

# Las múltiples facetas de la Indagación Científica: de lo teórico a lo práctico

**Claudia Vergara Díaz**  
Universidad Alberto Hurtado.  
[clvergara@uahurtado.cl](mailto:clvergara@uahurtado.cl)

**Hernán Cofré Mardones**  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.  
[hernan.cofre@pucv.cl](mailto:hernan.cofre@pucv.cl)

## Resumen

En este trabajo se describen, tanto aspectos teóricos de la indagación científica, como su uso en términos prácticos. Desde una visión de la indagación como producto se revisan las habilidades científicas asociadas al proceso de investigación y la comprensión que de ella se debería propiciar en nuestros estudiantes. Desde la visión de proceso se describe extensamente qué son los tipos de indagación y se revisa la evidencia que demuestra su eficacia en desarrollar la comprensión del proceso de investigación, así como de conceptos científicos. Finalmente, se presentan dos actividades indagatorias introduciendo dos conceptos nuevos: la indagación para el cambio conceptual y la indagación socio-científica. Ambas pueden ser aproximaciones muy útiles en la enseñanza de nuestro currículum actual y ambas son buenos ejemplos para describir y caracterizar cualquier clase o actividad centrada en la indagación: se trabaja en torno a una pregunta de investigación, se analizan datos reales y se discute y argumenta entre pares para sacar conclusiones.

**Palabras clave:** Indagación Científica, estrategia de enseñanza, cambio conceptual, socio-científico.

## Introducción

Diferentes autores en el ámbito de la educación en ciencias o didáctica de las ciencias alrededor del mundo han propuesto que la indagación científica tiene diferentes facetas, elementos o componentes, que la hacen ser un concepto polisémico (Garritz, 2010; Rönnebeck et al., 2016) y muchas veces difícil de comprender para profesores e investigadores (Garritz, 2010; Vergara y Cofré 2012; Crawford, 2014; Romero-Ariza 2017). Por ejemplo, Abd-El-Khalick et al. (2004), en su revisión sobre la indagación científica en el currículum de diferentes países del mundo definen la indagación científica como un medio y como un fin. En cuanto a la primera visión, los autores se refieren a la indagación como un enfoque de enseñanza destinado a ayudar a los estudiantes a desarrollar la comprensión del contenido científico. Por su parte, la indagación como un fin se refiere a un resultado de la enseñanza, donde los estudiantes aprenden a realizar investigaciones en el contexto escolar sobre algún contenido científico y también desarrollan una comprensión epistemológica sobre el proceso y las habilidades de indagación (por ejemplo, comprender que la pregunta es el elemento que guía la investigación o que existen estudios descriptivos, correlacionales y experimentales) (Lederman, 2021).

En la misma línea, Furman y de Podesta (2010) definen la indagación como proceso y como producto. Lo primero hace referencia a una estrategia de enseñanza escolar en la que el profesor o la profesora se enfoca en generar oportunidades para que sus estudiantes realicen o desarrollen algunas de las habilidades o procesos que hacen los científicos mientras

construyen conocimiento. Lo segundo se refiere a lo que los estudiantes son capaces de hacer en cuanto a las habilidades propias del trabajo científico. Por otra parte, Minner et al. (2010) encontraron que el concepto de indagación científica suele emplearse para indicar tres procesos diferentes: lo que hacen los científicos (metodología de investigación), lo que hacen los estudiantes que aprenden ciencia con estrategias inspiradas en la actividad científica (proceso de aprendizaje) y lo que hacen los profesores para enseñar ciencia como indagación (estrategia de enseñanza). Crawford (2014) en su capítulo de revisión sobre el tema, reconoce las mismas tres acepciones que declaran Minner et al., (2010) sobre la indagación, incluyendo además la relación que ésta tiene con las “prácticas científicas”. Este último concepto se acuñó en el nuevo currículum de ciencia de los EE. UU. el cual adopta una visión STEM, de Science, Technology, Engineering and Mathematics (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). De acuerdo con el análisis de Crawford (2014), la nueva propuesta pretende reemplazar específicamente la acepción de indagación que tiene que ver con aquello que hacen los estudiantes que aprenden ciencia (indagación como un fin o producto) con el término de prácticas científicas. Este cambio resulta en un mayor énfasis en procesos cognitivos muy relevantes en la actividad científica, como el uso y creación de modelos y la argumentación científica. Este aspecto es resaltado como positivo por autores como Osborne (2014) o García-Carmona (2020, 2021), quienes proponen dejar atrás el concepto de indagación, muchas veces mal entendido como el desarrollo solo de habilidades empíricas o procedimentales, (como controlar variables o diseñar un experimento) para dar paso al concepto de prácticas científicas y así incorporar más aspectos epistemológicos y sociales del quehacer científico (por ejemplo, la revisión de investigaciones entre pares o la interpretación de datos anómalos). Sin embargo, no hay que dejar de lado que, la principal razón para este cambio conceptual, al menos en EE. UU., parece ser incorporar bajo el mismo concepto el quehacer de la ingeniería en las aulas (véase Tabla 1).

En la misma línea, Osborne (2014) pone el énfasis en no confundir la indagación con el “hacer ciencia”, ya que, para él, los científicos, además: “representan”, “leen”, “escriben” y “hablan” la ciencia. En ese sentido, el modelamiento, la argumentación en base a evidencia y la construcción de explicaciones, son prácticas científicas que se pueden visibilizar y abordar de forma más explícita al expandir el significado de la indagación como producto hacia las prácticas científicas. Algo parecido propone García-Carmona (2020) quien está de acuerdo en entender a la indagación como una práctica científica más entre otras. Este autor enfatiza el rol de los aspectos sociales o no epistémicos dentro de las prácticas científicas (por ejemplo, las relaciones profesionales y personales en la comunidad científica o la búsqueda de fondos para la investigación). Sin embargo, nos parece que algunas de ellas se confunden con aspectos de la naturaleza del conocimiento científico (ver Lederman, 2021 para profundizar en este concepto). Por lo tanto, en esta revisión seguiremos utilizando el concepto de indagación científica, incluyendo en ella tanto a los resultados de aprendizaje de los estudiantes en términos del hacer y del comprender y a la estrategia de enseñanza que utilizan las y los profesores para desarrollar estas capacidades.

En el contexto nacional, las bases curriculares de séptimo básico a segundo medio (Mineduc 2015) incluyen en la introducción el aspecto de: “investigación científica, habilidades y actitudes”. En él se establece que el currículum, “fomenta que los estudiantes realicen investigaciones científicas” en las cuales puedan desarrollar habilidades y actitudes propias de la actividad científica. Esto se traduce, explícitamente, en la presencia de objetivos de aprendizaje relacionados con diferentes habilidades y procesos de investigación científica

como: observar, plantear preguntas y analizar la evidencia. En estas bases no hay referencias específicas al uso del término prácticas científicas, pero tampoco aparece una referencia al uso de la indagación como estrategia de enseñanza. Por otra parte, en las bases curriculares de tercero y cuarto medio (Mineduc 2019), vuelven a aparecer las “habilidades y actitudes para la investigación científica” como un aspecto relevante incluyéndose dentro de los enfoques de la asignatura de ciencias para la ciudadanía. Es decir, desde los primeros años de escolaridad, en las bases curriculares de 1° a 6° básico (Mineduc 2012), hasta el egreso de la educación escolar, las asignaturas de ciencia tienen como objetivo desarrollar en los estudiantes habilidades de pensamiento científico, es decir se incluye la indagación como producto. Sin embargo, en nuestro currículum actual, y a diferencia del anterior, no existe una clara definición de cómo afrontar la indagación como proceso, como un medio o como una estrategia de enseñanza. Para aclarar este vacío, el ministerio de educación ha desarrollado diferentes iniciativas de formación continua sobre el enfoque de enseñanza por indagación, siendo una de las más recientes, el programa ICEC o de Indagación Científica para la Enseñanza de las Ciencias (véase números 1 y 2 del volumen 4 de la revista Reinneec 2020). A pesar de estos esfuerzos, sabemos que tanto en la formación inicial, como en la formación continua de profesores aún no existe claridad de qué es la indagación y como implementarla en la práctica pedagógica.

Por lo tanto, el objetivo de este ensayo-revisión, es tanto ayudar a aclarar conceptualmente que se entiende por indagación en la didáctica de las ciencias o educación en ciencias, como discutir temas prácticos de como implementarla en nuestras salas.

