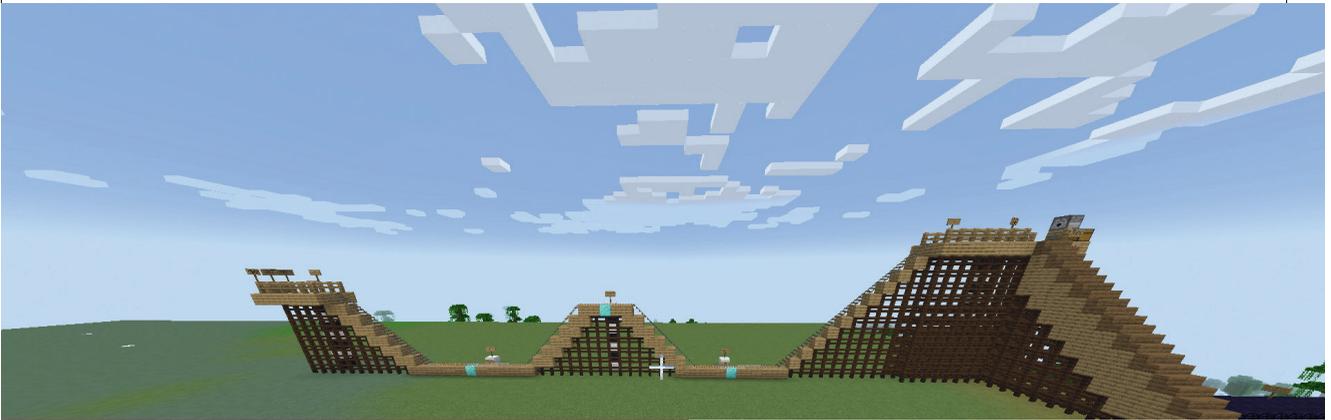


Imagen 2

Imagen del entorno del juego digital "Montaña rusa".

◆ Fuente: Imagen tomada de la actividad desarrollada por estudiantes en Minecraft: Education Edition® durante el año 2022.

Minor en Uso de Tecnologías Digitales Integradas al Aula - Montaña Rusa en el Entorno Minecraft: Education Edition®

En el año académico 2022, en el contexto de la asignatura TICE V: Uso de Juegos Digitales, del Minor en Uso de Tecnologías Digitales Integradas al Aula, se diseñó el prototipo de un juego digital llamado "Montaña Rusa" (Imagen 2) para el estudio de mecánica y conservación de la energía, utilizando el *software* Minecraft: Education Edition®.

El proyecto contempló aprender de la programación en bloques, propia del ambiente de este videojuego, diseñando una secuenciación de actividades didácticas basadas en el uso del juego, realizando una alineación curricular de los objetivos de los programas de estudio de Física de segundo año de Educación Media, y desarrollando materiales de apoyo para docentes y estudiantes para su aplicación en aula. Mediante estas acciones, los y las docentes en formación desarrollaron competencias asociadas al manejo de tecnologías digitales y al uso de estrategias metodológicas innovadoras, las cuales, conforme a OREALC/UNESCO (2018), en conjunto con las habilidades para el siglo XXI aplicadas en un contexto de inclusión, pueden contribuir a aminorar las brechas de conocimientos y de participación.

Minor en Mecatrónica para la Educación Científica - Fuente de Poder Variable

Uno de los dispositivos de mayor uso en el prototipado de proyectos eléctricos y electrónicos es la fuente de poder. Las fuentes de poder alimentan los sistemas electrónicos de corriente



continúa al rectificar la corriente alterna domiciliaria. Para esto cuentan con sistemas rectificadores que se conectan a los transformadores, en los que el voltaje disminuye de manera controlada.

Con frecuencia, no resulta posible encontrar un transformador del voltaje adecuado para los proyectos. Por esta razón, las fuentes de poder se regulan con circuitos integrados denominados reguladores de tensión y con resistores variables, también conocidos como potenciómetros.

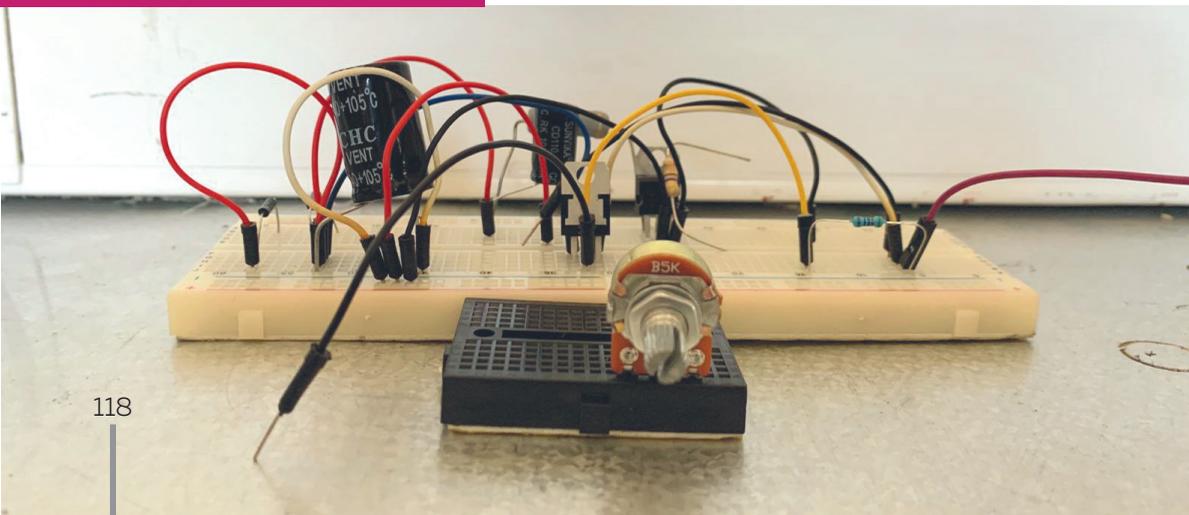
En la Imagen 3 se aprecia un prototipo de fuente de poder desarrollado por estudiantes del **Minor en Mecatrónica para la Educación Científica**, que fue utilizado para alimentar sus proyectos de electrónica analógica. En particular, esta fuente proporciona un voltaje variable con rango entre 1,5 a 24 voltios y una corriente máxima de salida de 1,5 amperios. El montaje está conformado por un condensador, un circuito integrado LM 7805, cuatro resistencias, un potenciómetro lineal, un puente de diodos y un diodo 1N 4007.

El trabajo con este tipo de dispositivos electrónicos permite a los y las estudiantes desarrollar competencias relacionadas con la construcción de circuitos básicos para dar soluciones a problemáticas como la falta de fuentes de voltaje o cargadores de aparatos eléctricos, que se presentan en contextos diversos, como el hogar o la escuela, y que pueden replicar en su labor como docentes.

Imagen 3

Prototipo de fuente de poder.

◆ Fuente: Fotografía del montaje elaborado por estudiantes en la Sala de Experimentación Pedagógica (SEP) de la USACH.



Resultados

A continuación, se presentan algunas de las contribuciones emanadas de los *minors*.

Las competencias que se desarrollan en los *minors* guardan estrecha relación con las competencias del Perfil de Egreso de la carrera.

En el caso del **Minor en Gestión Escolar y Curricular**, fomenta competencias que permiten al o la docente en formación incrementar su capacidad de liderazgo en el ámbito educativo y promover una cultura de colaboración y de mejora continua. La caracterización y diagnóstico de los centros educativos implica una comprensión más profunda de un contexto institucional. Este tipo de análisis implica poder abordar los desafíos y oportunidades educativas de manera proactiva. Ello se puede evidenciar, por ejemplo, en una actividad realizada en los dos semestres del año académico 2020, la cual contemplaba el análisis del PEI del colegio Aliwen: a través del estudio de la realidad de este establecimiento, y por medio de la elaboración del FODA, fue posible proponer mejoras a su proyecto educativo.

El enfoque integral, contextualizado e interdisciplinario de la formación inicial docente que promueve la carrera, potencia y enriquece la enseñanza de las disciplinas científicas. Las competencias que se desarrollan a través del **Minor en Gestión de Convivencia y del Clima de Aula Escolar** contribuyen a la visión de la enseñanza de la ciencia en un entorno diverso, en el que se reconocen y valoran las diferencias culturales, de género, socioeconómicas y diversidades funcionales. Las experiencias asociadas a este *minor* reportan propuestas pedagógicas que se relacionan con abordar situaciones problemáticas, el diseño de estrategias de convivencia escolar, la promoción del bienestar emocional y la utilización de enfoques educativos diversos e interculturales. Las competencias relacionadas con el manejo de la diversidad, la promoción de la igualdad, la empatía, el diálogo y la resolución pacífica de conflictos, entre otras, contribuyen a la formación de docentes capaces de crear un clima de aula inclusivo, respetuoso y favorable para los y las estudiantes, fomentando la justicia educativa.

En el marco del **Minor en Ciencia, Tecnología, Sociedad y Medio Ambiente –CTS– en el Aula**, se promueven competencias orientadas a la apropiación del enfoque CTS, el diseño de estrategias didácticas que vinculen los contenidos disciplinares con este enfoque, y la capacidad de identificar controversias, implicancias éticas y situaciones problemáticas relacionadas con la ciencia y la tecnología. Estas competencias se alinean con las del Perfil de Egreso que buscan desarrollar una comprensión crítica y reflexiva de la ciencia y la tecnología, considerando sus implicaciones sociales, históricas y culturales.

Las competencias que el **Minor en Astronomía Educativa** refuerza facilitan a los y las futuras docentes la integración de contenidos de astronomía contemplados en el marco curricular vigente al proyecto educativo de los establecimientos en los que se desempeñarán profesionalmente. Estas competencias les permitirán adaptar estrategias de aprendizaje acordes con el nivel de conocimientos y conforme a las características de sus futuros estudiantes; abordar situaciones pedagógicas diversas y complejas en el aula; establecer metas de aprendizaje claras y evaluar sus alcances; utilizar las tecnologías de la información y comunicación en educación; y comunicar de manera clara y precisa los razonamientos relacionados con la física, en general, y con la astronomía, en particular. El desarrollo de modelos, prototipos y experiencias relacionados con la astronomía permite a los y las docentes en formación explicar y aplicar las ideas fundamentales de la física de una manera más contextualizada y atractiva para sus estudiantes. La actividad realizada en un establecimiento educacional constituyó una oportunidad en la que los y las estudiantes y futuros(as) docentes pudieron poner en práctica sus propuestas metodológicas, trabajando con esa comunidad educativa y utilizando los telescopios como herramienta para explicar, de un modo concreto y atractivo, los fenómenos astronómicos.

En el caso del **Minor en Uso de Tecnologías Digitales Integradas al Aula**, se desarrollaron competencias relacionadas con la elaboración de innovaciones en la didáctica de la física y la matemática, lo que se pudo constatar a través de la actividad realizada en Minecraft: Education Edition®, que actualmente es un juego digital popular que posee altas posibilidades de aplicación en el contexto escolar (Ortega y Medina, 2021). La inclusión de elementos de física motiva su uso en el aula. Además de la posibilidad de usar elementos de programación y pensamiento computacional, estas competencias se vinculan con el Perfil de Egreso de la carrera, ya que implican el dominio de leyes y principios científicos, la generación de modelos y prototipos para explicar conceptos, así como la adaptación de contenidos y estrategias de enseñanza al nivel de los conocimientos e intereses de los y las estudiantes.

En el **Minor en Mecatrónica para la Educación Científica**, las competencias se enfocaron en el diseño y la aplicación de dispositivos electrónicos para resolver problemas cotidianos, lo cual se pudo evidenciar a través de la construcción de una fuente de poder variable. El montaje permitió constatar la aplicación de destrezas experimentales y la utilización de evidencias y literatura científicas para construir argumentos que explicasen el funcionamiento de estos aparatos electrónicos. Estas competencias se alinean con el Perfil de Egreso de la carrera, desde el momento en que los y las estudiantes han desarrollado el pensamiento científico para la formación ciudadana, han adquirido un dominio amplio de las leyes y principios científicos, relacionándolos con la vida, el medioambiente, la tecnología y la sociedad. También han podido plantearse preguntas y resolver problemas interdisciplinarios significativos utilizando el lenguaje matemático.

“Los minors permiten que los y las docentes en formación (...) se encuentren preparadas para generar procesos de enseñanza y aprendizaje innovadores, contextualizados, interdisciplinarios e inclusivos en sus futuros roles docentes”.

Conclusiones

La retroalimentación proporcionada por los *minors* reseñados en este trabajo ha contribuido y contribuye al logro de los objetivos de la carrera de Pedagogía en Física y Matemática/Licenciatura en Educación de Física y Matemática de la USACH, y a su continua mejora. Los *minors* representan una valiosa contribución al Perfil de Egreso, a la vez que otorgan mayor flexibilidad a la carrera, la que se ve reflejada en la trayectoria curricular de las y los estudiantes.

Los *minors* permiten que los y las docentes en formación cuenten con la posibilidad de elegir de acuerdo con sus intereses académicos relacionados con su futuro desempeño profesional y fortalezcan su capacidad para enfrentar los desafíos educativos del siglo XXI. En efecto, proyectan la formación hacia el planteamiento de alternativas de respuesta frente a actuales y futuros desafíos educativos complejos que la sociedad debe y deberá enfrentar, sin descuidar aquellos planteados por las políticas públicas en cuanto a asegurar que los y las futuras docentes se encuentren preparadas para generar procesos de enseñanza y aprendizaje innovadores, contextualizados, interdisciplinarios e inclusivos en sus futuros roles docentes.

