



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**¿Cómo promover el desarrollo de habilidades para la
investigación científica? Estudio de caso en el
Laboratorio de Química General 2 con un protocolo
experimental para la enseñanza de las valoraciones
volumétricas.**

Tesis

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
Químico Farmacéutico Biológico**

PRESENTA:

Luis Armando Hernández Pérez

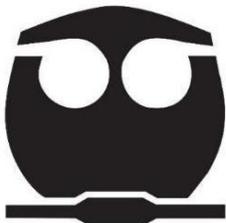
Dra. Flor de María Reyes Cárdenas

Q. Mercedes Guadalupe Llano Lomas

Dra. Sobeida Sánchez Nieto

Dr. Plinio Jesús Sosa Fernández

QFB. Patricia Alejandrina Lechuga Uribe



Ciudad de México, CD.MX. 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos:

Agradezco a la DGAPA por la beca otorgada durante el año 2020 para el desarrollo de esta investigación a través del proyecto PAPIME PE214420.

Tabla de contenido

AGRADECIMIENTOS:	2
RESUMEN.	4
PALABRAS CLAVE:	4
1. INTRODUCCIÓN:	5
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	10
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	11
HIPÓTESIS	12
OBJETIVO	12
3. EXPOSICIÓN Y FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	12
4. METODOLOGÍA	25
A) MUESTRA.....	25
B) DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL EDUCATIVO.....	26
C) CATEGORÍAS DE ANÁLISIS.....	29
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
A) MARCO TEÓRICO.....	36
B) HIPÓTESIS	38
C) DISEÑO EXPERIMENTAL.	43
D) REALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO Y RECOPIACIÓN DE DATOS.	46
E) ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	51
F) CONCLUSIONES.....	57
6. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES	59
REFERENCIAS	61

Resumen.

Para llevar a cabo una investigación científica es necesario que aquella persona que la realice posea diversas habilidades de investigación. Al respecto, el problema actual de los estudiantes de la Facultad de Química es la exigencia para desempeñar estas habilidades y al mismo tiempo entregar informes de calidad que contemplen un contenido similar al de un artículo científico. En este trabajo se documenta y analiza el nivel de desarrollo de las habilidades de investigación en una muestra de 35 estudiantes de segundo semestre de la Facultad de Química, al implementar dos protocolos experimentales acompañados de un énfasis explícito en estas habilidades. Dentro de los hallazgos se observó una mejora en la calidad del contenido de los componentes de una investigación, entre los cuales se encuentran el marco teórico, la hipótesis, el diseño experimental y la recopilación de datos, así como la discusión y las conclusiones.

Palabras clave:

Educación química, habilidades de investigación científica, volumetría, titulación química, enseñanza experimental.

1. Introducción:

Uno de los objetivos de las licenciaturas en química y afines a ella, es desarrollar en los estudiantes las habilidades, conocimientos, actitudes y valores propios de una ciencia experimental, lo que demanda, entre otros aspectos, el desarrollo de habilidades de investigación científica, que incluyen desde la observación y planteamiento de un problema hasta la obtención de resultados de un experimento que permitan extraer conclusiones sobre el mismo, así como elaborar el reporte científico correspondiente.

En las últimas décadas y en todo el mundo, en las universidades se está viviendo una importante transición educativa que ha comenzado con la formación científica teórico-práctica tradicional para llegar a la implementación de nuevos esquemas educativos que contemplan la investigación en los programas de estudio desde las asignaturas básicas, garantizando así en los estudiantes una formación integral académica y científica.

Por ejemplo, en Estados Unidos de América, la importancia de abordar temas relacionados con la investigación científica en los planes de estudio de las universidades se ha estudiado desde hace varios años. En 2015, se implementó un módulo de investigación en la Universidad de Montgomery; al respecto, Palmer (2018) menciona que hay varias razones por las cuales los estudiantes universitarios deberían involucrarse en proyectos de investigación desde etapas tempranas de su formación académica. En primer lugar, las prácticas científicas y la generación de resultados en un entorno de laboratorio conectan a los estudiantes con una manera real [y próxima] de hacer ciencia, desmintiendo la falsa creencia de que se requiere de habilidades excepcionales para llevar a

cabo actividades científicas. Así mismo, la participación en un módulo de investigación ayuda a los estudiantes a desarrollar no sólo habilidades relacionadas con química [y áreas afines], sino también de otro tipo, tales como organización del tiempo, comunicación de ideas y establecimiento de metas.