**Tabla 1.** Comparación entre las características de la indagación en el currículum de EE. UU. antes del 2010 y las prácticas científicas y de la ingeniería en el currículum vigente a partir del año 2012 (Modificado de Crawford 2014).

| <b>Características de la indagación</b>   | <b>Prácticas científicas y de la ingeniería</b>   |
|---|---|
| - Los alumnos se involucran con preguntas de orientación científica   | - Hacer preguntas (para ciencias) y definir problemas (para ingeniería)<br>- Desarrollar y usar modelos<br>- Planificación y realización de investigaciones         |
| - Los alumnos dan prioridad a la evidencia, lo que les permite desarrollar y evaluar explicaciones que abordan cuestiones científicamente orientadas. | - Analizar e interpretar datos<br>- Usar matemáticas y pensamiento computacional<br>- Construir explicaciones (para ciencia) y diseñar soluciones (para ingeniería) |
| - Los alumnos evalúan sus explicaciones a la luz de alternativas explicaciones, en particular las que reflejan la comprensión científica              | - Participar en argumentos basados en pruebas   |
| - Los alumnos comunican y justifican sus explicaciones propuestas   | - Obtener, evaluar y comunicar información  |

## Desarrollo

### Indagación como Producto

Internacionalmente, los documentos de reformas sobre Enseñanza de las Ciencias a través de la Indagación defienden la idea de que los estudiantes desarrollen: (a) las habilidades necesarias para hacer el proceso de indagación (o práctica científica) y (b) un entendimiento sobre la indagación científica como metodología de investigación para crear conocimiento científico (Abd-El-Khalick et al. 2004; Crawford 2014; Lederman, 2021). Estas habilidades (incluyendo a veces también actitudes, como en nuestro currículum nacional), han tomado diferentes versiones y ordenamientos según diferentes autores (véase por ejemplo Vergara y Cofré 2012 para una revisión). Por ejemplo, Padilla (1990) reconoce dos tipos de habilidades científicas, aquellas simples o básicas (como observar o medir) y otras complejas (como diseñar un experimento o modelar). Por otra parte, en nuestro currículum, se menciona la indagación científica desde la introducción y se declara que: “Las Bases Curriculares de Ciencias Naturales buscan que los estudiantes conozcan, desde su propia experiencia, lo que implica la actividad científica; es decir, que adquieran habilidades de investigación científica que son transversales al ejercicio de todas las ciencias y se obtienen mediante la práctica” (Mineduc, 2015, pág. 142). De hecho, las habilidades científicas que se deben desarrollar se incluyen como objetivos de aprendizaje explícitos incluyendo 5 grandes áreas de habilidades científicas, definidas como: “cinco etapas”:

- Observar y plantear preguntas
- Planificar y conducir una investigación
- Procesar y analizar la evidencia
- Evaluar
- Comunicar

En general, estas habilidades se pueden desarrollar a través de una enseñanza centrada en el estudiante, en la cual se enfrenten al desafío de responder preguntas investigables y recolectar y analizar datos empíricos (Settlage y Southerland 2012). Un ejemplo empírico y cercano de ello es el que ofrecen Di Mauro y Furman (2016) en su estudio sobre el desarrollo de habilidades científicas de experimentación en 60 estudiantes argentinos de cuarto grado. A través de un estudio cuasi-experimental, las autoras muestran que luego de una intervención de ocho semanas, los estudiantes del grupo experimental, a diferencia de aquellos en el grupo control, son capaces de proponer diseños experimentales pertinentes e identificar variables que deben permanecer constante de acuerdo a las preguntas planteadas. En la sección 2.2.1. volveremos a revisar con más detalle cómo la indagación, como estrategia, desarrolla las habilidades de indagación. Sin embargo, la comprensión sobre la naturaleza de la indagación es algo mucho menos estudiado. El objetivo de alcanzar la comprensión del “cómo” se realiza el proceso de indagación o cuál es la naturaleza de dichas prácticas científicas, por parte de los estudiantes, es algo mucho menos representado en el currículum global (Abd-El-Khalick et al. 2004) y por supuesto en los documentos chilenos (Mineduc 2012, 2015, 2019). De hecho, en nuestro currículum, se presenta la vieja creencia que, a partir del “hacer” (por ejemplo, un experimento) se llegará al comprender (por qué debo tener réplicas o un grupo control). Evidencias de las últimas décadas han mostrado claramente que esta comprensión no ocurre implícitamente (e.g. Schwartz et al., 2004; Granger et al., 2012; Leblebicioglu et al., 2019). Específicamente, según la literatura en este

tema, los estudiantes deberían desarrollar una comprensión informada de los siguientes conocimientos sobre aspectos de la IC:

- (a) todas las investigaciones científicas comienzan con una pregunta y no necesariamente prueban una hipótesis
- (b) no hay un solo grupo de secuencias o pasos que deben seguirse en cada investigación (por ej., no hay un solo método científico)
- (c) los procedimientos de indagación son guiados por la pregunta formulada
- (d) es posible que no todos los científicos obtengan los mismos resultados, aun realizando los mismos procedimientos
- (e) los procedimientos de indagación pueden influir en los resultados
- (f) las conclusiones de la investigación deben ser congruentes con los datos recolectados
- (g) los datos científicos no son lo mismo que evidencia científica
- (h) las explicaciones son desarrolladas a partir de una combinación de datos recolectados y lo que ya es conocido (Una descripción más profunda de cada uno de estos aspectos se puede encontrar en Lederman, [2021] y una propuesta similar, pero más centrada en la comprensión del uso que hacen los científicos de los modelos se puede encontrar en Nehring [2019]).

Probablemente, debido a la poca presencia de estos aspectos en los currículos de ciencia a través del globo, así como al poco manejo que tienen de ellos los profesores de ciencias (Lederman y Lederman 2010), la mayoría de los estudiantes alrededor del mundo no comprenden o incluso no conocen estos aspectos de la práctica científica (Lederman et al., 2019, 2021). Estos últimos trabajos, los cuales presentan datos recopilados en 18 y 32 países respectivamente, muestran que la mayoría de los estudiantes evaluados no comprenden estos aspectos, ya sea a nivel de séptimo grado (Lederman et al., 2019), como en décimo segundo grado (Lederman et al., 2021). Si bien los autores muestran que los estudiantes que están por graduarse presentan un mejor desempeño, en general, que los estudiantes más jóvenes, el que cerca del 50% de los estudiantes en cada país mantenga visiones no informadas de la mayoría de los 8 aspectos estudiados presenta un panorama poco favorable (Lederman et al., 2021). Ambas investigaciones incluyeron el muestreo de poco más de 100 estudiantes del sistema escolar chileno, lo que hace de ambos estudios algo muy interesante de analizar. Los resultados de Chile no difieren grandemente del panorama global, encontrándose un mejor desempeño en estudiantes de cuarto medio, pero aun con un % bajo de estudiantes con una visión informada de los aspectos (Tabla 2).

Si bien esta muestra es un número bajo como para generalizar a todo el sistema escolar chileno, existen otras investigaciones que presentan resultados similares con 130 estudiantes de quinto y sexto grado (Vergara et al., 2013) y con 258 estudiantes entre primero y cuarto medio (novenos a duodécimo grado) (Vergara et al., 2014). Este último estudio mostró la misma tendencia de mejoramiento de desempeño al aumentar la edad y no encontró diferencias entre género o estudiantes de escuelas con diferente nivel socioeconómico. Pese a este complejo escenario global, es importante señalar que, cuando se realiza una enseñanza de las ciencias centrada en el estudiante, a través de la indagación como proceso o estrategia de enseñanza, es posible obtener resultados alentadores sobre la comprensión de la indagación (e.g. Granger et al., 2012; Leblebicioglu et al., 2019).