La generación de cada uno de los siete *minors* es fruto del esfuerzo permanente emprendido por la comunidad educativa de la carrera, esfuerzo que se ha visto reflejado en sus procesos internos (voluntarios) de autoevaluación tendientes a actualizar su malla curricular. Responden, asimismo, a los altos niveles de logro que esta comunidad se propone alcanzar en su tarea de formación de futuros y futuras docentes de Física y de Matemática, tan requeridos por el país.

Los *minors* constituyen una oferta académica innovadora, que contribuye a elevar la consistencia entre el Plan de Estudios y el Perfil de Egreso. Su incorporación ha sido posible gracias al compromiso entusiasta y voluntario de profesores y profesoras integrantes de la comunidad educativa de la carrera, que han sido sus verdaderos gestores y gestoras.

Referencias bibliográficas

Abdul Talib, C., Aliyu, H., Aliyu, F., Abdul Malik, A. M., Anggoro, S., & Ali, M. (2020). Integration of Robotics into STEM Education for Facilitating Environmental Sustainability. *Solid State Technology*, 63, 767-783. https://www.researchgate.net/publication/345727103_Integration_of_Robotics_into_STEM_Education_for_Facilitating_Environmental_Sustainability

Agencia de Calidad de la Educación (2017). Percepciones acerca del uso de tecnología de información y comunicación (TIC) y los aprendizajes de los alumnos de enseñanza media. https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/4526/Tics_apr.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Huerta, L. (2017). Concepciones alternativas mayoritarias sobre Universo en profesores de Física en formación. *Estudios Pedagógicos*, XLIII (2), 147-162. <https://www.scielo.cl/pdf/estped/v43n2/art08.pdf>

Mendoza, L., Alarcón, H., Monroy, L. (2020). La robótica como recurso educativo para desarrollar las competencias del alumnado en el siglo XXI. *UNO Sapiens Boletín Científico de la Escuela Preparatoria*. 3(5), 5-11. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa1/article/view/6075>

MINEDUC (2009). Propuesta Ajuste Curricular. Objetivos Fundamentales y Contenidos Mínimos Obligatorios. Ciencias Naturales. https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/17548/sector_ciencias_naturales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

MINEDUC (2011). Ley 20536 sobre Violencia Escolar. <https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/2268/mono-1002.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MINEDUC (2015a). Marco para la Buena Dirección y el Liderazgo Escolar. <https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/2239/mono-593.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MINEDUC (2015b). Política Nacional de Convivencia Escolar 2015/2018. <https://www.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/19/2015/12/politica-noviembre-definitiva.pdf>

MINEDUC (2015c). Ley 20845 De inclusión escolar que regula la admisión de los y las estudiantes, elimina el financiamiento compartido y prohíbe el lucro en establecimientos educacionales que reciben aportes del Estado. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1078172>

MINEDUC (2015d). Bases Curriculares 7° básico a 2° medio. https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-37136_bases.pdf

MINEDUC (2021). Programa de Estudio Pensamiento Computacional y Programación 3° y 4° medio. https://www.curriculumnacional.cl/614/articles-140146_programa_feb_2021_final_s_disegno.pdf

OREALC/UNESCO (2018). Formación inicial docente en competencias para el siglo XXI y pedagogías para la Inclusión en América Latina. <https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/17604/Formacion%20Inicial%20Docente%20en%20competencias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ortega Sánchez, J. C. y Medina Molina, M. (2021). Gamificación para la enseñanza de una primera lengua extranjera en primaria. El videojuego "Minecraft: Education Edition" como recurso educativo, *VIII Jornadas Iberoamericanas de Innovación Educativa en el ámbito de las TIC y las TAC*, p.83-90. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC). https://accedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/112939/1/Gamificacion_ensenanza_primera.pdf

Vicerrectoría Académica USACH (2017). Establece lineamiento para procesos de flexibilidad, articulación curricular y otros relacionados a armonización curricular. <https://documentos.contraloriausach.cl/files/lex/R177441.pdf>

Vicerrectoría Académica USACH (2019). Complementa resolución 7441 de 2017 e incorpora minor en la Universidad de Santiago de Chile. <https://documentos.contraloriausach.cl/files/lex/R195915.pdf>

Villaroel, S. (2002). Proyecto educativo institucional. Marco legal y estructura básica. <https://bibliotecadigital.mineduc.cl/bitstream/handle/20.500.12365/2123/mono-943.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Capítulo 5

Gestión de la convivencia escolar en pandemia y pospandemia

Experiencia destacable de estudiantes de Pedagogía
en Física y Matemática de la Universidad de Santiago
de Chile en un colegio particular subvencionado en
Santiago, Chile

¿Cómo puede el profesorado con jefatura de curso abordar el escenario de la pandemia y su impacto en la organización escolar de la que es parte, y contribuir en ella? Esta pregunta, formulada por estudiantes de la carrera de Pedagogía en Física y Matemática/ Licenciatura en Educación de Física y Matemática (PLEFM) de la Universidad de Santiago de Chile (USACH), permitió profundizar en el desarrollo de habilidades para la gestión enactiva ² y colaborativa al abordar los “dolores” de una escuela durante el escenario más álgido de la pandemia y durante el primer periodo de retorno a la presencialidad.

En este artículo reportamos la experiencia formativa vivida en los semestres de otoño de los años académicos 2021 y 2022 por 24 estudiantes (divididos en grupos de 12), que cursaban entre segundo y cuarto años de la carrera, y que estaban en proceso de obtener el Minor en Gestión de Convivencia y del Clima de Aula Escolar.

En el primer semestre del año académico 2021, la situación de pandemia configuró un escenario inédito para todos los actores de las organizaciones escolares. El cuerpo docente fue altamente exigido por la necesidad de desarrollar estrategias pedagógico-didácticas digitales que permitieran estimular el aprendizaje y, al mismo tiempo, generar espacios de contención socioemocional para acoger al estudiantado y a sus familias. En este contexto, el agobio y estrés del profesorado constituyó un “dolor” que afectó (y sigue afectando) a las escuelas chilenas. Responder a la necesidad del autocuidado de los docentes fue la petición que nos hizo llegar la Unidad de Convivencia Escolar de un colegio particular subvencionado de la comuna de Maipú, cuyo Índice de Vulnerabilidad (IVE) era de un 83%.

En el marco de la asignatura electiva Pedagogía de la Convivencia y Mediación Escolar, que forma parte del Minor en Gestión de Convivencia y del Clima de Aula Escolar, el grupo de estudiantes

- 1 Licenciada en Antropología Social, Universidad de Chile; Orientadora en Relaciones Humanas y Familia, Instituto Profesional Carlos Casanueva.
- 2 *Enacción*: capacidad humana de crear condiciones según la situación y el momento, con habilidad de reinterpretar las experiencias que se viven y de transformar lo que se desea considerando el contexto en el que se está (Varela et al., 1992).

de esta asignatura aceptó el desafío de implementar un programa orientado al cuerpo docente del colegio. En una segunda etapa, y después de evaluar la efectividad de este trabajo, en el semestre otoño del año académico 2022, que fue presencial, la misma Unidad de Convivencia Escolar solicitó apoyo para diseñar e implementar un programa formativo de mediación de situaciones de conflicto orientado, esta vez, a escolares que cursaban desde 5° año básico a 4° año medio. Este programa fue diseñado e implementado por 12 estudiantes de la carrera que realizaban una experiencia piloto para consolidar a futuros mediadores escolares.

Considerar el escenario de pandemia, el contexto social y cultural del establecimiento escolar y las necesidades sentidas por el profesorado y los escolares fue el desafío que asumen los y las estudiantes y la docente a fin de diseñar e implementar ambos programas: uno en modo remoto y, el segundo, en modo presencial, cumpliendo con los resguardos sanitarios de distancia física y uso de mascarillas. Ambas experiencias se basaron en la aplicación de la herramienta CLEHES³ (Cuerpo-Lenguaje-Emociones-Historia-Eros-Silencio), utilizada por los estudiantes desde segundo año de carrera.

“Las lecturas, reflexiones y conversaciones en el aula universitaria dejaron de ser abstracciones para transformarse en propuestas que atienden la factibilidad de implementación cultural a partir de la escucha *in situ* de una comunidad escolar dolida...”

El impacto que tuvieron estas experiencias en la formación de los estudiantes y futuros docentes generó un aprendizaje encarnado de la gestión enactiva de la convivencia en un escenario altamente complejo y crítico para la educación escolar. Las lecturas, reflexiones y conversaciones en el aula universitaria dejaron de ser abstracciones para transformarse en propuestas que atienden la factibilidad de implementación cultural a partir de la escucha *in situ* de una comunidad escolar dolida: la enacción se vuelve una vivencia sistémica en la que es posible construir colaborativamente mundos resilientes a partir de las voluntades y potencialidades humanas.

3 Registro de Propiedad Intelectual n.º 152.623, 2006.

Desarrollo

Una lente para observar, diseñar y gestionar la convivencia escolar

Desde el año 2006, la herramienta ontológica CLEHES (García y Saavedra, 2006) forma parte de la formación inicial de los estudiantes de Pedagogía en Física y Matemática (USACH). La conocen y la incorporan en la asignatura obligatoria de Cultura Escolar y Gestión de Conflictos para enactuar situaciones que dificultan la dinámica del aula escolar, el clima y la convivencia. En este contexto, nos ha interesado la vinculación con situaciones problema reales que sitúen al estudiantado en su futuro rol y que permitan potenciar sus habilidades de diseño y de gestión de las interacciones en una organización escolar, escuchando sus dolores, quiebres y/o tensiones. Se enactúa (Varela, 2000) desde un paradigma sistémico y complejo para comprender la trama de prácticas que impacta el ambiente escolar, y, con ello, en el proceso de aprendizaje.

Una escuela en pandemia y pospandemia

En octubre de 2019 estalla la revuelta social en Chile, develando profundas fracturas y malestar sociales que se expresan a lo largo del país durante los meses siguientes; el 15 de marzo del 2020, se declara la suspensión de clases en todo el territorio nacional a consecuencia de la llegada del Covid-19. Ambas situaciones, la revuelta y la pandemia, generan un escenario de fragilidad personal y colectiva que se profundizará durante el año 2021 en las comunidades educativas (Belmar-Rojas et al., 2021). Los desafíos son inéditos por la intempestiva necesidad de manejar plataformas virtuales y herramientas digitales y por el distanciamiento físico y el aislamiento social que impone la pandemia; los modos de relacionarse se reducen a una pantalla o a un audio, cuando los medios económicos y el acceso a servicios lo permiten. Desde la perspectiva de las interacciones, es el cuerpo el que se diluye y desaparece, y, con ello, se reduce y se oculta la riqueza y complejidad de la comunicación y de las interacciones humanas.

En este contexto, somos contactadas por un colegio particular subvencionado que solicita apoyo para atenuar los efectos de estas condiciones en el profesorado. La situación problema surge a partir de los dolores expresados por el cuerpo docente en Consejo de Profesores y puestos en evidencia mediante encuestas que indagaban sobre su bienestar a fines de 2019 e inicios de 2020.

Consecuentemente con lo que reporta la literatura (López et al., 2021), el cuerpo docente del establecimiento manifiesta tensiones relacionadas con el manejo de plataformas digitales, déficit en habilidades socioemocionales, debilitamiento de los lazos de la comunidad, falta de instancias de autocuidado y de manejo de estrés, angustia, roces y quiebres en la convivencia y frustración por la escasa participación del estudiantado en las clases remotas, entre otras. Estas expresiones revelan los estados psíquicos del cuerpo docente y su repercusión directa en el desempeño profesional, especialmente en los ámbitos del trabajo en equipo y en su rol pedagógico formador en el aula (virtual).

En este mismo sentido, y al volver a la presencialidad, las relaciones entre los diferentes actores escolares, especialmente estudiantes y profesorado, resienten los efectos de la pandemia en el ámbito socioemocional, lo que se evidencia en un aumento en la intensidad y la frecuencia de situaciones de conflicto que desembocan en actos de violencia física. Los profesionales que integran la Unidad de Convivencia Escolar se ven sobrepasados por la cantidad de situaciones que deben abordar y deciden implementar un programa formativo de mediadores escolares cuya labor sería mediar en situaciones de conflicto entre pares.

La experiencia: estudiantes de Pedagogía en Física y Matemática enactuando en una comunidad escolar

Ante el cuerpo docente

Identificada la situación que se abordará y los criterios metodológicos, se inicia un trabajo colaborativo cuyo propósito se definió como: *diseñar un espacio de observación y de autoobservación, atendiendo a la necesidad de fortalecer lazos*

y de contar con instancias de confianza interpersonal para autocuidarse y cuidar la convivencia del cuerpo docente. Este propósito dio lugar al programa formativo *Cuidarme para cuidar*, en el que participaron en modo remoto 48 profesores y profesoras, orientado a desarrollar la responsabilidad de cada docente consigo mismo y de cuidar a quienes estaban bajo su tutela: los y la escolares. El programa se dividió en tres sesiones basadas en la herramienta CLEHES: Eros-Historia: *Re-encantándonos con la pedagogía*; Lenguaje-Silencio: *El poder de la palabra*; y Emociones-Cuerpo: *Buscando el bienestar emocional*. Cada sesión se diseñó en las clases universitarias (remotas) con un guion elaborado en conjunto (estudiantes y profesora a cargo de la asignatura) que contemplaba actividades y el uso de herramientas digitales previamente presentadas y aprobadas por el equipo de gestión del colegio.