Otro ejemplo lo encontramos en el Florida Southern College, donde los estudiantes de último año deben tomar dos cursos cuyo objetivo es realizar un proyecto de investigación personalizado. Bromfield (2018) comenta que se han hecho evaluaciones al proyecto a través de opiniones de alumnos y docentes, encontrando un impacto positivo en el desarrollo de diferentes habilidades de los alumnos que toman el curso (uso de la literatura, redacción, evaluación de datos y desarrollo de hipótesis), en comparación con aquellos que no lo toman. Si bien los resultados muestran que los estudiantes opinan favorablemente de estos cursos, el mismo autor puntualiza que es necesario realizar una evaluación que aluda a aspectos de desarrollo de habilidades y conocimientos a través de instrumentos validados. En sus conclusiones resalta que es importante promover en los estudiantes habilidades de autorregulación y su participación en investigaciones, así como en las tareas y evaluaciones que enseñan a los estudiantes a pensar cómo ellos están pensando la química. De su trabajo se puede concluir que la inclusión de actividades de investigación para los estudiantes de pregrado promueve el desarrollo de habilidades que les permiten juzgar su propio desempeño, es decir, desarrollar autocrítica, establecer objetivos realistas y reflexionar sobre lo que han aprendido, aspectos que son importantes para el trabajo científico.

Por otro lado, América Latina muestra un panorama diferente a los países desarrollados en cuanto a su desempeño en investigación

científica; sin embargo, se han hecho esfuerzos para que los países latinoamericanos se sitúen en un contexto favorable en este campo. De hecho, el informe de la UNESCO sobre la ciencia (2018) establece que en los últimos años ha aumentado considerablemente el número de investigadores de tiempo completo en Costa Rica, Ecuador y Venezuela, mientras que otros países han experimentado un crecimiento menos vigoroso. Argentina sigue teniendo el mayor número de investigadores de tiempo completo por cada mil miembros de la población económicamente activa. La proporción de Argentina llega a doblar a la del Brasil y supera 3.4 veces a la de México. Aun así, Argentina tiene aún un largo camino por recorrer para ponerse a la altura de las economías desarrolladas.

Aunado a lo anterior, el informe también destaca que el número de artículos publicados por autores latinoamericanos en revistas científicas de corriente principal catalogadas en el Science Citation Index Extended aumentó un 90 % entre 2005 y 2014. El crecimiento más rápido se dio en Colombia, Ecuador, Perú y Brasil, y resultó más moderado en Argentina y México. A pesar del incremento del volumen de publicaciones latinoamericanas, su repercusión en la ciencia internacional de vanguardia sigue siendo modesta.

Así, la UNESCO describe el desarrollo científico de un país con base en diversos factores, dentro de los cuales se encuentran la inversión en ciencia y tecnología, pero resaltan más aquellos relacionados con el ámbito académico, como lo son el número de estudiantes que estudian en el extranjero y la coautoría con otros países, entre otros; y recalca que, para lograr avances en estos factores, el sector educativo debe orientar sus esfuerzos en la formación de personal calificado en ciencia y tecnología.

Uno de los esfuerzos hechos en este sentido lo encontramos en Ecuador donde, en 2008, una reforma a la Constitución de la República de Ecuador incluyó a la investigación científica como parte del sistema de educación superior. Posterior a la reforma, se observaron efectos positivos en la producción científica, en el proceso de evaluación institucional y en el nivel académico del claustro; y ejemplos fehacientes de ello son, entre otros, la Universidad Técnica de Ambato y la Facultad de Ciencias Humanas y de la Educación. Al respecto, Rivera et al. (2017) concluyen que un modelo educativo que incluya a la investigación científica en la formación de estudiantes universitarios eleva los estándares académicos lo que resulta en efectos positivos en materia de ciencia y tecnología para un país; sin embargo, subrayan que es necesario sensibilizar y motivar a los docentes [e incluso a aquellas personas encargadas del financiamiento] para que vean en la investigación una actividad cotidiana que forme parte de su función profesional.