**Tabla 2.** Porcentaje de respuestas ingenuas para los distintos aspectos de indagación científica en estudiantes al término de la enseñanza básica y enseñanza media (Datos obtenidos de Lederman et al., 2019, 2021).

| Aspecto de indagación   | Séptimo Básico | Cuarto Medio |
|---|----------------|--------------|
| (a) todas las investigaciones científicas comienzan con una pregunta y no necesariamente prueban una hipótesis                      | 54%            | 35%          |
| (b) no hay un solo grupo de secuencias o pasos que deben seguirse en cada investigación (por ej., no hay un solo método científico) | 75%            | 56%          |
| (c) los procedimientos de indagación son guiados por la pregunta formulada  | 63%            | 44%          |
| (d) es posible que no todos los científicos obtengan los mismos resultados, aun realizando los mismos procedimientos                | 39%            | 46%          |
| (e) los procedimientos de indagación pueden influir en los resultados   | 56%            | 40%          |
| (f) las conclusiones de la investigación deben ser congruentes con los datos recolectados   | 67%            | 29%          |
| (g) los datos científicos no son lo mismo que evidencia científica  | 58%            | 53%          |
| (h) las explicaciones son desarrolladas a partir de una combinación de datos recolectados y lo que ya es conocido                   | 56%            | 14%          |

### Indagación como proceso

Según Settlage y Southerland (2012), se pueden reconocer 4 enfoques de enseñanza en la didáctica de las ciencias, los cuales se puede ordenar en términos históricos: a) Enseñanza tradicional, transmisiva o expositiva (desarrollada desde hace más de un siglo y mantenida hasta nuestros días); b) Enseñanza a través del descubrimiento (con su apogeo luego de la segunda guerra mundial) y que se puede confundir con la indagación; c) Enseñanza a través de la indagación (con origen en la propuesta de Dewey [1910], pero con mayor desarrollo desde la década de los 60'); y d) Enseñanza a través del cambio conceptual (más común desde fines de los 80', pero aun difícil de implementar en las aulas). De los tres últimos enfoques centrados en el estudiante, la indagación científica ha concentrado gran parte de la investigación en didáctica de las ciencias en los últimos 40 años (véase por ejemplo Furtak et al., 2012; Crawford, 2014; Rönnebeck et al., 2016). A finales de los años sesenta y comienzos de los setenta, investigadores desarrollaron una herramienta para determinar el nivel de indagación promovido por una actividad específica. Conocida como la Escala de Herron (Herron, 1971), esta herramienta de evaluación está basada en un principio muy simple: ¿Cuánto se le “entrega” al estudiante por parte del profesor o actividad? Usando esta pregunta como marco de trabajo, la Escala de Herron describe cuatro niveles de indagación (Lederman, 2021). La Figura 1 describe de forma clara esta escala, la cual ha sido reinterpretada o modificada por diferentes autores (véase, por ejemplo, Colburn [2000] o Martin-Hansen, [2002]). De esta forma, actividades y clases planificadas con un nivel mayor de indagación, deberían tener mayor posibilidad de desarrollar diferentes habilidades científicas (Figura 1).

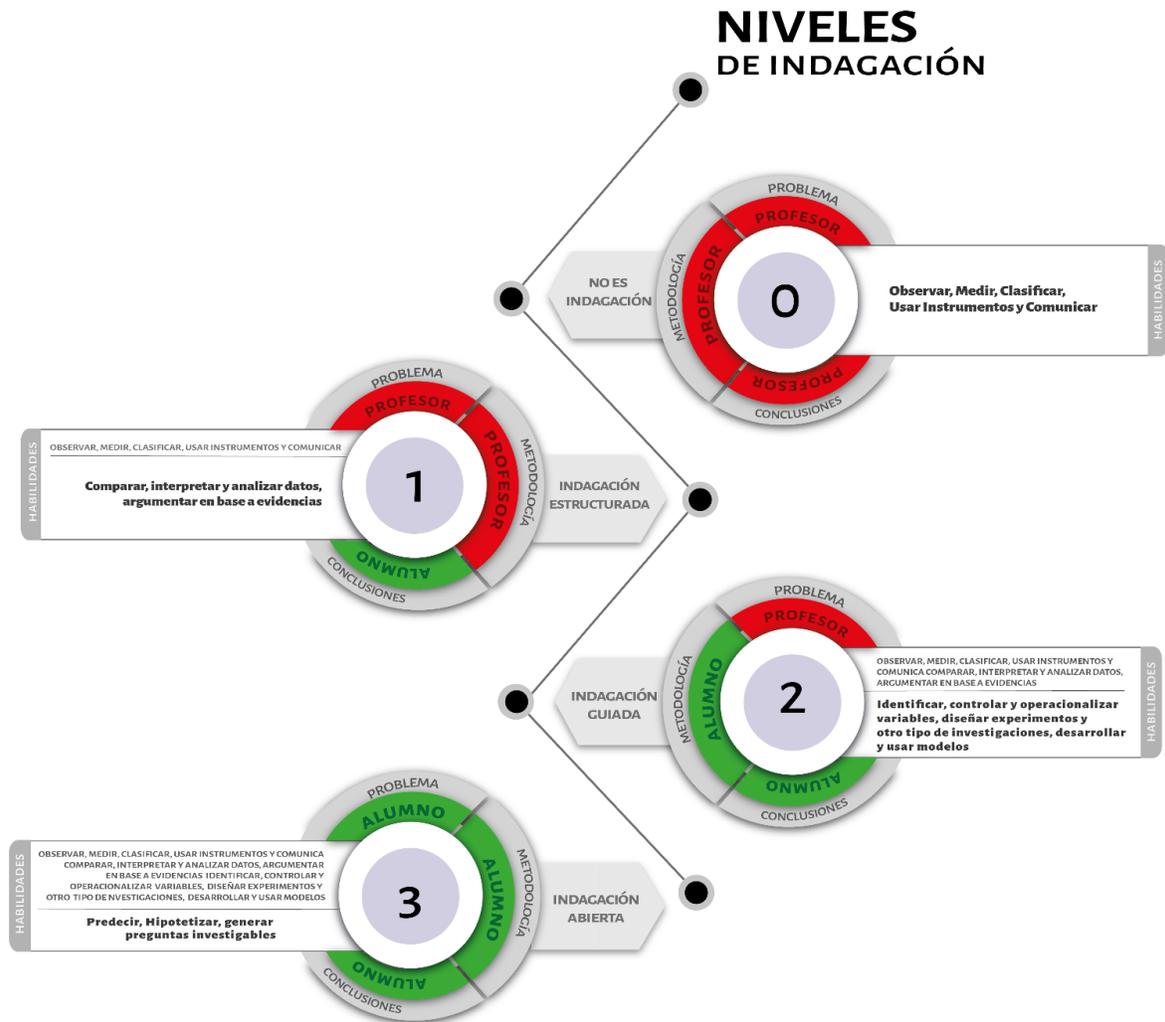


Figura 1. Niveles de indagación según la Escala de Herron, incluyendo las habilidades científicas que podrían desarrollarse al utilizarla como estrategia de enseñanza. Las habilidades en negrita son aquellas que se ganan con el nivel de indagación (Fuente: creación propia).

Tomando en cuenta esta clasificación podemos decir que la enseñanza a través de la indagación científica se define como una estrategia de enseñanza centrada en el(la) estudiante(a), en donde el docente orienta la construcción de conocimientos científicos a través de actividades concretas que los involucra trabajando alguna habilidad científica (e.g. hacer preguntas, controlar variables, argumentar, etc.), teniendo como guía una pregunta o problema de investigación. Otra visión, siguiendo las indicaciones de Joseph Schwab, gran impulsor de esta estrategia durante la década de los 60', propone que una clase indagatoria debería incluir: presentar preguntas o problemas (por parte del profesor/a o los estudiantes), recopilar, obtener u analizar datos (por parte del profesor/a o los estudiantes) y finalmente interpretar resultados y generar conclusiones (Settlage y Southerland, 2012). Esta definición, organización o clasificación debería servir para aclarar al docente y al formador de docentes de ciencia, que una actividad, clase o planificación que comienza con una pregunta investigable, pero que luego continua con una búsqueda de la respuesta en

internet o con una explicación del profesor no cumple con los criterios de una clase a través de una estrategia indagatoria. En nuestra experiencia de más de 10 años trabajando con profesores de ciencia en formación y en servicio, nos parece que esta dificultad de reconocimiento de una clase indagatoria es un obstáculo importante para poder implementar clases con esta estrategia. Como describimos anteriormente (Vergara y Cofré 2012) citando el trabajo y propuesta de Windschitl (2008), observar una muestra al microscopio o presenciar una demostración en el laboratorio, no serán actividades de indagación si no están asociadas a una pregunta de investigación. En la siguiente sección se revisa y discute la efectividad de este tipo de actividades en el aprendizaje conceptual y el desarrollo de habilidades científicas.