Para el logro del objetivo propuesto, el grupo de 12 estudiantes de la carrera se organizó en equipos de trabajo: cada equipo asumió la tarea de proponer un diseño de jornada al grupo total y al encargado de convivencia del establecimiento. Los equipos fueron los responsables de crear y buscar el material necesario para cada jornada (recursos audiovisuales, presentaciones y guiones de trabajo). Finalmente, para implementar las actividades, se dividió a los y las estudiantes en duplas, que actuarían como facilitadores de grupos de ocho docentes del establecimiento escolar, contando con el apoyo de un profesional del equipo de Convivencia del establecimiento. La escuela, por su parte, organizó las rutinas de clases del profesorado dejando horarios liberados para la asistencia obligatoria a las sesiones del programa propuesto.

“... **diseñar** un espacio de observación y de autoobservación, atendiendo a la necesidad de fortalecer lazos y de contar con instancias de confianza interpersonal para autocuidarse y cuidar la convivencia del cuerpo docente”.

El encargado de Convivencia, responsable de la coordinación al interior del establecimiento, tuvo a su cargo la apertura motivacional de cada jornada, así como también el cierre en plenario de cada encuentro.

Ante escolares mediadores

En el semestre otoño 2022, se diseñó e implementa el programa formativo Mediación de Conflictos, orientado a escolares. Esta petición es el resultado de la valoración positiva del trabajo con el cuerpo docente, que ahora se quiere potenciar con los actores escolares. El curso complementario estuvo centrado en dos focos, a saber, Convivencia Escolar, y Mediación: los y las estudiantes de la carrera conocen los fundamentos de la mediación y ejercitan habilidades como mediadores a partir de la herramienta CLEHES. Traslada esta formación a los potenciales mediadores escolares del colegio, quienes son escogidos por sus pares atendiendo a sus características de confiabilidad y liderazgo. Los estudiantes de pedagogía generan un programa formativo básico, considerando las edades de los y las escolares. El proceso fue llevado a cabo por la Unidad de Convivencia Escolar. Las reuniones de coordinación y de toma de compromisos se realizaron en el aula universitaria con el encargado de Convivencia y con el grupo de 12 estudiantes de la carrera. Los acuerdos fueron: las jornadas se realizarían los días sábados, para lo cual el colegio aportaría transporte desde y hacia la Universidad, materiales y alimentación. La participación presencial de los y las estudiantes de Pedagogía en las jornadas sería voluntaria; el compromiso académico era el diseño y guion metodológico de las jornadas. Ante la libertad de comprometerse, 11 de los 12 estudiantes aceptaron el desafío por cuatro sábados consecutivos, cumpliendo a cabalidad horarios y tiempos extra de preparación. Se agruparon en equipos de trabajo que asumieron el diseño por niveles de curso: 5° a 7° básico; 8° básico a 2° medio; y 3° y 4° medio. Los criterios comunes fueron: uso de metodologías participativas y lúdicas; transferencia de habilidades; desarrollo de la técnica de mediación y su sentido dialógico y ético, atendiendo al contexto escuela.

La clase universitaria se transforma en un taller de propuestas en el que concurren aprendizajes, talentos, sentido del humor, investigación, lecturas y alta creatividad.

Resultados

Las experiencias reportadas en este artículo responden a instancias educacionales con características de laboratorio enactivo; es decir, se invita permanentemente al estudiantado participante a emerger desde identidades inéditas y a tomar acciones ante las necesidades detectadas, transformando las situaciones problema (dolores) en oportunidades de bienestar común y de cuidado mutuo. Se activa la capacidad de movimiento en la situación identificada observando los límites del cuidado propio y del otro; el horizonte es ético y estético.

Resultados de la experiencia ante el cuerpo docente

En la autoevaluación de aprendizajes realizada por el estudiantado, un 98% expresa que diseñar y gestionar un programa de formación en convivencia orientado al profesorado fue lo más significativo de la experiencia. Así lo manifiestan en sus testimonios:

- *La convivencia escolar no se trata únicamente de la resolución de conflictos, sino que busca crear un ambiente de bienestar permanente, por lo que, además de resolución de conflictos, deben existir espacios de habla y escucha activa con las y los trabajadores de la educación, de trabajo colectivo y de expresión de sentires e ideas.*
- *Uno de mis aprendizajes más fundamentales en este curso fue entender que la convivencia es un proceso que conlleva una gestión, no son simples acciones que mantienen lejos los conflictos, sino cómo la gestión de estos colabora con la convivencia en armonía.*

Respecto del desarrollo de habilidades, se destacan la escucha, la empatía y el trabajo en equipo:

- *La escucha con eros lo hace todo más cercano, empático y placentero. Las acciones (incluidos actos del habla) están*

construidas sobre necesidades y deseos. Reconocerlos, a través de la escucha, permite no solo comprender al otro, sino que actuar, si se desea, para empoderar a ese otro.

- *Con lo que me quedo de esta asignatura es que una buena convivencia se lleva a cabo con pequeñas acciones que debemos realizar por el bienestar de nuestra comunidad, que siempre parten por la disposición de cada uno o una. También, es relevante desarrollar la empatía y la escucha con eros para el bienestar de la comunidad educativa.*

- *Uno de los aprendizajes más importantes en mi futuro profesional fue el poder trabajar más en equipo, ya que en las jornadas que les hicimos a los profesores y profesoras del colegio tuvimos que realizar una conexión enorme en cuanto a la coordinación y al diálogo; entonces, este proceso me sirve mucho para cuando sea docente y tenga que llevar propuestas con otros profesores de otras disciplinas.*

“Las acciones (incluidos actos del habla) están construidas sobre necesidades y deseos. Reconocerlos, a través de la escucha, permite no solo comprender al otro, sino que actuar, si se desea, para empoderar a ese otro”.

En cuanto a la mediación, se adquirieron herramientas y habilidades que se valoran en el futuro ejercicio docente, tanto en el propio rol como también integrando una comunidad escolar:

- *Con respecto a la mediación, considero que aprender esta manera de resolver conflictos es de gran utilidad, independientemente de si en un futuro me desempeño en el área de convivencia como mediadora o no.*
- *Junto al trabajo de mis compañeros y el material de clase, ahora sé de los procesos de mediación y me siento preparado para colaborar con el equipo de convivencia en mi futuro lugar de trabajo.*

La mediación y la convivencia escolar son áreas de gran atractivo para los estudiantes que descubren sus habilidades en esta asignatura. Algunas expresiones de los participantes son las siguientes:

- *Siento que lo que más me ha dejado aprendizaje es lo aprendido con respecto a la mediación, lo mucho que me gusta poder hacer esto, y todo lo que tiene que ver con esta área me entusiasma y me encantaría en un futuro implementarlo en mi labor y poder llevar a cabo esa tarea.*
- *La actividad en el colegio me permitió abrir la imaginación. Ahora sé que es posible desarrollar espacios para el bienestar en un colegio.*
- *Otra cosa que me llevo conmigo es lo hábil que puedo ser para comunicar y poder guiar grupos; me lo llevo como aprendizaje, ya que no era consciente de esta fortaleza.*

Respecto de la aplicación de la herramienta CLEHES, el total de estudiantes valora la experiencia de su implementación en una situación auténtica que transita desde lo personal a lo organizacional:

- *CLEHES no es una herramienta idealizada; realmente puede ser utilizada en contextos reales para abordar situaciones reales de una organización escolar.*
- *La herramienta CLEHES puede ser aplicada en diversos espacios. Lo más esencial es gestionar espacios para reflexionar y hablar en torno a cada una de las dimensiones. Puede resultar muy sanador y provechoso en lo personal y en lo colectivo.*
- *Mirar desde el CLEHES cómo afecta lo individual al clima laboral y a la convivencia escolar fue un gran descubrimiento.*

“Mirar desde el CLEHES cómo afecta lo individual al clima laboral y a la convivencia escolar fue un gran descubrimiento”.



Imagen 1 Cierre de las jornadas con el profesorado. Quienes tienen una estrella son estudiantes de Pedagogía en Física y Matemática; quien tiene las iniciales EC es el encargado de Convivencia del colegio y egresado de la misma carrera.

Encarnar la herramienta como tecnología de autoobservación y de observación de las redes de interacciones en las que se participa fue otro aprendizaje destacado:

- *El uso del CLEHES en los diversos aspectos de mi vida, ya que hoy en día asocio todo al CLEHES y miro desde ahí.*
- *Silencio; si bien esta dimensión del CLEHES no se trabajó directamente en las sesiones, se vio fortalecida en mi propio CLEHES en una observación constante.*

Respecto del profesorado destinatario del programa, en la evaluación realizada por el colegio se reporta que abrió la capacidad de diseñar interacciones para una toma de decisiones consciente de los límites propios, observando las consecuencias de tales acciones en lo personal y en lo colectivo. Los aprendizajes del cuerpo docente arrojan que un 93% experimentó un fortalecimiento de las relaciones interpersonales y de la comunicación entre colegas, manifestando un impacto positivo en la salud mental, con un 37%. Este dato fue significativo puesto que, si bien la mejora de la salud mental escapó al propósito del programa, logró impactar en ella. La empatía generada entre colegas, el poder escuchar experiencias más allá del ámbito laboral, además del diálogo intergeneracional, abrieron un compartir y aprendizajes mutuos altamente valorados en sus respuestas abiertas, lo que se incorporó en la planificación escolar del año 2022. Lo más significativo fue recordar el porqué eligieron ser docentes, lo que les confirió sentido y fuerza para afrontar el contexto de pandemia.

Resultados de la experiencia con mediadores escolares

Al término de las jornadas de capacitación, la autoevaluación escrita y la puesta en común por parte de los y las estudiantes de Pedagogía reportó que fue una experiencia única la de “asumir el rol docente, de comprender la realidad y la historia de cada participante”; “lo valioso de poner en práctica y encarnar la gestión de conflictos son habilidades que nos acompañarán en nuestro futuro como profesores, llevamos el CLEHES y estas herramientas con nosotros”; “luego de las jornadas sentimos que hemos crecido como docentes, hemos desarrollado nuestra capacidad de planificar una clase, así como también nuestra actitud y acciones durante estas”; “el resultado es positivo cuando se mira el aprendizaje de los estudiantes como un proceso evolutivo en que se despojan de formas tradicionales de resolver conflictos y se encantan con un forma alternativa donde el respeto mutuo y el diálogo son primordiales para el proceso”.

“Desde el año 2020, la Unidad de Convivencia Escolar del establecimiento (...) ha impulsado una transformación cultural en el colegio, promoviendo el uso de la herramienta CLEHES en todos los estamentos”.

Imagen 2

Capacitando a mediadores escolares.





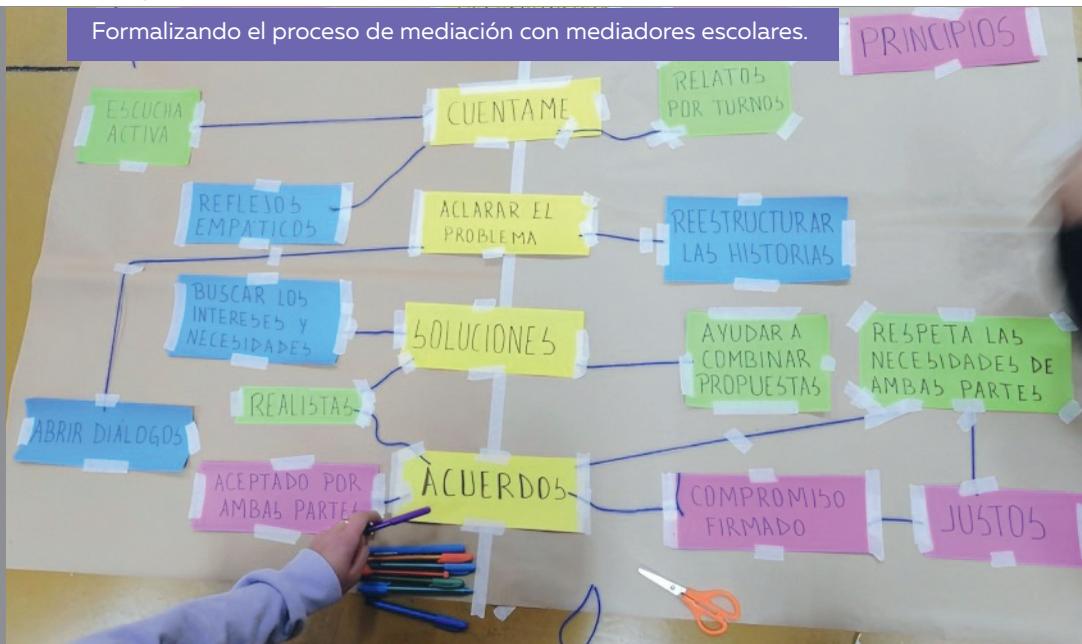
Imagen 3 Un estudiante de Pedagogía practica la mediación con escolares.

El grupo de mediadores escolares se fortaleció ante la comunidad escolar por parte de la Unidad de Convivencia de la escuela; fueron reconocidos públicamente como tales en el acto de cierre del año escolar 2022, que contó con la asistencia de apoderados y apoderadas.

Desde el año 2020, la Unidad de Convivencia Escolar del establecimiento, a través del encargado de Convivencia –que es un egresado de la carrera– ha impulsado una transformación cultural en el colegio promoviendo el uso de la herramienta CLEHES en todos los estamentos.

Imagen 4

Formalizando el proceso de mediación con mediadores escolares.



Evaluación

En su conjunto, la experiencia llevada a cabo entre el establecimiento escolar y los estudiantes de Pedagogía en formación inicial arroja una evaluación significativa de aportes y de aprendizajes mutuos. El desarrollo de ambas experiencias formativas permite concluir que se genera un círculo virtuoso resultante de poner en relación a profesores y profesoras en ejercicio con estudiantes de Pedagogía y a estos con escolares de distintos niveles de educación. Es, en definitiva, encarnar la convivencia intergeneracional en un sistema de observadores que, desde sus particulares dominios de acción, se cohesionan animados por deseos comunes de mejoramiento. No se trata de evitar situaciones de conflicto o de quedarse atrapados en “el problema” de convivencia; es, precisamente, lo opuesto: tener capacidad de abordar las situaciones cuando se cuenta con las herramientas y las habilidades que, con perspectiva ético-pedagógica, puedan activarse (enactuarse) para afianzar la sostenibilidad de la comunidad educativa.

Desde la carrera de Pedagogía en Física y Matemática, considerando la formación pedagógica del estudiantado en las áreas de convivencia y gestión de conflictos, es relevante destacar la capacidad de transferir herramientas y de abordar situaciones altamente complejas (como lo fueron las situaciones de pandemia y de pospandemia). Se activan los talentos, la creatividad, la capacidad de mirar a otros y de comprender sus perspectivas, aun cuando haya discrepancias; y aparecen lo lúdico y el sentido del humor como claves del bienestar propio y de los otros.

En este mismo sentido, se destaca el compromiso y la habilidad de colaboración en la formación de equipos de trabajo orientados a diseñar e implementar experiencias formativas que requieren de cohesión para consensuar metas y criterios pedagógicos éticos. Se revelan rasgos del perfil de egreso que se encarnan en experiencias situadas: actitudes que favorecen el diálogo, la colaboración y el respeto; dar respuesta a necesidades educativas; resolver diferencias considerando valores democráticos; contribuir con la toma de decisiones observando el bien común de una comunidad educativa, entre otros rasgos.

Un tercer aspecto destacable es el significado que adquiere para los y las estudiantes de Pedagogía aceptar un desafío que supone el despliegue de habilidades metacognitivas y cognitivas superiores. En este sentido, no se trata únicamente de adquirir conocimientos y aplicarlos, sino también de ser capaces de autoobservarse y de observar el clima de un grupo (profesores en ejercicio y escolares de distintas edades) para enactuar según el momento y resolver los quiebres emergentes.

Responder a estos desafíos requiere de un acompañamiento sostenido y sistemático. En este caso, el encargado de convivencia escolar y la docente universitaria hacen de guías, de soporte socioemocional y de estímulo permanente hacia el aprendizaje encarnado en habilidades que se declaran para el siglo XXI: pensamiento crítico, pensamiento sistémico, colaboración, comunicación, creatividad e innovación, reflexión, toma de decisiones.

Los inhibidores para el aprendizaje detectados en los y las estudiantes surgen ante el imaginario del escenario futuro: no sentirse capaces de dialogar con profesores en ejercicio desde un lugar formativo: “¿qué le voy a enseñar yo a un profesor o profesora? o “no sé cómo me voy a relacionar con niños y niñas”. Las visiones estereotipadas de ser profesor o profesora como autoridad lejana y emocionalmente distante que se gatillan en la historia escolar de cada pedagogo en formación, y una declaración de ignorancia relativa a la infancia, desestabilizan la posibilidad de enacción. Es necesario abrir estos aspectos centrales en conversaciones preparatorias, pues solo en la escucha erótica grupal es posible interrogarlos, reinterpretarlos y resignificarlos.

“En este sentido, no se trata únicamente de adquirir conocimientos y aplicarlos, sino también, simultáneamente, de ser capaces de autoobservarse y de observar el clima de un grupo (...) para enactuar según el momento y resolver los quiebres emergentes”.

Los fundamentos de la asignatura de Pedagogía de la Convivencia y Mediación Escolar se sostienen en una antropología que observa al ser humano desde su naturaleza biológica y cultural, en tanto especie abierta al aprendizaje, plástica en sus impulsos y creadora de modos de convivir. Es, precisamente, la convivencia la que hoy se ve tensionada y conflictuada por la diversidad de mundos que entran en relación en un mismo sistema social, sea este local o global, y cuyo movimiento se dinamiza por los sistemas de actividad humana que entran en interacción. La tensión o fractura entre naturaleza humana y sistemas de convivencia es lo que genera dolores/sufrimientos en los seres humanos, grupos, comunidades, organizaciones y/o sociedades.

La herramienta CLEHES ha sido aplicada en diferentes contextos y dominios de las organizaciones humanas para resolver situaciones problema de diversa complejidad, tanto a nivel nacional como internacional. En el campo de la convivencia escolar, ha sido destacada como una herramienta significativa en Latinoamérica para orientar a la (en)acción a los actores que participan de ella (Centro de Desarrollo de Liderazgo Educativo, 2018; Fierro-Evans y Carvajal-Padilla, 2019); en el ámbito internacional, ha sido incorporada en organizaciones que impulsan el trabajo en red y la colaboración, así como en instituciones educativas que buscan abrir sus mallas curriculares a la diversidad cultural y epistemológica; es el caso de TejeRedes de Madrid, España (Figueroa, C., 2016) y de City University, de Londres, Reino Unido (García, O. et al., 2022), respectivamente. Instituciones educacionales la han incorporado como parte de la formación de profesionales; organizaciones y personas hacen uso de la herramienta en sus diversos quehaceres y en la gestión de sus propias dinámicas internas.

La herramienta CLEHES surge de la escucha sistemática de dolores diversos y de la insatisfacción de los seres humanos y de las organizaciones que buscan su viabilidad, ante recetas o herramientas lineales que no asumen el trasfondo ontológico de los quiebres o tensión en su dinámica relacional.

“CLEHES es una herramienta enactiva que nos mueve, nos sitúa como autores de nuestras propias experiencias y prácticas, evidenciando el poder que tenemos sobre ellas a través de la observación, interrogación, conservación de prácticas y/o transformación de lo que se desea cambiar. Cada una de sus dimensiones es un dominio desde donde el ser humano observa y opera en las interacciones, dejando aparecer un mundo nuevo que emerge en la acción” (García y Saavedra, 2016).

Agradecemos al colegio que hizo posible el aprendizaje de nuestros estudiantes, y a ellos y ellas que, comprometidos con su formación inicial, despliegan potencialidades insospechadas y se atreven a ser gestores de sus propias utopías.

Referencias bibliográficas

- Belmar-Rojas, C., Fuentes-González, C., Jiménez-Cruces, L. (2021): La educación chilena en tiempos de emergencia: educar y aprender en tiempos de pandemia por Covid-19, *Revista Saberes Educativos*, n.º 7, julio-diciembre 2021; pp. 01-25.
- Centro de Desarrollo de Liderazgo Educativo (2018): Convivencia escolar para líderes educativos, Universidad Diego Portales, Santiago de Chile.
- Educación 2020 (2020): Educar en tiempos de pandemia. Parte 2: Recomendaciones pedagógicas para la educación socio-emocional (mayo). https://educacion2020.cl/wp-content/uploads/2020/05/OrientacionesPedago%CC%81gicas_Parte2_E2020-1-1.pdf.
- Fierro-Evans, C. y Carvajal-Padilla, P. (2019): Convivencia escolar: una revisión del concepto, *Psicoperspectivas*, 18(1); pp. 1-14 <https://www.psicoperspectivas.cl/index.php/psicoperspectivas/article/view/1486>
- Figueroa, C. (2016): Trabajo en red y sistemas de gestión colaborativos, Edición digital TejeRedes, Madrid, España. www.tejeredes.net.
- García De la Cerda, O. y Saavedra Ulloa, M. S. (2006): Self-Management: An innovative tool for enactive human design, in P. Adam, P. Brezillon, S. Carlsson y P. Humphreys (eds.), *Creativity and Innovation in Decision Making and Decision Support*, London, England, Decision Support Press; pp. 195-214.
- García, O. y Saavedra, M. S. (2014): Enactive Management: dancing with uncertainty and complexity, *Kybernetes*, Vol. 43, issue 8.
- García, O. y Saavedra, M. S. (2016): Una herramienta ontológica y enactiva para la educación en convivencia, *Orientación y Sociedad*, n.º 16, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- García, O., Humphreys, P., Saavedra, M. S. (2018): Enactive management: a nurturing technology enabling fresh decision making to cope with conflict situations, *Journal Futures*, 103, United Kingdom; pp. 84-93.
- García, O., Kernan, M. A. y Holtham, C. (2022): Embodied pedagogies, the arts and reflexive systems in enactive management education, *World Organization of Systems and Cybernetics*, 18, Congress-WOSC2021, Springer Nature Switzerland AG.
- López, V., Manghi, D., Melo-Letelier, G., Godoy-Echiburú, G., Otárola, F., Aranda, I., Aráneda, S., López-Concha, R., Ávalos, B. (2021): Experiencias docentes heterogéneas en pandemia Covid-19: un análisis interseccional con diseño mixto, *Psicoperspectivas*, 20(3) <https://dx.doi.org/10.5027/psicoperspectivas-vol20-issue3-fulltext-2434>
- Varela, F., Thompson, E., Rosch, E. (1992): *The embodied mind: cognitive science and human experience*, Cambridge, Mass., MIT Press, USA.
- Varela, F. (2000): *El fenómeno de la vida*, Dolmen, Santiago de Chile.

Capítulo 6

Pedagogía performática para la formación docente: prácticas de Física y Matemática con enfoque intercultural crítico

María Magdalena Aguilera-Valdivia¹
Tamara Valdebenito Zúñiga²

La discriminación y exclusión que los niños, niñas y adolescentes migrantes sufren en las escuelas chilenas (Cerón et al., 2017; Pavez Soto, 2013; Riedemann y Stefoni, 2015; Tijoux, 2013) se relaciona con la manera histórica en que se ha abordado la multiculturalidad en las instituciones educativas. En estas, el énfasis asimilacionista ha invisibilizado y naturalizado la discriminación, al entenderla como un aspecto “normal” de la cotidianidad, reproduciendo la racialización, etnización y extranjerización, generización y diferenciación en términos de clase (Riedemann y Stefoni, 2015; Stefoni et al., 2016). Pese a que existe una política nacional de estudiantes extranjeros (Ministerio de Educación de Chile, 2018), no se ha elaborado aún una política educativa integral que aborde en todas las perspectivas la diversificación de este estudiantado (Riedemann et al., 2020). Aspectos como el acompañamiento quedan en un segundo plano frente a la demanda escolar por subir puntajes en las evaluaciones estandarizadas.

De esta forma, las prácticas pedagógicas interculturales debieran estar dirigidas a los y las estudiantes en su conjunto, promoviendo la colaboración para la igualdad de oportunidades y la superación sostenible del racismo histórico (Garreta et al., 2020). En esta línea, se releva lo planteado por el enfoque intercultural crítico (EIC), en cuanto a la necesidad de un cambio de las estructuras, condiciones y dispositivos de poder que históricamente han caracterizado a la escuela, tomando conciencia del rol que juega la racialización de las relaciones e interacciones sociales en las sociedades latinoamericanas. Es necesario, por tanto, rescatar y promover seres y saberes que persisten a pesar de la colonialidad (Walsh, 2010).

-
- 1 Profesora de Educación Básica Universidad de Magallanes, Máster en Conflictología Universidad Abierta de Cataluña, Doctora en Ciencias de la Educación mención Educación Intercultural USACH.
 - 2 Profesora de Estado en Física y Matemática USACH.



Las investigaciones referidas a prácticas pedagógicas interculturales (PPI) para el aprendizaje de la ciencia y la matemática han sugerido la utilización del Aprendizaje Colaborativo (AC), el Aprendizaje Dialógico (AD), el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y el Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), relevando el rol de la colaboración y el diálogo multicultural en el aula para lograr la interculturalidad (Romero, 2019). En la enseñanza de la matemática, para la resolución de problemas, por ejemplo, se aconseja propiciar el trabajo cooperativo con interacciones enriquecedoras entre estudiantes, y el uso de un lenguaje bilingüe en la argumentación matemática y la metacognición (Lodhi, Rosich y Cantero, 2019); también es recomendable que a través del modelado matemático se conecte la formulación de problemas con situaciones reales que viven los y las estudiantes (Aravena, Rodríguez y Barría, 2020). Asimismo, el juego es valorado como un artefacto intercultural y mediador pedagógico, del mismo modo que el lenguaje es un elemento clave para establecer diálogos entre culturas (Melo, 2021).

Este trabajo presenta una experiencia desarrollada en 2019, 2021 y 2022 en la asignatura de Educación Intercultural del Minor en Gestión de Convivencia y del Clima de Aula Escolar, que imparte la carrera de Pedagogía en Física y Matemática/ Licenciatura en Educación de Física y Matemática (PLEFM) de la Universidad de Santiago de Chile (USACH). Sobre la base de una pedagogía performática, los y las futuras docentes diseñaron y/o implementaron prácticas pedagógicas con EIC en escenarios escolares con población migrante.