### **Eficiencia de la indagación como estrategia de enseñanza**

Existen múltiples evidencias derivadas, tanto de investigaciones individuales, como de revisiones y meta-análisis, que la indagación científica, como estrategia de enseñanza, es efectiva con respecto a diferentes aspectos de importancia para la alfabetización científica (Shymansky et al., 1990; Minner et al., 2010; Furtak et al., 2012; Granger et al., 2012; Crawford 2014; Marshall et al., 2017; Romero-Ariza, 2017). Por ejemplo, el trabajo de Granger et al., (2012), en el cual participaron 2594 estudiantes, 1.418 en los cursos de los 66 profesores que implementaron clases centradas en el estudiante donde se desarrollaron prácticas científicas y 1.176 en cursos de 59 profesores (grupos control) que realizaron clases con una enseñanza centrada en el contenido, mostró que, los estudiantes de cursos con una estrategia de enseñanza indagatoria, tuvieron resultados de aprendizaje más altos que los estudiantes del grupo control. Estos aprendizajes incluyeron, no solo conocimiento sobre contenido de astronomía, sino también sobre modelos y sobre la naturaleza de la indagación científica, medido a través del cuestionario VOSI (View of Scientific Inquiry). En otro estudio a gran escala, incluyendo más de 15,000 estudiantes de sexto a octavo grado, Marshall et al., (2017) demostraron que los estudiantes de los cursos en que enseñaron profesores con formación profesional en indagación guiada adquirieron un mayor conocimiento en temas científicos (Ciencias de la Tierra, Biología, entre otros), que los estudiantes de cursos con profesores que no participaron en dichos programas de desarrollo profesional. Una evidencia similar se observa cuando se revisan trabajos de meta-análisis en que se diferencia la eficacia de cada nivel de indagación (Figura 1) o se evalúan los tamaños de los efectos asociados a la enseñanza por indagación, en comparación con prácticas centradas en el profesor y el contenido. Por ejemplo, en un trabajo clásico como el de Shymansky et al., (1990) en que compararon la implementación del nuevo currículum implementado en EE. UU. enfocado en la indagación, con la enseñanza tradicional, los autores mostraron que los estudiantes expuestos a los nuevos planes de estudio de ciencias se desempeñaron mejor en rendimiento general, habilidades analíticas, habilidades de proceso y exhibieron actitudes más positivas hacia la ciencia. El análisis incluyó 105 estudios experimentales anteriores a 1980 que involucraron a más de 45.000 estudiantes. Resultados similares muestran los meta-análisis realizados por Minner et al., (2010) y Furtak et al., (2012). Sin embargo, estos últimos también muestran que la efectividad de esta estrategia es diferente dependiendo de su nivel. Según el análisis de Furtak et al., (2012), la indagación abierta sería menos efectiva que la indagación guiada. En la misma línea, Lazonder y Harmsen (2016) encontraron que, luego de analizar 72 estudios, se podía concluir que: las

actividades de indagación guiada generaban mejores desempeños en habilidades científicas y mayores aprendizajes conceptuales en los estudiantes, en comparación con los estudiantes que realizaban actividades no guiadas. Por otra parte, otros estudios también sugieren que la enseñanza basada en la indagación puede desempeñar un papel importante en reducir la brecha que existe en el desempeño en ciencia entre estudiantes con diferentes grados de vulnerabilidad (Marshall y Alston, 2014) y que también tiene un efecto positivo en el rendimiento científico de estudiantes con necesidades educativas especiales (Rizzo y Taylor, 2016).

A pesar de la evidencia anterior, existe una controversia sobre la efectividad de la enseñanza a través de la indagación la cual se ha prolongado por décadas (ver por ejemplo los trabajos de Zhang (2016) y Romero-Ariza (2017), para excelentes revisiones teóricas y empíricas sobre el tema). Esta controversia no es de extrañar por varias razones. La primera es que, como vimos al comienzo de esta sección, existe una estrategia de enseñanza llamada de descubrimiento, la cual muchas veces se confunde con la indagación abierta, la cual se ha descrito como poco eficaz, incluso en comparación a la enseñanza directa o tradicional (Alfieri et al., 2011). Por otra parte, las actividades prácticas, también conocidas como “hands-on”, en inglés, también se han incluido dentro de la indagación, lo cual está muy lejos de ser efectivo. Como vimos, una experiencia práctica, como generar un volcán con bicarbonato, no tiene nada que ver con realizar indagación. También se puede explicar porque, la mayor cantidad de evidencia en contra de la enseñanza por indagación viene de los análisis que se hacen de las autodeclaraciones de estudiantes que responden la prueba PISA (e.g. OECD, 2017). Estudios recientes han mostrado que los estudiantes con mejores desempeños conceptuales declaran muchas veces que no tienen experiencias de indagación, a diferencia de los estudiantes de menores desempeños quienes declaran tener más clases “indagatorias” (Areepattamannil et al., 2020; Forbes et al., 2020). Este tipo de trabajos tiene varias complicaciones, algunas de las cuales han sido reconocidas como limitaciones por sus propios autores (Romero-Ariza, 2017). Por un lado, la variable estudiada es la frecuencia de indicadores de indagación, más que la calidad de la implementación y, por otro lado, la medida no asegura que las clases “percibidas” como indagación por los estudiantes, sean realmente este tipo de estrategia. Finalmente, es importante señalar que, nadie ha propuesto que la indagación sea la única estrategia que se deba utilizar en la educación en ciencias, ni que todo contenido se pueda enseñar por indagación (Crawford, 2014), sino que la indagación nos permite desarrollar habilidades científicas y la comprensión de la indagación, resultados que no se obtienen a partir de una enseñanza tradicional. De hecho, es muy probable que una enseñanza con un enfoque de cambio conceptual sea más efectiva que la indagación para enseñar contenidos conceptuales, sin embargo, la relación entre indagación y cambio conceptual se ha comenzado a comprender solo recientemente (Chinn et al., 2013; van der Graaf, 2020).

### **Implementación de la indagación como proceso: ejemplos y uso de nuevos conceptos**

En este último apartado se revisarán ejemplos concretos de actividades indagatorias que se han utilizado tanto en la formación de profesores de ciencia (de enseñanza primaria y secundaria), como en el sistema escolar, tratando de poner acento en los temas conceptuales que hemos revisado en las secciones anteriores y de introducir otros conceptos de indagación propuestos en la última década. Desde nuestra propia experiencia, así como de la literatura

actual, existe consenso que cambiar desde una enseñanza tradicional a una enseñanza a través de la indagación no es algo fácil (Vergara y Cofré 2012; Crawford 2014). Sin embargo, una vez que se entiende la naturaleza de esta aproximación casi cualquier actividad tipo “receta de cocina” puede modificarse hacia una actividad donde realmente se realicen prácticas científicas (Furman y de Podestá 2010). Estas autoras muestran como muchos ejemplos de actividades confirmatorias o “hands-on”, que no son indagatorias, se pueden transformar a través, por ejemplo, de relacionar la actividad con una pregunta investigable. Sin embargo, una pregunta investigable no es fácil de generar. Por ejemplo, si salgo con mi curso de tercero básico al patio de la escuela y realizo la siguiente pregunta: ¿Todos los árboles tienen las hojas igual? Es poco probable que esa pregunta pueda ser el origen de una actividad indagatoria. Lo mismo pasa con preguntas como: ¿Se han pregunta qué es un terremoto? ó ¿Sabes qué es una adaptación? Volviendo al curso que sale al patio de la escuela, una mejor pregunta podría ser: ¿En qué se diferencian las hojas de los distintos árboles de nuestro patio? ¿Cómo podríamos clasificar las hojas de estos árboles? ¿Qué relación existe entre la forma de las hojas y su ubicación en el árbol? Todas estas preguntas apuntan a que los estudiantes tengan que recolectar **datos** para que puedan contestarlas. Por otra parte, cuando ya estamos en cursos superiores y queremos realizar una investigación, es preciso que los estudiantes se enfrenten a este desafío teniendo ciertos conocimientos conceptuales para abordar esta empresa. Ningún científico profesional se hace preguntas o envía proyectos de investigación en un área de la cual no conoce sus conceptos claves. De hecho, es justamente al revés. Los científicos conocen tan bien su área de estudio que las preguntas y proyectos que generan son específicamente en aquellos temas que aún quedan cosas por responder. Por lo tanto, no puedo comenzar la unidad de ecología con estudiantes de 13 o 14 años, saliendo a terreno con ellos y pidiéndoles que se hagan una pregunta de investigación sobre el ecosistema que están viendo. Ese tipo de actividad lleva a que los estudiantes (e incluso los profesores) generen muchas preguntas que no funcionan o simplemente no se les ocurra nada durante toda la salida a terreno y llegue la frustración. Este mismo tipo de estrategia llevará a que estudiantes se pregunten si las plantas crecen “alimentándose” de comida chatarra o si está en peligro de extinción una especie que es plaga. También puede alentar la preconcepción de que para ser científico (y hacerse una buena pregunta) se debe ser excepcionalmente inteligente. En lo que viene describiremos algunas actividades asociadas a dos tipos de indagación.