Desarrollo

La pedagogía performática se centró en la creación de espacios en los que los y las docentes en formación desplegaron acciones e interacciones en sintonía con lo que iba ocurriendo en el aula, originándose escenarios transformativos (Schechner, 2003) en los cuales las corporeidades presentes hicieron “emerger mundos” (Varela et al., 2011), el lenguaje creó realidades (Maturana, 1997) y los cuerpos expresaron sentidos y maneras particulares de comunicar consistentes con las identidades (Aguilera-Valdivia, en prensa; Gallo, 2017). En estos escenarios se desarrolló la sensibilidad de los y las docentes en formación para recrear redes de intersubjetividad en las que mostraron “maneras de ser” y “de hacer” (De Certeau, 2000). En las interacciones lúdicas espontáneas y libertarias que se generaron, estos desplegaron actitudes y emociones, poniendo en acto y co-construyendo sus identidades (Aguilera-Valdivia, 2023; Aguilera-Valdivia et al., 2022). En estos espacios pedagógicos performáticos lo vivencial e interactivo constituyó un nicho para el diseño y/o implementación de las PPI; y la reflexión y la autoobservación

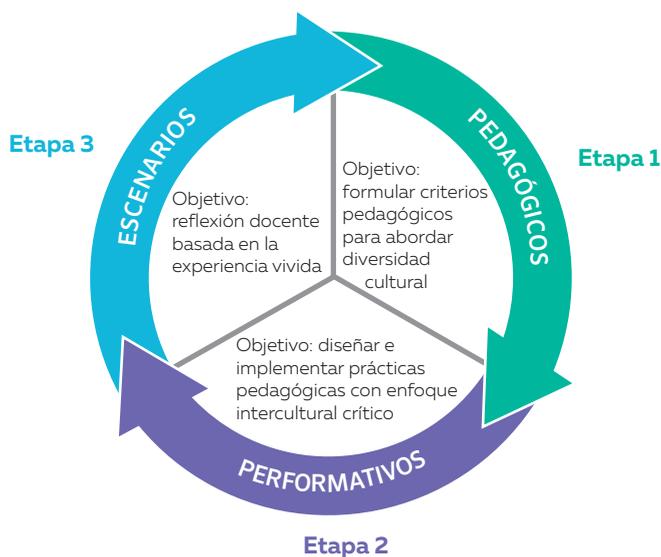
de estos actores promovió la mejora pedagógica y la responsabilidad docente en el abordaje de la diversidad cultural.

La experiencia se desarrolló en tres fases interconectadas, es decir, se buscó que para transitar entre estas siempre hubiera que considerar lo vivido y aprendido en las otras. En la primera fase, los y las futuras docentes conversaron lúdicamente sobre criterios y estrategias pedagógicos con los cuales guiarse para diseñar e implementar prácticas con enfoque cultural crítico; previamente, incorporaron conocimientos sobre el fenómeno de la migración en el contexto actual y el panorama de la escuela multicultural en Chile. En la segunda fase, diseñaron e implementaron las PPI

“La pedagogía performática [permitió generar] escenarios transformativos (Schechner, 2003) en los cuales las corporeidades presentes hicieron ‘emerger mundos’ (Varela et al., 2011), el lenguaje creó realidades (Maturana, 1997) y los cuerpos expresaron sentidos y maneras particulares de comunicar consistentes con las identidades (Aguilera-Valdivia, en prensa; Gallo, 2017)”.

Figura 1

Diagrama del proceso educativo co-creado.



◆ Fuente: Elaboración propia

con base en experiencias caracterizadas por la espontaneidad, la creatividad y la libertad, en conversaciones con actores especializados en el tema, con excompañeros y compañeras, y entre pares, sobre los diseños creados. En la última fase, analizaron y evaluaron las implementaciones realizadas, en una instancia compartida con los actores especializados, los que aportaron saberes para los diseños (Figura 1).

Al respecto, en una de las versiones de la asignatura, el proceso educativo que se desarrolló fue parte del proyecto “El desafío de la educación intercultural: orientaciones desde la interacción entre los niños y niñas migrantes y el profesorado en formación”, llevado a cabo por un equipo de funcionarios, académicos y estudiantes de diversas carreras de la USACH, niños, niñas, adolescentes y tutores pertenecientes a la Fundación Frè ³, y patrocinado por el Fondo VIME (Vicerrectoría de Vinculación con el Medio) de la Universidad, durante 2021. Su objetivo fue favorecer el desarrollo de la educación intercultural en la formación de profesores de la USACH y en la experiencia educativa de los y las estudiantes

3 Fundación que apoya a familias migrantes (especialmente haitianas), en asuntos jurídicos, laborales, alimentación, salud y, principalmente, en temas educativos.

de la Fundación Frè, desde las conclusiones del profesorado en formación y desde las voces de los niños, niñas y adolescentes de dicha Fundación. En este contexto, la participación en el proyecto de la asignatura Educación Intercultural consistió en apoyar, a través de clases de Física y Matemática con enfoque intercultural, el proceso académico de los y las estudiantes migrantes para mejorar su desempeño escolar.

Primera fase: criterios pedagógicos

En esta fase, los y las futuras docentes comprendieron el panorama que vive la población migrante en las escuelas, sensibilizándose con las necesidades de niños, niñas y adolescentes migrantes, y descubrieron las oportunidades del EIC para el aprendizaje de los y las estudiantes. Para ello, en los escenarios pedagógicos performáticos, por ejemplo, escucharon colectivamente melodías musicales propias de los países de origen de la población migrante, valorando sus elementos culturales; y compartieron empáticamente experiencias de migraciones que habían vivido familiares y/o amigos, o ellos mismos, mostrando fotos, objetos o videos (Imagen 1).

Imagen 1

Actividad en sala de clases USACH basada en experiencias biográficas migratorias de los y las estudiantes.



◆ Fuente: Fotografía tomada en sala de clases USACH.



Imagen 2

Entrevistas etnográficas virtuales.

Entrevistado: Fernando Carrasco Mery

- Profesor general en Enseñanza Básica (mención en Artes Visuales)
- Comunicador audiovisual
- Doctor en Comunicación y Culturas Contemporáneas
- Profesor de enseñanza-aprendizaje de la lengua española en contexto migratorio haitiano

◆ Fuente: Pantallazo tomado en entrevista etnográfica realizada por estudiantes a un experto en el ámbito de la interculturalidad a través de la aplicación Zoom.

Compartieron, también, experiencias con actores especializados⁴ en variados ámbitos del fenómeno migratorio, al realizar entrevistas etnográficas para pesquisar ideas que les permitieran crear criterios y estrategias para el diseño e implementación de las PPI. Esta experiencia compartida en aula generó entre los y las docentes en formación asombro, optimismo y entusiasmo hacia el quehacer pedagógico (Imagen 2).

Los criterios pedagógicos con EIC creados tuvieron como base el reconocimiento de la identidad cultural de los y las migrantes y el diálogo entre culturas, abordando la construcción racializada de la diferencia y la promoción de seres y saberes que persisten a pesar de la colonialidad (Walsh, 2010).

4 Los nombres que aparecen en el trabajo son reales; decisión respaldada a través de consentimientos informados presentados por los actores en cuestión.



Imagen 3

◆ Fuente: Pantallazo de una actividad en la que se presentó un *podcast* que propició el diálogo sobre la implementación de la prevención de sismos.

Segunda fase: prácticas pedagógicas interculturales

En esta fase, las y los futuros docentes conversaron sobre aspectos relevantes que surgieron en las entrevistas, y sobre puntos de encuentro entre el currículo para la enseñanza de la física y la matemática y las PPI, participando performativamente en un *podcast* virtual creado por excompañeros de carrera sobre prácticas desarrolladas en versiones anteriores de la asignatura (Imagen 3), como también en diálogos entre pares en relación con los diseños propuestos y con las prácticas que se iban a implementar próximamente (Imagen 4).

Posteriormente, desarrollaron las prácticas en contextos con escolaridad migrante, las que no estuvieron exentas de dificultades, teniendo en cuenta las características de la escuela monocultural. Así, por ejemplo, para enseñar conceptos de termodinámica utilizaron muestras de especias con las que las familias de los y las escolares tradicionalmente preparan alimentos. Para modelar funciones, consideraron experiencias de catástrofes o problemas vividos por los y las estudiantes, desplegando actitudes y lenguajes que relevaban el esfuerzo de los migrantes por salir adelante ante estas experiencias. También consideraron experiencias preventivas

de sismos desarrolladas en los países cuya población ha migrado a Chile, utilizando relatos de los y las estudiantes sobre sus vivencias personales, el despliegue de *performances* colectivas y el fomento de sus ideas sobre construcciones antisísmicas. En otros casos, consideraron ámbitos y recursos socioculturales, tales como fiestas religiosas y expresiones artísticas, para enseñar los conceptos de cinestesia y perspectiva (Imágenes 5 y 6).

De esta forma, las prácticas respondieron a criterios pedagógicos y a estrategias pedagógicas con EIC. La Tabla 1 en la siguiente página presenta información sobre algunas de las prácticas implementadas.

Imagen 4



◆ Fuente: Fotografía de la visita de un excompañero a la sala de clases en la USACH para presentar una PPI sobre termodinámica.

Imagen 5

Imagen de la fiesta del Señor de los Milagros en Perú.

Imagen 6

Parte de un mural ubicado en un sector de Santiago concurrido por migrantes de diversos países.

Alexandra



◆ Fuente: Imágenes de una clase sobre homotecia con EIC realizada por estudiantes del curso en un aula multicultural a través de la aplicación Zoom.

Tabla 1

Prácticas implementadas

Objetivos de Aprendizaje (OA) ⁵ (Ministerio de Educación de Chile, 2019)	Criterios pedagógicos con enfoque intercultural crítico	
<p>OA 03 Matemática 3° medio</p> <ul style="list-style-type: none"> · Comprender el comportamiento de la función logarítmica a través del análisis de su modelo para la escala de medición de terremotos. 	<p>Organizar secuencias de aprendizaje en las que se vinculen aspectos culturales de los países de origen de los y las migrantes con contenidos, actitudes y procedimientos relacionados con la física y la matemática.</p>	
<p>OA 08 Matemática 1° medio</p> <ul style="list-style-type: none"> · Comprender el concepto de homotecia relacionándolo con la perspectiva, el funcionamiento de instrumentos ópticos y el ojo humano. 	<p>Intencionar espacios que promuevan conciencia sobre la existencia de esquemas culturales diferentes a aquellos culturalmente dominantes.</p> <p>Imbricar elementos que favorezcan un clima de aula respetuoso de las diferencias culturales y que valore aquellas culturas históricamente excluidas.</p>	
<p>OA 11 Ciencias Naturales 8° básico</p> <ul style="list-style-type: none"> · Explicar el concepto de calor y de temperatura, diferenciándolos entre sí. · Reconocer mecanismos de transferencia de calor. 	<p>Utilizar el lenguaje y el cuerpo como medios para crear realidades que promuevan el diálogo entre culturas y el reconocimiento cultural.</p>	
<p>OA 3 Ciencias para la Ciudadanía 3° medio</p> <ul style="list-style-type: none"> · Analizar los riesgos de los sismos en su contexto local, evaluando las capacidades existentes en la escuela y la comunidad para la prevención, mitigación y adaptación a las consecuencias de los sismos. 	<p>Generar oportunidades para valorar los procesos socioemocionales que viven los y las estudiantes migrantes.</p>	

⁵ Los Objetivos de Aprendizaje (OA) tienen por finalidad definir los aprendizajes terminales esperables para una asignatura determinada y para cada año escolar. Cada uno de ellos conjuga habilidades, actitudes y conocimientos en pro de lograr la formación integral de cada estudiante (MINEDUC, 2019).

Actividades y estrategias pedagógicas ⁶

- Compartir fotografías sobre daños provocados por terremotos ocurridos en Chile y Haití, analizando el impacto en la migración del pueblo haitiano.
- Realizar un trabajo colaborativo con datos de momentos sísmicos en localidades de Chile y Haití, evaluándolos en funciones y obteniendo sus magnitudes y puntos cartesianos para graficarlos en el plano.
- Reflexionar en plenario acerca de la migración del pueblo haitiano como una consecuencia del terremoto de 2010, valorando su esfuerzo por salir adelante.
- Analizar colectivamente el concepto de perspectiva con base en fotografías individuales relacionadas con eventos religiosos vividos.
- Compartir vivencias personales relacionadas con los eventos religiosos considerando fotografías.
- Distinguir colectivamente y en una pizarra Jamboard, puntos de fuga que aparecen en las fotografías, valorando aspectos de las diferentes culturas.
- Elaborar colectivamente un *collage* con los trabajos realizados, valorando aspectos de las culturas deslegitimadas.
- Analizar colectivamente aprendizajes logrados, legitimando diferencias culturales.
- Organizar colectivamente una tienda de mercado en la que se vendan especias propias de cada cultura.
- Participar en una *performance* colectiva con base en la representación del docente preparando caldos con especias.
- Saludar según diversas culturas.
- En equipos, compartir experiencias personales vividas en sismos, y medidas de seguridad consideradas en la familia y en la escuela.
- Actuar en una *performance* colectiva con base en una representación de estudiantes provenientes de distintos países, en el rol de miembros de equipos de expertos en sismos reunidos para buscar soluciones a problemas generados en las escuelas.
- Idear colectivamente una construcción antisísmica para una escuela, teniendo en cuenta aspectos culturales que podrían afectarla.
- Presentar en la clase propuestas antisísmicas argumentando decisiones y puntos de vista.

◆ Fuente: Elaboración propia

⁶ Dada la extensión del trabajo, se presenta una selección de las actividades realizadas.