### **La indagación científica para el cambio conceptual y la comprensión de conceptos científicos**

Chinn et al., (2013), han definido la indagación científica, **como el cambio conceptual a través del uso y evaluación de la evidencia**. Según los autores, los profesores podemos usar la indagación para desarrollar nuevos conocimientos y nuevas formas de pensar científicamente (habilidades de pensamiento científico). En el mismo artículo, Chinn et al., (2013), describen algunos principios para implementar una enseñanza basada en indagación científica para el cambio conceptual, los cuales se dividen en principios de razonamiento y de comprensión. Los primeros, incluyen: a) la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia (NOSK) y la naturaleza de la indagación científica (NOSI); b) el desarrollo de la argumentación científica; c) un foco en la motivación, y d) la presencia de andamios y guías para la implementación. Los principios para la comprensión incluyen: a) tomar en cuenta las

preconcepciones de los estudiantes; b) usar múltiples representaciones; y c) propiciar la simplificación de los conceptos. No obstante, estos autores llaman a la precaución ya que, el cambio conceptual es solo uno de los posibles resultados de la indagación pues, al analizar evidencias contrarias a sus creencias, los estudiantes muchas veces prefieren ignorarla, dejarla en suspenso o reinterpretarla para asimilarla a sus estructuras de conocimiento, así como algunas veces lo hacen los científicos.

En la Tabla 3 se muestra una guía para el estudio de la selección natural en la cual se incorporan varios de los principios propuestos para implementar una indagación científica para el cambio conceptual. Algunos de ellos son: 1) se parte desafiando algunas preconcepciones de los estudiantes sobre evolución (por ejemplo, que la evolución solo ocurre o se puede evidenciar a través de miles o millones de años, que el cambio evolutivo ocurre por necesidad y que las adaptaciones se generan a nivel de individuos y no en contexto de población; 2) la actividad se presenta como una indagación estructurada donde el estudiante debe generar las conclusiones luego de analizar los datos obtenidos por investigadores; 3) se incluyen momentos de argumentación deliberativa para propiciar el conflicto cognitivo de las preconcepciones identificadas; 4) finalmente se propicia la reflexión sobre la naturaleza de la investigación analizada (NOSI y NOSK) y se intenta generar un conflicto cognitivo hacia las ideas de que: “la evolución es solo una teoría”, y que “no existen evidencias empíricas que la apoyen”. Los datos para realizar la actividad se pueden obtener en: <https://nosyevolucion.cl/2020/12/16/material-anexo-1-cap-15/>. En este sitio se encuentran los datos en una planilla Excel y también están los gráficos generados para cada población, si el profesor quiere omitir el paso de la generación de ellos a partir de las tablas.

Esta actividad la hemos realizados en varias ocasiones con profesores de biología en formación y en ejercicio, y también se ha aplicado en contexto escolar, tanto en primero medio, como en tercero medio plan electivo (en el contexto del currículum que estuvo vigente hasta el 2017) tanto en colegios privados como con aportes del estado. Los estudiantes responden en forma muy positiva frente a esta actividad, se muestran motivados, tanto por el tema como por la propuesta de trabajo, valorando el trabajo colaborativo y el uso de datos reales. Por otra parte, es importante contextualizar la procedencia de los datos, razón por la cual la actividad se puede complementar con la observación de un video sobre los investigadores (<https://www.youtube.com/watch?v=OO4OdCp59c4>). El análisis del video les aclara que los datos que ellos utilizarán fueron obtenidos a través de una metodología de trabajo científico. No obstante, se debe tener la precaución de no mostrar la parte de los datos antes de la actividad.

Generalmente, antes de realizar la actividad, los estudiantes no creen que se puedan tener evidencias empíricas de selección natural con especies actuales, grandes y en tan poco tiempo. Otros ejemplos de actividades indagatorias para el cambio conceptual, en el tema de selección natural se puede obtener en el primer enlace y en otras publicaciones de nuestro grupo de investigación (e.g., Cofré et al., 2017, 2018, 2021; Núñez et al., 2022).

**Tabla 3.** Ejemplo de actividad de indagación para el cambio conceptual sobre la teoría de la evolución. Este tema se revisa en primero medio (OA: Analizar e interpretar datos para proveer de evidencias que apoyen la idea que la diversidad de organismos es el resultado de la evolución, considerando los postulados de la teoría

de la selección natural) y en tercero o cuarto medio en el curso de formación diferenciada, biología de los ecosistemas (OA: Explicar el estado de la biodiversidad actual a partir de teorías y evidencias científicas sobre el origen de la vida, la evolución y la intervención humana).

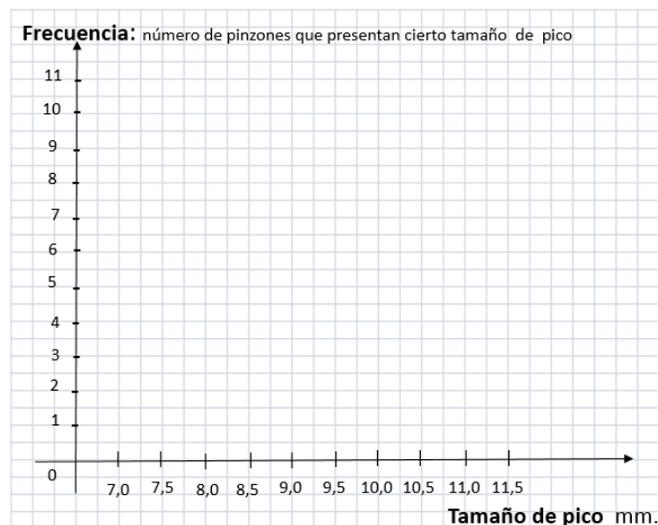
### Taller: Ejemplo de evolución en los Pinzones de las Galápagos

(Basado en el trabajo de Peter R. Grant y B. Rosemary Grant)

**Introducción:** Muchas veces nos preguntamos: ¿Es posible ser testigos de la evolución de las especies? ¿Existen realmente cambios en las especies que podamos verificar durante nuestras vidas? Pocos investigadores han logrado responder estas preguntas; entre ellos se encuentran Peter y Rosemary Grant, que estudiaron a los pinzones de las islas galápagos por más de 40 años. Ellos querían entender **cómo las especies cambian con el tiempo** y, en particular, **cómo los cambios en el entorno pueden influir en las características físicas de una especie**. Los Grants tomaron muchas mediciones de picos de los pinzones: longitud, anchura, y profundidad. Ahora, ustedes tendrán la suerte de trabajar con los **datos originales** de los Grant que corresponden a los primeros años de recolección de evidencia para la especie de pinzón de pico mediano que vive en la isla Daphne Major del archipiélago de las Galápagos. Ahora ayuden a los Grant a **determinar si existe un cambio o no en el tamaño del pico de la población del pinzón de pico mediano a través de los años**.

**Actividad 1:** Con los datos de las **tablas 1, 2 y 3**, realicen un histograma (**gráfico de frecuencia**) del número de pinzones que tienen un determinado tamaño de pico. Las tablas incluyen los datos de tamaño de pico de: 1) población original; 2) población sobreviviente luego de una sequía; 3) descendientes de la población que sobrevivió a la sequía.