Tercera fase: diálogo sobre experiencias docentes interculturales

En esta fase, en espacios colectivos de conversación para sistematizar las experiencias realizadas, se diseñó e implementó una “mesa de discusión” (considerándose día, duración del evento, título, invitación virtual a actores, participantes, estructura de funcionamiento y programación), entre docentes en formación y los actores entrevistados en la fase anterior. En este escenario performático, los y las futuras docentes y los actores pusieron “sobre la mesa” sus experiencias formativas y pedagógicas desplegando emociones, saberes teóricos y habilidades que dieron cuenta de un aprendizaje mutuo e integrador (Imagen 7).

Imagen 7

Afiche de mesa de discusión “Aula intercultural: Un enfoque crítico para avanzar hacia la justicia social”.

AULA INTERCULTURAL
un enfoque crítico para avanzar hacia la justicia social

26 AGOSTO 17 HORAS

ENLACE
<https://cutt.ly/MQ6Vzj7>

INVITA
Curso de Educación Intercultural
Pedagogía en Física y Matemática
Usach

Docentes en formación, pedagogía en física y matemática, usach
Javier Alfaro, Consuelo Álvarez y Marijosé Arenas: Su experiencia desde la pedagogía intercultural es en convivencia y brecha social
Daniela Medina y Pablo Narajón: Su experiencia desde la pedagogía intercultural es en espiritualidad y religiosidad.
Mayra Arias y Tamara Zúñiga: Su experiencia desde la pedagogía en interculturalidad es en medicinas ancestrales y bienestar emocional
Catalina Riquelme, Gustavo Pichuñal y Patricio Godoy: Su experiencia desde la pedagogía intercultural crítica es en medio ambiente y Sumak Kawsay

Modera
Luis Valenzuela, docente en formación, ayudante de curso de Educación Intercultural
Magdalena Aguilera, profesora, doctora en ciencias de la educación

PROGRAMACIÓN
 17:00- 17:10 BREVE PRESENTACIÓN DE LA MESA DE DISCUSIÓN Y SUS PARTICIPANTES
 17:10- 17:50 PRIMERA RONDA DE PREGUNTAS
 17:50- 18:00 RECESO
 18:00- 18:40 SEGUNDA RONDA DE PREGUNTAS
 18:40- 18:50 PALABRAS AL CIERRE

PARTICIPANTES
Hardy Rojas, profesor de estado en Historia y Ciencias Sociales
Claudia Carrillo, profesora, doctora en ciencias sociales
Fernando Carrasco, profesor, doctor en comunicación y culturas contemporáneas
Genara Flores, profesora intercultural bilingüe, educadora de lengua y cultura aimara
Haylen Chang, Ingeniera civil ambiental y activista medioambiental en defensa de las comunidades quechuas del Norte de Chile

◆ Fuente: Afiche creado por ayudante del curso.

Resultados

Una vez terminada la asignatura, se aplicó un cuestionario para evaluar los resultados obtenidos, a través del cual se consultó a las y los futuros docentes sobre el significado de la experiencia vivida. A lo largo del proceso, el equipo (ayudanta y profesora) evaluó constantemente la efectividad de los espacios performáticos en el aprendizaje.

De acuerdo al objetivo de la experiencia que se presenta, se pesquisaron dos categorías a partir del análisis de los datos recolectados: a) Enseñanza intercultural de la física y la matemática; b) Pedagogía performática como escenario de aprendizaje.

a. Enseñanza intercultural de la física y la matemática. Esta categoría se desglosó en las siguientes subcategorías: Sensibilidad docente; Actuar estratégicamente; y Pedagogía intercultural crítica.

i) *Sensibilidad docente*: los y las futuras profesoras expresaron su sensibilidad hacia la diversidad cultural de distintas formas; por ejemplo, considerando durante el desarrollo del trabajo pedagógico la necesidad de recuperar y sanar lazos al interior de la cultura escolar; asumiendo el contexto de la escuela latinoamericana marcada por relaciones de opresión: “No negar dónde estamos [el contexto de la escuela]; Saber cómo se ha construido esta cultura latinoamericana y desde ahí trabajar (...), recuperar, sanar lazos” (participante 11).

En otros casos, empatizaron y valoraron saberes, experiencias y vivencias de los y las migrantes: “En el tema de matemática, hay gente [estudiantes] que dividen de otra forma, por ejemplo; entonces eso hay que aprenderlo... En temas de ciencias, irse a la experiencia también... cosas que están viviendo y sintiendo también [los y las estudiantes]” (participante 13). Otro participante expresó: “Incorporar algo que retome las experiencias [de niños y niñas migrantes]; podemos recoger de los estudiantes elementos que enriquezcan nuestras clases” (participante 12).

ii) *Actuar estratégicamente*: al respecto, los docentes en formación destacaron las dificultades que tienen en el trabajo pedagógico con la multiculturalidad. Uno de los participantes declaró: “Trabajamos con la dificultad de reconocer las identidades de distintos países latinoamericanos (...), y cómo estas van mostrándose en ciertos ritos particulares”; asimismo, relevó la importancia de poder actuar estratégicamente en la manera en que se estructura el sistema escolar: “Aprovechar las pequeñas grietas que se dan en el sistema, ya que tenemos que ser capaces de sortear la rígida estructura de los establecimientos educacionales tradicionales” (participante 1).

“... los y las futuras profesoras expresaron su sensibilidad hacia la diversidad cultural de distintas formas; por ejemplo, (...) asumiendo el contexto de la escuela latinoamericana marcada por relaciones de opresión: ‘no negar dónde estamos [el contexto de la escuela]; saber cómo se ha construido esta cultura latinoamericana y desde ahí trabajar (...), recuperar, sanar lazos’ (participante 11)”.

iii) *Pedagogía intercultural crítica*: en este ámbito, los y las futuras docentes señalaron la importancia de que el EIC se aplique en las clases de manera transversal a los contenidos: “Volver [el enfoque intercultural] parte de nuestras clases (...), no como algo superficial, sino como algo de importancia que abarque gran parte de los contenidos” (participante 2). Vinculado con lo anterior, otro participante se refirió a la contextualización de la enseñanza de la ciencia y la matemática y la generación de una visión crítica en los y las estudiantes por parte del docente de ciencias: “Identificar su real valor e historia [de las diversas culturas], generando visión crítica no solo científica, sino que también sobre nuestro contexto y sociedad” (participante 3). Asimismo, otro participante se refirió a la contextualización de los saberes que se enseñan, reconociendo los saberes “otros” de culturas subalternizadas: “Contextualizar los saberes desde sus realidades [de los migrantes], desde la interculturalidad crítica, presentando y representando lo otro invisibilizado y utilizando los saberes otros” (participante 4).

Por último, otros futuros profesores y profesoras enfatizaron el rol que cumple el lenguaje verbal y no verbal para que exista un reconocimiento de las culturas desvalorizadas en el diálogo de saberes: “Los recursos semióticos presentes en el proceso de enseñanza-aprendizaje hacen la diferencia entre un enfoque y otro [intercultural crítico y multicultural]; por lo que las palabras, el lenguaje no verbal, la actitud y el discurso de los y las docentes debe corresponder con el enfoque escogido [EIC], teniendo especial consideración con lo que se va planteando en el aula y corrigiendo términos, prejuicios o estereotipos, de forma que los conocimientos que se traen al diálogo de saberes permitan el reconocimiento de una cultura subalternizada, sin aumentar la brecha entre culturas” (participante 5).

b. Pedagogía performática como escenario de aprendizaje.

Los y las docentes en formación señalaron ciertas características de la pedagogía performática vinculadas a su participación y expresión individual y colectiva, relevando ámbitos y aspectos a través de los cuales estas se desarrollaron, tales como el ludismo, la expresión artística, la creación de climas emocionales respetuosos y de espacios de reflexión, y la generación de ideas y aprendizajes.

Una participante relacionó ambas características (participación y expresión individual y colectiva) con su conexión con recursos artísticos y lúdicos que se utilizaron en estos espacios formativos: “Siempre conecté con el arte, llevando música, dibujos, *performances*, sentido del humor y juego” (participante 5). Otros relevaron lo que sintieron y el significado que otorgaron a esos escenarios performáticos: “Cada lunes tenía un espacio de confianza, de seguridad, de integración y de aprendizaje” (participante 6). También destacaron la generación de ideas: “La experiencia vivida en la asignatura abrió nuevas ideas en mi mente, en muchas ocasiones quedé muy pensativo sobre lo conversado en las clases” (participante 3); y los aprendizajes desarrollados a través de la relación con actores invitados al aula: “La experiencia estuvo llena de aprendizajes y, sobre todo, con las participaciones de las distintas personas que vinieron a contarnos sus vivencias, sus modos de vivir” (participante 8).

Los futuros profesores y profesoras resaltaron cómo, a través de esta pedagogía, reflexionaron sobre su identidad docente en cuanto al valor que tiene la oportunidad de hacer cambios: "Me ayudó a pensar acerca de mi identidad docente y reformularla de manera que incentive a los estudiantes a ser más críticos y que conozcan y valoren otras culturas" (participante 7); y también sobre su interés en cuanto al estilo y sello del rol docente: "Me ha permitido reflexionar sobre mi futuro, donde deseo no ser una profesora tradicional que repita patrones represivos (...) en una sala donde no haya espacio para las emociones" (participante 5).

Evaluación



En relación con la sensibilidad hacia la diversidad cultural de los y las docentes en formación, destacamos la importancia que otorgan a asumir el contexto de una escuela chilena monocultural con su origen en el colonialismo histórico caracterizado por las relaciones de poder presentes en América Latina; remarcan la necesidad de recuperar y sanar lazos entre los y las estudiantes chilenas y los y las migrantes. Relevamos, también, la importancia que otorgan a la necesidad de empatizar y valorar las experiencias escolares, vivencias y emociones que caracterizan las trayectorias migratorias de los y las escolares.

Respecto de la necesidad de un posicionamiento pedagógico para actuar según el *modus operandi* de la escuela monocultural, remarcamos la importancia que otorgan los y las futuras docentes a la actuación estratégica en el sistema escolar, aprovechando "las pequeñas grietas que se dan en el sistema" (participante 1) para sortear la estructura pedagógica rígida de los establecimientos educacionales. De hecho, las estrategias y criterios pedagógicos desarrollados por las y los futuros docentes en las prácticas con EIC implicaron ajustes pedagógicos que mostraron el despliegue de su autonomía y creatividad pedagógica a través de "maneras de ser" y "de hacer" que los distanciaron de la pasividad (De Certeau, 2000). Desde esta perspectiva, resaltamos lo que sostienen acerca

de las dificultades que enfrentan como profesores y profesoras para valorar las diferentes identidades culturales. La literatura especializada referida al tema señala que, en tanto foco central de la política educativa, la medición de la calidad de la educación a través de las conocidas pruebas estandarizadas no facilita a la escuela el abordaje de los problemas y necesidades que viven los y las escolares migrantes (Pincheira, 2020; Poblete, 2018; Riedemann et al., 2020).

También destacamos la valoración que hacen los y las futuras docentes respecto de una enseñanza contextualizada que promueva una visión crítica sobre la sociedad y su contexto, y de la necesidad de considerar las vivencias de los escolares migrantes apreciando los saberes “otros” (Walsh, 2010) que portan estas culturas. Por último, realzamos la importancia que plantean respecto de la observación y el cuidado en la coherencia entre el lenguaje verbal y no verbal de un profesor o profesora para contribuir a frenar la discriminación, promoviendo un diálogo de saberes que reconozca las culturas subalternizadas.

En cuanto a la pedagogía performática, destacamos los espacios que crearon los futuros docentes en las PPI que desarrollaron, motivando la expresión identitaria individual y colectiva de los y las escolares; en estos espacios, el relato biográfico, el despliegue corporal, el diálogo dialógico, la reflexión crítica y recursos didácticos tales como fotografías, *collages*, juegos, *role playings* y herramientas TIC fueron medios para el despliegue de la expresión identitaria de los y las escolares. Enfatizamos cómo la utilización de estas estrategias y recursos permitió que las y los futuros docentes valoraran las prácticas culturales de los y las estudiantes migrantes, y su participación activa; y consideraran las necesidades socioemocionales vinculadas con el duelo por la

“... remarcamos la importancia que otorgan los y las futuras docentes a la actuación estratégica en el sistema escolar, aprovechando ‘las pequeñas grietas que se dan en el sistema’ (participante 1) para sortear la estructura pedagógica rígida de los establecimientos educacionales”.

migración, como también la necesidad de construir un “nosotros” o “nosotras” intercultural que aprende sobre la base de la valoración de las diferencias y similitudes entre culturas.

Por otra parte, consideramos valiosa la red de interacción y conocimiento que se co-construyó entre los y las docentes en formación y los y las invitadas a la asignatura que tenían experiencia en trabajos y tareas vinculados a la educación intercultural en contextos escolares con población migrante, quienes trabajaron colaborativamente en el proceso vivido. Estos aportes tuvieron un impacto en los y las futuras docentes, incentivándolos a la búsqueda e implementación de estrategias, recursos y metodologías para abordar la diversidad cultural; aspectos que fueron relevados por el equipo organizador del Proyecto VIME mencionado,

como parte de una experiencia significativa entre los resultados obtenidos por el proyecto. De esta forma, la experiencia desarrollada en la asignatura fue presentada en una ponencia en el conversatorio “Orientaciones para construir una educación intercultural desde las voces de docentes en formación y niños y niñas migrantes”, organizado por el equipo del proyecto en la Universidad de Santiago de Chile, al cual asistieron los niños, niñas y adolescentes migrantes y sus tutores, además de los profesores, académicos y estudiantes involucrados. La ponencia presentada se tituló: “¿Qué rol debe adoptar el profesorado y la escuela para promover el bienestar de los y las niñas migrantes?: la mirada desde los resultados de la investigación”. La Imagen 8 hace alusión a la realización del conversatorio.

La pedagogía performática, caracterizada por la creación de experiencias lúdicas y libertarias en las que el lenguaje “hizo

“También destacamos la valoración que hacen los y las futuras docentes respecto de una enseñanza contextualizada que promueva una visión crítica sobre la sociedad y su contexto, y de la necesidad de considerar las vivencias de los y las escolares migrantes apreciando los saberes ‘otros’ (Walsh, 2010) que portan estas culturas”.

Imagen 8

Afiche del conversatorio “Orientaciones para construir una educación intercultural desde las voces de docentes en formación y niños y niñas migrantes”.

VICERRECTORÍA DE VINCULACIÓN CON EL MEDIO
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

FRÈ

INSTITUTO DE ESTUDIOS AVANZADOS
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

SOY PROFESOR/A
USACH

“Orientaciones para construir una educación intercultural desde las voces de docentes en formación y niños y niñas migrantes”

Conversatorio jueves 7 de octubre a las 18 horas
Encuentro virtual

Un espacio de diálogo de experiencias para la educación intercultural.

Esta actividad, dirigida a las y los profesores en ejercicio y en formación, es parte de un proyecto VIME con Fundación FRÈ.

Interesados/as inscribirse en este [link](#)

Horario	Actividad	Expositores
18:00 - 18:20 h	Presentación del proyecto: hallazgos tempranos sobre las voces de los y las niñas, y los profesores en formación.	Nicole Abricot - Hardy Rojas Universidad de Santiago de Chile.
18:20 - 18:40 h	¿Qué recomendaciones haría a las escuelas para promover la escolaridad de los niños y niñas migrantes?	Pilar Padilla, madre de estudiante migrante de Fundación FRÈ.
18:40 - 18:55 h	¿Qué rol debe adoptar el profesorado y la escuela para promover el bienestar de los y las niñas migrantes?: la mirada desde la política pública.	Trinidad del Río, Servicio Jesuita Migrante.
18:55 - 19:10 h	¿Qué rol debe adoptar el profesorado y la escuela para promover el bienestar de los y las niñas migrantes?: la mirada desde los resultados de la investigación.	Magdalena Aguilera, Académica Universidad de Santiago de Chile.
19:10 - 19:20 h	Actividad de cierre en mentimeter: ¿Qué esperamos de una escuela y un profesorado que favorezca el aprendizaje de los niños y niñas migrantes?	Actividad de cierre

Síguenos en redes sociales soyprofesorusach y en www.soyprofesorusach.usach.cl

◆ Fuente: Elaborado por Vicerrectoría de Vinculación con el Medio, 2021, USACH.

cosas” (De Certeau, 2000) y generó realidades (Maturana, 1997), y los cuerpos expresaron sentidos y maneras particulares de comunicar consistentes con las identidades (Aguilera-Valdivia, en prensa; Gallo, 2017), facilitó un escenario de aprendizaje teórico, socioemocional y ético de los y las docentes en formación para enseñar física y matemática con EIC. Los recursos y estrategias utilizados en estos escenarios performáticos actuaron como un puente para la manifestación lúdica, el sentido del humor, la expresión corporal de ideas y emociones, y la reflexión docente en un contexto de relaciones de colaboración y confianza.

A partir de lo desarrollado, planteamos la importancia del despliegue de la corporeidad (Varela et al., 2011) de los y las futuras docentes en su formación inicial, de manera de generar experiencias transformativas de interacción en el aula en las que se aprenda a través de la expresión personal y colectiva libertarias.

Referencias bibliográficas

- Aguilera-Valdivia, M. M, Rojo, V., Reyes, M. (2022, 10 de noviembre). *Experiencias performáticas e identidades docentes: desarrollando la capacidad creativa en futuros/as profesores/as de ciencias* [sesión de Congreso]. VII Jornadas Internacionales y X Jornadas Nacionales de Enseñanza de las Ciencias, Valparaíso, Chile. <https://upla.cl/jornadaciencias/programa/>
- Aguilera-Valdivia, M. M. (2023). Performances en el aula: Identidades docentes y prácticas que promueven la interculturalidad en contextos escolares de alta migración, *Revista Perfiles Educativos*, XLV (180); 8-25.
- Aguilera-Valdivia, M. M. (en prensa). Prácticas pedagógicas performáticas y formación docente: creatividad y reflexión en futuros/as profesores/as de ciencias. En M. Soto, M. Aravena, F. Gárate, V. Hidalgo (Coords.), *Educación científica: investigaciones e innovaciones en las aulas chilenas*, OEI y Sociedad Chilena de Educación Científica-SCHEC.
- Aravena, M., Rodríguez, M., Barría, L. (2020). Caracterización de las habilidades STEM en procesos de etnomodelado con alumnos/as trabajadores/as migrantes haitianos/as de la ciudad de Talca. *Estudios Pedagógicos (Valdivia)*, 46(2), 397-419. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052020000200397>
- Cerón, L., Pérez, M., Poblete, R. (2017). Percepciones docentes en torno a la presencia de niños y niñas migrantes en escuelas de Santiago: retos y desafíos para la inclusión, *Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva*, 11(2), 233-246. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-73782017000200015>
- De Certeau, M. (2000). *La invención de lo cotidiano 1. Artes de hacer*. Universidad Iberoamericana e Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente.
- Gallo, L. (2017). Una didáctica performativa para educar (desde) el cuerpo. *Revista Brasileira de Ciências do Esporte*, 39(2), 199-205. <https://doi.org/10.1016/j.rbce.2016.09.002>
- Garreta, J., Macià-Bordalba, M., Llevot, N. (2020). La educación intercultural en Cataluña (España): evolución de los discursos y las prácticas (2000-2016). *Estudios sobre Educación* (38), 191-215. <https://revistas.unav.edu/index.php/estudios-sobre-educacion/article/view/37768/33987>
- Lodhi, A., Rosich, N., Cantero, B. (2019). Estudio de las interacciones del alumnado bilingüe paquistaní en la resolución de problemas matemáticos en el aula de secundaria. *REDIMAT, Journal of Research in Mathematics Education*, 8(1), 76-105. <https://hipatiapress.com/hpjournals/index.php/redimat/article/view/2380/pdf>

- Maturana, H. (1997). *Emociones y lenguaje en educación y política*. Dolmen.
- Melo, P. (2021). El juego como artefacto intercultural y mediador pedagógico en la enseñanza de las ciencias. *Revista Electrónica Ludus Scientiae*, 5(1), 36-48. <https://revistas.unila.edu.br/relus/article/view/2745/2829>
- Ministerio de Educación de Chile (2018). Política Nacional de Estudiantes Extranjeros 2018-2022. <https://migrantes.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/88/2020/04/Pol%C3%ADtica-Nacional-Estud-Extranjeros.pdf>
- Ministerio de Educación de Chile (2019): Planificación de la enseñanza, Dimensión: liderando los procesos de enseñanza y aprendizaje. <https://liderazgoeducativo.mineduc.cl/wp-content/uploads/sites/55/2019/02/Planificacio%CC%81n-de-la-ensen%CC%83anza-completo.pdf>
- Pavez Soto, I. (2013). Los significados de "ser niña y niño migrante": conceptualizaciones desde la infancia peruana en Chile. *Polis*, Santiago de Chile, 12(35), 183-210. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682013000200009>
- Pincheira, L. (2020). Intercambios discursivos y representaciones de docentes, directivos y profesionales no docentes sobre modelos de educación multicultural e intercultural. *Transformación*, 16(1), 13-24. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2077-29552020000100014
- Poblete, R. (2018). El trabajo con la diversidad desde el currículo en escuelas con presencia de niños y niñas migrantes: estudio de casos en escuelas de Santiago de Chile. *Perfiles Educativos*, 40(159), 51-65. <https://www.scielo.org.mx/pdf/peredu/v40n159/0185-2698-peredu-40-159-51.pdf>
- Riedemann, A. y Stefoni, C. (2015). Sobre el racismo, su negación y las consecuencias para una educación anti-racista en la enseñanza secundaria chilena. *Polis*, Santiago de Chile, 14(42), 191-216. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-65682015000300010
- Riedemann, A., Stefoni, C., Stang, F., Corvalán, J. (2020). Desde una educación intercultural para pueblos indígenas hacia otra pertinente al contexto migratorio actual. Un análisis basado en el caso de Chile. *Estudios Atacameños. Arqueología y Antropología Surandinas*, 64, 337-359. <https://revistas.ucn.cl/index.php/estudios-atacamenos/article/view/2432/3401>
- Romero, A. (31 de julio, 1, 2 y 3 de agosto de 2019). ¿Cómo la migración coloca en jaque a la educación? *Una perspectiva comparada de educación rural entre México-Colombia* [ponencia en Congreso]. Congreso Latinoamericano de Ciencia Política, de la Asociación Latinoamericana de Ciencias Políticas-ALACIP, Monterrey, México. <https://alacip.org/cong19/417-romero-19.pdf>

Schechner, R. (2003). *Performance theory*, Routledge.

Stefoni, C., Stang, F., Riedemann, A. (2016). Educación e interculturalidad en Chile: un marco para el análisis. *Estudios Internacionales*, Santiago de Chile, 48(185), 153-182. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-37692016000300008

Tijoux, M. (2013). Las escuelas de la inmigración en la ciudad de Santiago: elementos para una educación contra el racismo, *Polis*, Santiago de Chile, 12(35), 287-307. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-65682013000200013

Varela, F., Thompson, E., Rosch, E. (2011). *De cuerpo presente*, Gedisa.

Walsh, C. (2010). Interculturalidad crítica y educación intercultural, en J. Viaña, L., Tapia, C. Walsh (Eds.), *Construyendo interculturalidad crítica* (pp. 75-96). *Instituto Intercultural de Integración*. <http://aulainter-cultural.org/2010/12/14/inter-culturalidad-critica-y-educacion-inter-cultural>

Capítulo 7

El aprendizaje de la astronomía escolar en una comunidad educativa rural

La experiencia que aquí se presenta se enmarca en el *Minor* Astronomía Educativa, impartido por la carrera de Pedagogía en Física y Matemática (PLEFM) de la Universidad de Santiago de Chile (USACH). Su objetivo es entregar herramientas de profundización a profesores y profesoras en formación, en habilidades para la enseñanza de la astronomía a nivel del sistema escolar³.

La experiencia se llevó a cabo en el año académico 2022 con estudiantes de la asignatura Taller de Observación Astronómica (TOA), del *minor*. Su objetivo es la adquisición de competencias tecnológicas para el uso de telescopios y artefactos utilizados en astronomía. Al finalizarla, se espera que los y las estudiantes sean capaces de instalar una estación de observación con diferentes dispositivos. En el desarrollo de la asignatura están contempladas varias instancias en las que se pone en práctica esta habilidad. No obstante, el hecho de que siempre estén acompañados no facilita un momento en que deban enfrentarse solos al montaje de su estación, como probablemente ocurrirá cuando asuman su rol de profesionales docentes. De esta forma, se desarrolló esta experiencia como una instancia de práctica real que preparara a los y las estudiantes para montar autónomamente sus propios talleres de astronomía.

Uno de los aspectos que es necesario tener en cuenta al momento de planificar clases de astronomía son las expectativas que se hayan forjado los y las estudiantes antes de la observación del

- 1 Profesor de Estado en Física y Matemática USACH, Máster en Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de las Matemáticas Universidad Autónoma de Barcelona, Doctorado en Educación en el Ámbito de la Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales Universidad Autónoma de Barcelona.
- 2 Profesora de Estado en Física y Matemática USACH, Máster en Investigación en Educación Universidad Autónoma de Barcelona, Máster en Astrofísica y Astronomía Universidad Internacional de Valencia.
- 3 Para postular al *minor*, el o la estudiante debe haber aprobado dos asignaturas obligatorias de la carrera PLEFM, a saber, Física de la Tierra y Física del Universo. Para obtener la certificación que proporciona el *minor*, debe aprobar las asignaturas de Astronomía en el Aula y Taller de Observación Astronómica (TOA).

espacio por primera vez, ya que podrían creer que los elementos observados se verán muy grandes o distintos a como se perciben a simple vista. Ello podría generar decepción o desinterés si la actividad no se presenta en el contexto adecuado. Por este motivo, el valor agregado que el o la docente considere en su planificación es fundamental. En el caso de esta experiencia, el valor agregado para los y las estudiantes de la asignatura fue la totalidad del proceso: la planificación y ejecución de las clases, la instalación de las estaciones y la visita a una escuela rural. Para los y las escolares, la experiencia tenía un valor agregado histórico y científico-tecnológico, puesto que pudieron conocer la evolución de la óptica y manejar artefactos como microscopios y telescopios. Las clases los ayudarían a comprender lo que iban a observar posteriormente. Estos fueron aspectos clave de la experiencia, considerando que los y las docentes en formación debieron proponer actividades para construir conocimiento a través de experiencias significativas y genuinas, tales como la observación del cielo, incluyendo la valoración de las visiones del universo que mantuvieron diferentes culturas a lo largo de la historia (Camino, 2018).

“Para los y las escolares, la experiencia tenía un valor agregado histórico y científico-tecnológico, puesto que pudieron conocer la evolución de la óptica y manejar artefactos como microscopios y telescopios”.

Actualmente, es elevada la demanda por actividades vinculadas a la astronomía proveniente de los colegios ⁴. En esta ocasión, se decidió trabajar con quienes habitualmente tienen menos oportunidades de acceso a conocimientos astronómicos, como es el caso de comunidades educativas de escuelas rurales. En realidad, se trataba de desarrollar una experiencia única tanto para los estudiantes de la carrera como para los y las escolares.