Ejemplo de plantilla para realizar un histograma



**Actividad 2:** Observa los tres gráficos obtenidos y responde las siguientes preguntas.

- ¿Existe un patrón de cambio del tamaño del pico desde la población original a la población formada por los descendientes de los sobrevivientes? Discutan y argumenten en base a evidencia. Para ello comparen el rango, la media, el mínimo y el máximo de cada población.
- Tomando en cuenta esta investigación, ¿Estarían de acuerdo con una persona que piensa que: “la evolución es sólo una teoría” y que “no existen evidencias científicas que la apoyen? Argumenten su posición.

## La indagación socio-científica como estrategia de enseñanza para una ciudadanía efectiva

La indagación socio-científica debería ser la respuesta a la implementación de una ciudadanía efectiva, tanto por sus atributos teóricos (Sadler et al., 2007; Levinson, 2018) como por su coherencia con nuestro currículum de ciencia vigente para tercero y cuarto medio (Mineduc 2019). De acuerdo con Levinson, (2018), la indagación socio-científica integra tres pilares fundamentales: a) tener un contexto auténtico (incluir temas socio-científicos); b) realizar una pregunta auténtica sobre este contexto (indagación guiada) y tomar medidas concretas (ciudadanía). La integración de estos tres pilares proporciona un modelo para usar y construir conocimiento científico local y para permitir el pensamiento crítico y el cambio de actitudes (Levinson 2018).

A partir del año 2020, la pandemia de la covid-19, generada por el virus SarCov-2 nos ha enfrentado como profesores y ciudadanos a una serie de decisiones y contextos sociales y científicos que muchas veces no podemos evaluar en su real veracidad debido a las múltiples fuentes de información, científica y pseudocientífica a la cual estamos expuestos por las redes sociales. Si bien esta pandemia ha tenido efectos muy adversos a todo nivel en nuestra sociedad, también es cierto que es una oportunidad inigualable para estudiar cómo se genera conocimiento científico in situ, y para poder acceder a fuentes de datos confiables que están a disposición de la ciudadanía en diferentes lugares de la web (e.g.; <https://www.minciencia.gob.cl/covid19>; <https://www.espaciopublico.cl/>). Específicamente, en la siguiente actividad se propone a los estudiantes estudiar la relación entre algunas características económicas de las diferentes comunas de la región Metropolitana de Santiago de Chile con diferentes variables de Covid-19 descritas hasta fines de enero del 2020. En la Tabla 4 se muestra una guía confeccionada para generar una actividad de indagación socio-científica y la Tabla 5 presenta los datos usados para el estudio de diferentes variables que asocian Covid-19 y estatus socioeconómico.

Esta actividad fue creada e implementada por primera vez en un curso sobre enseñanza de la biología y alfabetización científica crítica realizado en enero del 2021 (<https://nosyevolucion.cl/2021/01/25/taller-sobre-estrategias-que-propician-la-alfabetizacion-cientifica-critica-finaliza-con-gran-interes-de-sus-participantes/>). Desde esa implementación y luego de otras aplicaciones tanto con profesores en formación como con profesores en ejercicio, la actividad ha sido muy bien recibida. Los profesores valoran el trabajo con datos reales y contextualizados al contexto de los estudiantes, el foco en el desarrollo de habilidades de pensamiento científico como la generación de preguntas e hipótesis y el trabajo con un tipo de investigación no experimental (descriptiva – correlacional) que no siempre se comprende bien por parte de los estudiantes. Sin embargo, los profesores también reconocen el gran desafío que implica implementar la actividad, ya que requiere de habilidades científicas como la realización de gráficos y su interpretación, el diseño de una investigación y la generación de conclusiones. Un tema anecdótico, pero no menos importante, es la corroboración del tema como una pregunta relevante incluso a nivel de ciencia profesional, dado por la publicación de la investigación: “El estatus socioeconómico determina la incidencia de COVID-19 y la mortalidad relacionada en Santiago, Chile”, por parte de Gonzalo Mena y colaboradores (2021) en la revista Science.

**Tabla 4.** Ejemplo de actividad de indagación socio-científica. El tema de las enfermedades infecciosas se revisa en tercero y cuarto medio en el curso de ciencias para la ciudadanía (OA: Analizar, a partir de evidencias, situaciones de transmisión de agentes infecciosos a nivel nacional y mundial [como virus de influenza, VIH-sida, hanta, hepatitis B, entre otros]) y en tercero o cuarto medio en el curso de formación diferenciada, Ciencias de la salud (OA: Analizar desde una perspectiva sistémica problemas complejos en materia de salud pública que afectan a la sociedad a escala local y global, tales como transmisión de infecciones, consumo de drogas, infecciones de transmisión sexual, desequilibrios alimentarios y enfermedades profesionales/laborales).

---

**Taller: Efectos de la Pandemia de Covid-19 y su relación con el estatus socioeconómico  
(original de Hernán Cofré & Claudia Vergara)**

**Introducción:** Frecuentemente hemos escuchado que los más afectados por la pandemia son las personas más vulneradas. Pero ¿Qué tan cierto es esto? ¿Qué evidencias científicas existen de esta relación? ¿Cómo podríamos investigar si existe relación entre el nivel socio económico y las variables de la Covid-19? El director del Hospital Padre Hurtado (hospital público de una comuna vulnerable), Mauricio Toro, quien también atiende en la Clínica Alemana (clínica privada de una comuna acomodada) tiene una respuesta:

*“Tenemos población mucho más dañada [en el hospital público]: obesos, diabéticos, hipertensos, fumadores con alcoholismo o drogadicción. Esta no es la misma población de la Clínica Las Condes, donde un diabético ciego es rarísimo. Nosotros estamos llenos de diabéticos ciegos y amputados, porque sus condiciones de salud son mucho más malas. Son gente muy pobre en condiciones precaria. Aquí hay población de 40 o 50 años que parece de 70, porque no van al gimnasio y no comen saludable. No pueden cuidarse su diabetes igual que un señor que vive en Vitacura”.* (fuente: <https://www.ciperchile.cl/2020/06/21/coronavirus-tasa-de-mortalidad-de-los-hospitales-publicos-metropolitanos-duplica-la-de-las-clinicas/>).

**Desarrollo:** Para poner a prueba la hipótesis de que la enfermedad de covid-19 no afecta por igual a toda la población, sino que hay un efecto mayor en sectores más vulnerables, realiza en grupo la siguiente investigación utilizando datos obtenidos de fuentes científicas

(<https://www.minciencia.gob.cl/covid19>; <https://www.espaciopublico.cl/>). Para guiar su investigación deben generar una pregunta similar a esta: ¿Cuál es la variable que explica mejor las muertes (o contagios) totales de las comunas de la región Metropolitana de Santiago? Para ello:

- a) Inventen una nueva pregunta de investigación que incluya una variable dependiente y una independiente
- b) Generen una hipótesis que responda esta pregunta
- c) Tomen las variables de su estudio (a partir de los datos entregados) y exploren la relación entre ellas de forma gráfica
- d) Presenten sus resultados gráficamente y concluyan sobre ellos
- e) Determinen si su hipótesis se cumple o no

**Conclusiones:** A partir de los resultados, realicen alguna de las siguientes actividades: i) Propongan alguna medida o acción que pueda aportar para mitigar este problema en su comuna; ii) investiguen si estos resultados se pueden encontrar en otras regiones de Chile; iii) investiguen otras variables biológicas, sociales o geográficas que puedan explicar diferencias en el efecto de la pandemia sobre la población (e.g., ruralidad, % de población perteneciente a pueblos originarios; % de población vacunada con 3 dosis; entre otras).

---

**Tabla. 5.** Variables socioeconómicas y asociadas a covid-19 en cada una de las comunas de la Región Metropolitana de Santiago (Datos obtenidos desde <https://www.minciencia.gob.cl/covid19>; <https://www.espaciopublico.cl/>).

| Comuna           | Población Total | # de Casos Confirmados | Casos / Población | Total de muertes | Total de muertes / población | Reducción de Movilidad (%) | Pobreza (%) |
|------------------|-----------------|------------------------|-------------------|------------------|------------------------------|----------------------------|-------------|
| Cerrillos        | 88956           | 3739                   | 0,042             | 122              | 0,0014                       | 44                         | 27,5        |
| Cerro Navia      | 142465          | 8027                   | 0,056             | 327              | 0,0023                       | 20                         | 35          |
| Conchalí         | 139195          | 7451                   | 0,054             | 316              | 0,0023                       | 42                         | 29          |
| El Bosque        | 172000          | 8033                   | 0,047             | 298              | 0,0017                       | 29                         | 22,5        |
| Estación Central | 206792          | 7552                   | 0,037             | 189              | 0,0009                       | 59                         | 23          |
| Huechuraba       | 112528          | 4783                   | 0,043             | 176              | 0,0016                       | 46                         | 28          |
| Independencia    | 142065          | 7618                   | 0,054             | 317              | 0,0022                       | 42                         | 21          |
| La Cisterna      | 100434          | 4155                   | 0,041             | 161              | 0,0016                       | 40                         | 17,5        |
| La Florida       | 402433          | 17039                  | 0,042             | 663              | 0,0016                       | 45                         | 19          |
| La Granja        | 122557          | 8246                   | 0,067             | 260              | 0,0021                       | 51                         | 22,2        |
| La Pintana       | 189335          | 12464                  | 0,066             | 418              | 0,0022                       | 27                         | 33          |
| La Reina         | 100252          | 2888                   | 0,029             | 113              | 0,0011                       | 42                         | 7           |
| Lampa            | 126898          | 4312                   | 0,034             | 73               | 0,0006                       | 25                         | 26          |
| Las Condes       | 330759          | 8202                   | 0,025             | 409              | 0,0012                       | 59                         | 4           |
| Lo Barnechea     | 124076          | 4339                   | 0,035             | 98               | 0,0008                       | 39                         | 17,2        |
| Lo Espejo        | 103865          | 5320                   | 0,051             | 260              | 0,0025                       | 19                         | 37,5        |
| Lo Prado         | 104403          | 6008                   | 0,058             | 190              | 0,0018                       | 31                         | 24,5        |
| Macul            | 134635          | 6142                   | 0,046             | 204              | 0,0015                       | 48                         | 13,5        |
| Maipú            | 578605          | 19171                  | 0,033             | 633              | 0,0011                       | 38                         | 13,5        |
| Ñuñoa            | 250192          | 7146                   | 0,029             | 356              | 0,0014                       | 48                         | 6           |
| Padre Hurtado    | 74188           | 2724                   | 0,037             | 70               | 0,0009                       | 23                         | 22,5        |
| Pedro A. Cerda   | 107803          | 5267                   | 0,049             | 268              | 0,0025                       | 34                         | 25          |
| Peñalolén        | 266798          | 13560                  | 0,051             | 389              | 0,0015                       | 35                         | 27          |
| Providencia      | 157749          | 4245                   | 0,027             | 195              | 0,0012                       | 69                         | 4           |
| Pudahuel         | 253139          | 12136                  | 0,048             | 307              | 0,0012                       | 35                         | 22,5        |
| Puente Alto      | 645909          | 29771                  | 0,046             | 824              | 0,0013                       | 23                         | 24          |
| Quilicura        | 254694          | 10723                  | 0,042             | 213              | 0,0008                       | 36                         | 18          |
| Quinta Normal    | 136368          | 7343                   | 0,054             | 215              | 0,0016                       | 42                         | 23,8        |
| Recoleta         | 190075          | 9900                   | 0,052             | 380              | 0,002                        | 46                         | 23          |
| Renca            | 160847          | 10829                  | 0,067             | 292              | 0,0018                       | 35                         | 24,5        |
| San Bernardo     | 334836          | 13932                  | 0,042             | 417              | 0,0012                       | 41                         | 26          |
| San Joaquín      | 103485          | 6008                   | 0,058             | 211              | 0,002                        | 48                         | 21          |
| San Miguel       | 133059          | 6579                   | 0,049             | 226              | 0,0017                       | 44                         | 17,5        |
| San Ramón        | 86510           | 5300                   | 0,061             | 214              | 0,0025                       | 12                         | 27,5        |

|          |        |       |       |     |        |    |     |
|----------|--------|-------|-------|-----|--------|----|-----|
| Santiago | 503147 | 18440 | 0,037 | 344 | 0,0007 | 60 | 9,5 |
| Vitacura | 96774  | 2126  | 0,022 | 72  | 0,0007 | 54 | 3,5 |

## Conclusiones

En el contexto de la didáctica de las ciencias en Chile, existe evidencia de que las prácticas docentes que predominan en la actualidad están lejos del tipo de enseñanza centrada en el estudiante, con una instrucción con pocas oportunidades para la indagación, el razonamiento científico y la argumentación (Cofré, et al., 2010; Larrain et al., 2014). Por otro lado, existe evidencia de que los estudiantes chilenos tienen actitudes hacia la ciencia que oscilan entre negativas a moderadamente favorables, con actitudes más negativas especialmente en estudiantes de escuelas desfavorecidas (Navarro y Foster 2012; Aló et al., 2020). En este escenario, los nuevos cambios curriculares, como la inclusión del curso de ciencias para la ciudadanía para tercero y cuarto medio, junto a un énfasis menor en los contenidos y mayor en el desarrollo de habilidades científicas y la comprensión de la naturaleza de la ciencia, pueden ser una oportunidad importante para propagar el enfoque de enseñanza de indagación científica.

En este artículo hemos querido describir y aclarar, tanto los aspectos teóricos de la indagación científica, como su uso en términos prácticos. Hemos descrito las habilidades asociadas a la indagación científica y la comprensión que de ella se debería propiciar en nuestros estudiantes. Además, hemos descrito extensamente que se entiende por indagación cuando la entendemos como un enfoque o estrategia de enseñanza. Se han revisado temas de interés como los tipos de indagación y la evidencia que demuestra su eficacia en desarrollar la comprensión del proceso de investigación, así como de conceptos científicos. Finalmente, hemos descrito dos actividades indagatorias introduciendo dos conceptos nuevos dentro de la indagación: la indagación para el cambio conceptual y la indagación socio-científica. Ambas pueden ser aproximaciones muy útiles en la enseñanza de nuestro currículum actual (la primera entre séptimo básico y segundo medio y la segunda para tercero y cuarto medio) y ambas son buenos ejemplos para describir y caracterizar cualquier clase o actividad centrada en la indagación: se trabaja en torno a una pregunta de investigación, se analizan datos reales y se discute y argumenta entre pares para sacar conclusiones.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado parcialmente por el Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondecyt) a través del proyecto N°1161812 a Claudia Vergara y N° 1211920 a Hernán Cofré.

## Bibliografía

- Abd-el Khalik F., BouJaoude S., Duschl R., Lederman N.G., Mamlok Naaman R., Hofstein A., Niaz M., Treagust D., & Tuan, L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education* 88(3), 397-419.
- Alfieri L., Brooks P.J., Aldrich N.J., Tenenbaum H.R. (2011). Does discovery-based instruction enhance learning? *Journal of Educational Psychology* 103, 1-18.
- Aló, D., A. Castillo, P., Marín Vial & H., Samaniego (2020). Low-cost emerging technologies as a tool to support informal environmental education in children from vulnerable public schools of southern Chile, *International Journal of Science Education*, 42, 4, 635-655.