4 Anualmente, la carrera realiza en colegios dos o tres encuentros relacionados con esta disciplina.

Desarrollo

Gestiones previas

La experiencia requirió la realización de una serie de gestiones previamente al desarrollo de la jornada central en el establecimiento escolar. En primer lugar, se hizo contacto con la escuela básica rural Capilla de Caleu, para proponerles el vínculo entre ambas instituciones. La directora se mostró muy receptiva e interesada, puesto que, según señaló, no suelen tener ofrecimientos de este tipo. La escuela cuenta con una comunidad educativa pequeña, de aproximadamente 60 personas, incluyendo estudiantes y trabajadores que viven en el mismo sector. La directora manifestó que le gustaría que tuviesen la opción de profundizar y conocer más de lo que estudian en las clases tradicionales.

En paralelo, solicitamos a la directora del Planetario USACH la autorización para invitar a esta escuela a presenciar uno de sus espectáculos regulares, evento que se constituyó en el primer encuentro con esta comunidad educativa (Imagen 1). Se acordó que esta instancia debía continuar con la jornada de trabajo en la escuela, para desarrollar con mayor profundidad las temáticas de las actividades vividas en el Planetario, como la comprensión de la película que se presentó y otros temas de interés científico.

Imagen 1

Comunidad educativa de la escuela básica rural Capilla de Caleu.

◆ Fuente: Fotografía tomada en la visita de la comunidad de la escuela al Planetario USACH.



A partir de ese momento, las clases del TOA se centraron en preparar las actividades que se realizarían en la escuela, en seleccionar los temas de trabajo y en definir la forma en que se implementarían. Por tratarse de una escuela básica, una de las dificultades que enfrentamos fue que los y las estudiantes de menor edad no leían. Por lo tanto, se optó por incluir muchas imágenes, explicaciones orales simples e instancias de dinámicas interactivas. También se prepararon los módulos asociados a cada clase, estimando la duración de cada uno y el horario en que los grupos pasarían por cada uno de ellos.

“Por tratarse de una escuela básica, una de las dificultades que enfrentamos fue que los y las estudiantes de menor edad no leían. Por lo tanto, se optó por incluir muchas imágenes, explicaciones orales simples e instancias de dinámicas interactivas”.

Se diseñaron 9 actividades de aula utilizando la metodología de indagación. Al elaborar las actividades, se buscó resaltar el paso desde el mundo micro (microscopios) al mundo macro (telescopios); asimismo, se destacaron las similitudes y diferencias de la óptica utilizada en los distintos tipos de artefactos. Las clases fueron pensadas para grupos pequeños de estudiantes, que rotarían de una sala a otra, hasta haber experimentado todas las actividades. Una vez finalizada esta rotación, se iniciaría la Jornada de Observación, actividad en la que se observó la Luna, Júpiter, Saturno, estrellas y constelaciones. La Tabla 1 presenta las temáticas de las clases impartidas por los y las estudiantes de la carrera.

Por su parte, la escuela solicitó al Departamento Provincial de Educación la posibilidad de cambiar, por un día, su jornada diurna tradicional, por una jornada de tarde, a fin de aprovechar el cielo nocturno para la observación astronómica; lo cual fue autorizado. La directora extendió una invitación a los apoderados y apoderadas del establecimiento a sumarse a la Jornada de Observación, por lo que esta actividad representó una instancia de participación de la comunidad educativa.

Tabla 1

Descripción de las actividades implementadas en la escuela.

	Nombre de la actividad	Objetivo de la actividad
Actividad 1	La Luna y sus fases.	Identificar el movimiento relativo entre el sistema Sol, Tierra y Luna, y las diferentes fases que se forman de nuestro satélite natural.
Actividad 2	Meteorito, meteoro y meteorioide	Comprender las diferencias entre objetos que se forman a partir de un grupo de asteroides cercanos a la Tierra.
Actividad 3	Sistema solar a escala	Describir las características de los planetas del sistema solar en relación con su tamaño, localización, apariencia y distancia relativa de la Tierra.
Actividad 4	Observación solar	Conocer y utilizar diferentes métodos para observar el Sol de forma segura.
Actividad 5	Conservación del momento angular	Conocer el funcionamiento de una estrella de neutrones a través de la experimentación.
Actividad 6	El Sol y otras estrellas	Conocer y definir qué es una estrella, identificando sus colores y asociándolos a su composición química.
Actividad 7	Elipses	Comprender cómo es la trayectoria de los planetas alrededor del Sol mediante su representación y el análisis de los elementos de una elipse.
Actividad 8	Observación de muestras biológicas de la naturaleza	Identificar tipos de células y su estructura a través de la observación y la experimentación.
Actividad final simultánea	Jornada de Observación	Observar objetos visibles en el cielo el día de la visita: la Luna, Júpiter, Saturno, estrellas y constelaciones utilizando telescopios.



Imagen 2

Estudiantes USACH participantes de la experiencia.

◆ Fuente: Fotografía tomada en las dependencias de la escuela Capilla de Caleu.

El profesor USACH a cargo de esta experiencia gestionó el seguro de salud para los y las estudiantes de la Universidad, así como el transporte privado de ida y regreso y la alimentación. Parte de estos costos fueron cubiertos por la Facultad de Ciencia de la USACH, tras la evaluación de la propuesta. Los y las estudiantes de la carrera también colaboraron de manera voluntaria con el financiamiento de una parte de los gastos de alimentación.

El día de las actividades

Las actividades se concretaron el día 2 de diciembre de 2022. A las 15:00 horas, el grupo compuesto por 20 estudiantes y 3 docentes dejó las dependencias del Departamento de Física de la USACH para dirigirse a la escuela Capilla de Caleu, en la comuna de Til Til, Región Metropolitana de Santiago de Chile. El grupo (Imagen 2) fue cálidamente recibido por la directora y el personal paradocente. Alrededor de las 18:30 horas se inició la preparación de las 9 salas que albergarían las actividades de aula programadas.



Se solicitó a los y las docentes y paradocentes de la escuela que acompañaran a sus grupos de estudiantes en la rotación de actividades, dedicándose entre 20 y 30 minutos a cada actividad (Imagen 3). Los estudiantes de la escuela, de primero a octavo básico, pudieron participar en todos los módulos instalados. Finalmente, una vez que los grupos habían pasado por la totalidad de las salas, se inició la Jornada de Observación, momento en el que los asistentes tuvieron la oportunidad de observar distintos elementos del cielo nocturno mediante telescopios.

Imagen 3

Estudiantes de la escuela participando en la actividad de observación solar.



◆ Fuente: Fotografía tomada en las dependencias de la escuela Capilla de Caleu.

Resultados

Los y las estudiantes de la carrera participantes de la experiencia identificaron como su principal dificultad el adaptar su puesta en escena para los distintos tipos de público que debieron atender. Los grupos eran diversos, tanto en número de escolares como en sus edades; hubo grupos conformados por estudiantes cuyas edades fluctuaban entre los 6 y los 13 años, entre los cuales se manifestaron distintos grados de interés, algunos con mayor participación y otros menos involucrados en las actividades, entre otras características que hacían único a cada uno. Los y las estudiantes y futuros docentes señalaron que en ningún caso pudieron repetir las explicaciones exactamente de la misma manera, lo que significó un esfuerzo importante para ellos y ellas. Esta problemática puso de relieve la importancia de que los y las estudiantes en formación fuesen conscientes de que enseñar y aprender ciencia requiere, entre otras habilidades, saber comunicar las ideas sobre los fenómenos que se estudian (Sanmartí, 1996).

Los y las docentes a cargo de la asignatura utilizaron esta instancia para ayudar a los y las estudiantes a notar que, aunque ellos mismos habían diseñado las clases y dominaban en profundidad sus contenidos, se vieron en la necesidad de improvisar nuevas formas de lograr una comunicación exitosa con sus alumnos y alumnas para contextualizar las explicaciones. Se les explicó la importancia de desarrollar criterios que les permitiesen adecuar su lenguaje científico al contexto específico en el que se lleva a cabo una determinada actividad científica escolar (Izquierdo, 2007), lo que implica tener más de un plan para abordar una situación educativa y nunca asumir que, con lo planificado, basta.

Por otro lado, debido a que en los establecimientos educacionales es común que ocurran situaciones que pueden estar fuera del control de los y las docentes, es importante implementar diversas estrategias que propicien una comunicación clara y precisa, que tome en consideración las diferencias individuales de los y las estudiantes, a fin de alcanzar el logro de los aprendizajes en ciencia (Ministerio de Educación de Chile, MINEDUC, 2021).

La experiencia permitió, además, aportar al cumplimiento de una de las subcompetencias del Perfil de Egreso de la carrera. Las 3 grandes competencias del Perfil, son: (1) Preparación para la enseñanza; (2) Pensamiento científico para la formación ciudadana; y (3) Formación integral y discernimiento ético. La primera contempla la subcompetencia: “analiza y reflexiona constantemente en relación a su práctica pedagógica con el propósito de mejorarla”, a la cual tributó esta experiencia.

Evaluación

Esta experiencia de aprendizaje fue evaluada a partir de las opiniones de los y las estudiantes USACH, las que se compartieron en un *focus group*. Los juicios evaluativos procedentes de la comunidad escolar fueron obtenidos a través de la directora. Los y las estudiantes de la carrera calificaron la oportunidad como muy exigente, pero enriquecedora; que les permitió vivir y preparar una instancia educativa a través del trabajo colaborativo entre ellos, aspecto que es factor clave del desempeño en el sistema escolar, de acuerdo con el “Estándar 11: Aprendizaje profesional continuo” del *Marco para la Buena Enseñanza* (MINEDUC, 2021). La experiencia tuvo lugar con anterioridad al momento en que los y las estudiantes hicieran su práctica profesional, por lo cual era la primera vez en su carrera que estaban completamente solos a cargo de implementar una clase. Señalaron, además, que esta experiencia les permitió aprender a gestionar el aula, considerando el clima que se dio en las diferentes actividades, ya que en instancias como la Jornada de Observación debieron atender a toda la comunidad educativa de manera simultánea, promoviendo un espacio ordenado y

“... en instancias como la Jornada de Observación debieron atender a toda la comunidad educativa de manera simultánea, promoviendo un espacio ordenado y de respeto, y consiguiendo que cada persona pudiera hacer la observación durante el tiempo adecuado”.

de respeto, y consiguiendo que cada persona pudiera hacer la observación durante el tiempo adecuado. De esta forma fue posible constatar que los y las estudiantes desarrollaron habilidades que les permiten propiciar ambientes respetuosos y organizados para un adecuado desempeño docente (MINEDUC, 2021).

Por otro lado, la comunidad educativa también quedó muy satisfecha con la experiencia. La directora valoró que los y las escolares hubiesen tenido la posibilidad de aprender de manera entretenida y novedosa acerca de cómo funciona la astronomía y sobre los conocimientos y tecnologías que permiten su desarrollo. Manejando microscopios, telescopios y binoculares, y por medio de las actividades desplegadas, se les brindó un espacio científico al que no tienen acceso habitualmente en la escuela. Además, agradeció que se hubiese permitido asistir a los apoderados. Todo lo cual hace posible asimilar la experiencia aquí reportada a lo que Camino (2021) señala como “actividad vivencialmente significativa”, vale decir, una instancia en la que la comunidad de la escuela aprendió involucrándose con los fenómenos astronómicos, observando, manifestando ideas y emociones, y cultivando la paciencia, la creatividad, entre otros aspectos propios del proceso de enseñanza y aprendizaje significativo. En palabras de la directora: “sin duda, fue una experiencia que nuestros estudiantes no olvidarán”⁵.

A modo de conclusión, es posible señalar que la experiencia implicó muchos beneficios, no solo para la escuela destinataria, sino también para la carrera de Pedagogía en Física y Matemática, la cual, paulatinamente, se ha ido abriendo a espacios del sistema educativo que no son abordados tradicionalmente en la formación inicial docente. En este caso, fue el aula rural; en otras ocasiones, han sido entornos como las aulas hospitalarias o la educación de adultos. El desafío a futuro es poder establecer vínculos más permanentes con este tipo de instituciones, lo que hará posible enriquecer aún más la experiencia de los y las profesores y profesoras en formación, al permitirles abordar el conocimiento cercano a lo largo y ancho del espectro del sistema educacional nacional.

5 Cita de la carta de agradecimientos enviada por la directora luego de las actividades pedagógicas realizadas en la escuela Capilla de Caleu, de Til Til.

Referencias bibliográficas

- Camino, N. (2018). Reflexiones sobre la enseñanza de la astronomía, *Góndola*, 13(2), 193-194. <https://doi.org/10.14483/23464712.13679>
- Camino, N. (2021). Diseño de actividades para una didáctica de la Astronomía vivencialmente significativa, *Góndola*, 16(1), 15-37. <https://doi.org/10.14483/23464712.16609>
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. Enseñanza de las Ciencias Sociales: *Revista de Investigación*, 6, 125-138. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2313295.pdf>
- Ministerio de Educación de Chile (MINEDUC) (2021). Marco para la Buena Enseñanza (1ª edición), Centro de Perfeccionamiento, Experimentación e Investigaciones Pedagógicas-CPEIP.
- Sanmartí, N. (1996). Para aprender ciencias hace falta aprender a hablar sobre las experiencias y sobre las ideas. *Textos de Didáctica de la Lengua y la Literatura*, 8, 27-40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=184085>