- Areepattamannil, S., D., Cairns & Martina Dickson (2020). Teacher-directed versus Inquiry-Based science instruction: Investigating links to adolescent students' science dispositions across 66 Countries, *Journal of Science Teacher Education*, DOI:10.1080/1046560X.2020.1753309
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, 23, 42–44
- Cofré, H. L., J. Camacho, A. Galaz, J. Jiménez, D. Santibáñez & C. Vergara. (2010). La educación científica en Chile: debilidades de la enseñanza y futuros desafíos de la educación de profesores de ciencia. *Estudios Pedagógicos* 36, 279–293.
- Cofré, H. L., Núñez, P., Becerra, B., & L. Barraza (2017). Una actividad para enseñar selección natural incluyendo la historia de la ciencia: el legado de Dobzhansky llega a la sala de clases *Revista de Innovación en Enseñanza de las Ciencias* 1, (1), 100–109.
- Cofré, H.L., P. Núñez, D. Santibáñez, J. Pavez, & C. A. Vergara (2018). Theory, evidence, and examples about teaching nature of science and biology using history of science: A Chilean experience. In: Ed (M. E. Brzezinski Prestes & C. C. Silva). *Teaching science with context: Historical, Philosophical, Sociological Approaches*. Springer.
- Cofré, H.L., P. Núñez, A. Spotorno & A. Bassaber (2021). Capítulo 15. Estrategias de enseñanza para la Evolución. En: Cofré, H.L., C. Vergara & Á. Spotorno (Editores). *Enseñar Evolución y Genética para la Alfabetización Científica*. Ediciones Universitarias de Valparaíso (PUCV).
- Crawford, B. A. (2014). From inquiry to scientific practices in the science classroom. En: N. G. Lederman & S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (Vol. II, pp. 515–541). New York: Routledge.
- Chinn, C.A., R.G., Duncan M., Dianovsky & R., Rinehart (2013), Promoting Conceptual Change Through Inquiry. En: S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of research on conceptual change*. Routledge. London & NY.
- Di Mauro, M.F., & M. Furman (2016). Impact of an inquiry unit on grade 4 students' science learning, *International Journal of Science Education*, 38 (14) 2239-2258.
- Furman, M. & M.E. de Podesta (2010) *La Aventura de Enseñar Ciencias Naturales*. Aique Educación. Buenos Aires.
- Furtak E.M., Seidel T., Iverson H., Briggs D.C. (2012) Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching. *Review of Educational Research* 82(3), 300-329.
- Forbes, C. T., K., Neumann & A., Schiepe-Tiska (2020) Patterns of inquiry-based science instruction and student science achievement in PISA 2015, *International Journal of Science Education*, 42 (5),783-806,
- García-Carmona, A. (2020) From inquiry-based science education to the approach based on scientific practices. *Science & Education* 29 (2), 443–463.
- García-Carmona, A. (2021) Prácticas no-epistémicas: ampliando la mirada en el enfoque didáctico basado en prácticas científicas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18(1), 1108. doi:10.25267/Rev\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc.2021.v18.i1.1108
- Garriz, A. (2010). Indagación: las habilidades para desarrollarla y promover el aprendizaje. *Educación Química*, 21(2), 106-110,
- Granger, E. M., T. H. Bevis, Y. Saka, S. A. Southerland, V. Sampson, & R. L. Tate. (2012). The Efficacy of Student-Centered Instruction in Supporting Science Learning. *Science* 338, 105-108.
- Larrain, A., P. Freire, & C. Howe (2014). Science teaching and argumentation: One-Sided versus dialectical argumentation in Chilean Middle School Science Lessons. *International Journal of Science Education* 36, 1017–1036.
- Lazonder, A. W., & Harmsen, R. (2016). Meta-analysis of inquiry-based learning: effects of guidance. *Review in Educational Research* 86, 681–718.
- Lederman, J. (2021) Enseñanza biología a través de la indagación. En: Cofré, H.L., C. Vergara & Á. Spotorno (Editores). *Enseñar Evolución y Genética para la Alfabetización Científica*.

- Ediciones Universitarias de Valparaíso (PUCV).
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartels, S. L., & Jimenez, J. (2019). An international Collaborative investigation of beginning seventh grade students' understandings of scientific inquiry: Establishing a baseline. *Journal of Research in Science Teaching*, 56(4), 486–515.
- Lederman, J. S., N. G. Lederman, S. Bartels, J. Jimenez, et al., & J. Wishart (2021): International collaborative follow-up investigation of graduating high school students' understandings of the nature of scientific inquiry: is progress Being made? *International Journal of Science Education*, DOI: 10.1080/09500693.2021.1894500
- Lederman, J.S., & N.G. Lederman (2010). El Desarrollo del conocimiento pedagógico del contenido para la naturaleza de la ciencia y la indagación científica. En: Cofré, H.L. (Ed). *Cómo mejorar la enseñanza de las ciencias en Chile*. Ediciones universidad Católica Silva Henríquez.
- Lederman, N.G. (2021). La biología y la naturaleza del conocimiento científico. En: Cofré, H.L., C. Vergara & Á. Spotorno (Editores). *Enseñar Evolución y Genética para la Alfabetización Científica*. Ediciones Universitarias de Valparaíso (PUCV).
- Levinson, R. (2018). Introducing socio-scientific inquiry-based learning (SSIBL). *School Science Review*, 100(371)31-35
- Marshall, J., & Alston, D. (2014). Effective, sustained inquiry-based instruction promotes higher science proficiency among all groups: A five-year analysis. *Journal of Science Teacher Education*, 25(7), 807–821.
- Marshall, J., Smart, J., & Alston, D. (2017). Inquiry-based instruction: A possible solution to improving student learning of both science concepts and scientific practices. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(5), 777–796.
- Martin-Hansen, L. (2002). Defining inquiry. *The Science Teacher*, 69, 34–37
- Mena, G. E., Martínez, P. P., Mahmud, A. S., Marquet, P. A., Buckee, C. O., & Santillana, M. (2021). Socioeconomic status determines COVID-19 incidence and related mortality in Santiago, Chile. *Science*, 372(6545).
- Mineduc. (2012). Bases Curriculares 1° a 6° básico, Santiago, Chile.
- Mineduc. (2015). Bases Curriculares 7° básico a 2° medio, Santiago, Chile.
- Mineduc (2019). Bases Curriculares 3° y 4° medio. Santiago, Chile.
- Minner D., Levy A., & Century J. (2010) Inquiry-based science instruction—What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching* 47, 474–496.
- Navarro, M.B., & C., Förster M. (2012). Nivel de alfabetización científica y actitudes hacia la ciencia en estudiantes de secundaria: comparaciones por sexo y nivel socioeconómico. *Pensamiento Educativo* 49(1), 1-17.
- Núñez, P., P., Castillo, C., Hinojosa, C., Parraguez, & Cofré, H. L. (2022). Inquiry-based activities for teaching about natural selection: dog evolution and the secret ingredient of an amazing experiment. *The American Biology Teacher*.
- Rizzo, K., & Taylor, J. (2016). Effects of inquiry-based instruction on science achievement for students with disabilities: An analysis of the literature. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, 19(1), 1–16.
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación, ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (2), 286-299. <http://hdl.handle.net/10498/19218>
- Rönnebeck et al., (2016)
- Schwartz, RS., NL., Lederman, & BA. Crawford (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88 (4), 610-645.

- OECD. (2017). PISA 2015 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematics, financial literacy and collaborative problem solving. Paris: OECD Publishing.
- Osborne, J. (2014). Scientific practices and inquiry in the science classroom. En Lederman, N. G. & Abell, S. (Eds.), *Handbook of research on science education*, volumen II. New York: Routledge.
- Sadler, T.D., S. A. Barab & B., Scott (2007). What do students gain by engaging in Socioscientific Inquiry? *Research in Science Education*, 37:371–391
- Settlage J. & S. Southerland (2012). *Teaching Science to Every Child*. Routledge, USA.
- Shymansky J.A., Hedges L.V., & Woodworth G. (1990) A reassessment of the effects of inquiry-Based science curricula of the 60's on student performance. *Journal of Research in Science Teaching* 27, 127–144.
- van der Graaf J (2020). Inquiry-Based learning and conceptual change in balance beam understanding. *Front. Psychol.* 11:1621. doi: 10.3389/fpsyg.2020.01621.
- Vergara, C. & H. L., Cofré (2012). La indagación científica: Un concepto esquivo, pero necesario. *Revista Chilena de Educación Científica*, 11(1), 30-38.
- Vergara, C., N., Lederman, J., Lederman & H. Cofré (2013). “The Scientist’ work is to experiment, to discover and to create new things”: the understanding of nature of scientific inquiry in Chilean elementary students. [Paper presentation]. Conferencia de la European Science Education Research Association (ESERA). Nicosia, Chipre.
- Vergara, C., J., Jimenez, N., Lederman, J., Lederman & H. Cofré (2014). First assessment of high school students’ understandings about Scientific Inquiry in Chile, South America. [Paper presentation]. Conferencia annual de la National Association of Research in Science Teaching (NARST), Pittsburg, EE.UU.
- Windschitl, M. (2008) Chapter 1. What Is Inquiry? A Framework for thinking about authentic Scientific Practice in the Classroom En: *Science as inquiry in the secondary*. J. Luft, R. L. Bell, and Julie Gess-Newsome (Eds).
- Zhang, L. (2016). Is inquiry-based science teaching worth the effort? Some thoughts worth considering. *Science & Education* 25 (7–8), 897–915.