Otro ejemplo, que pone en perspectiva la necesidad de incluir a la investigación científica en los programas de estudio en América Latina, es el de la Facultad de Odontología de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Perú, en donde Castro (2016) realizó una encuesta a los estudiantes de la Facultad para conocer su producción científica así como su percepción respecto a la investigación. El análisis de datos reflejó una alta participación de los alumnos en trabajos como monografías o tesis; sin embargo, la colaboración de los estudiantes en artículos publicados en revistas representa un porcentaje muy bajo. Lo anterior lleva a la conclusión de que uno de los problemas que afectan la producción científica, es que los investigadores nunca participaron en actividades científicas cuando eran estudiantes. Además es importante recalcar que se deben estrechar los lazos entre los alumnos de pregrado y las

instituciones dedicadas a realizar investigación independiente de una manera formal y organizada. Esto quiere decir que debe haber un compromiso por parte de las instituciones para crear programas que promuevan la participación de los alumnos en los trabajos de investigación y, por otro lado, los estudiantes deben comprometerse a dedicar parte de su tiempo en estas actividades en las que los docentes e investigadores estarán involucrados.

En el contexto mexicano, en 2004 se creó el Centro Universitario de los Lagos de la Universidad de Guadalajara, el cual, según Hernández et al. (2018), basa la formación académica de sus estudiantes en un modelo que contempla la investigación científica como uno de los ejes fundamentales para el desarrollo de una sociedad equitativa y democrática, entendiendo la investigación como la principal actividad sustantiva de la universidad pública mexicana, indispensable para elevar el nivel y calidad de la educación. En este sentido, en el 2009 la Universidad de Guadalajara aprobó su Plan de Desarrollo Institucional al año 2030, en el cual aparece la investigación como la línea estratégica principal de su labor, acompañada por las líneas de formación y docencia, entre otras. Al respecto, los autores destacan en su reporte los resultados del esfuerzo de los últimos 12 años del Centro Universitario de los Lagos, dentro de los cuales se encuentran: 1) el aumento del número de profesores reconocidos por el Sistema Nacional de Investigadores (SNI); 2) el establecimiento de vínculos de colaboración con centros de investigación de alto nivel; 3) el haber propiciado en los estudiantes universitarios el desarrollo de competencias que hacen que sean sensibles, que cuenten con capacidad crítica y que muestren una mentalidad abierta a las distintas manifestaciones culturales del mundo, sabedores del estado del arte de ellas y de la ciencia actual. Aunado a

ello, concluyen que el desarrollo de competencias para la investigación en estudiantes universitarios posibilitará la formación de nuevos recursos humanos en investigación a través de su incorporación temprana a ella.

No cabe duda de que algunas regiones de América Latina han tenido éxito en la implementación de diversos proyectos que promueven la formación científica en los estudiantes universitarios; sin embargo, la transición desde un modelo educativo tradicional a uno que inserte explícitamente la investigación científica en la formación de los estudiantes aún no se alcanza por completo, lo que destaca el hecho de que aún falta trabajo por hacer para alcanzar el alto nivel que actualmente tienen los países desarrollados. Lo anterior, sin duda, tiene raíces en la economía y en la política; sin embargo, no hay que olvidar que el desarrollo en ciencia depende especialmente de otros factores clave, como la calidad de la formación académica de los estudiantes universitarios y su acercamiento a la investigación científica, los cuales se verán favorecidos (o no) en función de cómo las universidades latinoamericanas gestionan esta formación académica y cómo abordan la investigación científica en sus programas educativos.

2. Planteamiento del problema de investigación

Actualmente la Facultad de Química (FQ) de la UNAM ofrece dos programas para el acercamiento a la investigación científica por parte de los estudiantes. El primero es el Programa de Estancias Cortas de Investigación (PECI), el cual va dirigido a alumnos de bachillerato y de licenciatura para darles la oportunidad de participar en un proyecto específico de laboratorio. Por otro lado, los estudiantes cursan el segundo

programa al tomar diversas materias obligatorias (p. ej. Estancia Estudiantil) que dependen de cada una de las carreras que ofrece la Facultad (Química, Ingeniería Química, Ingeniería Química Metalúrgica, Química Farmacéutica Biológica, Química de Alimentos y Química e Ingeniería en Materiales); su objetivo es que los alumnos apliquen los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera para desarrollar un trabajo de investigación. No obstante, no es garantía que todos los estudiantes que ingresan a la FQ hayan participado, por ejemplo, en el PECEI.

Aunado a lo anterior, las asignaturas de los dos primeros semestres constituyen un tronco común para todas las carreras. En particular, la asignatura de *Química General 2* (QG2), tiene como objetivo abordar los conocimientos fundamentales de la química y gestionar un buen inicio del desarrollo de habilidades para el trabajo experimental; sin embargo, no contiene explícitamente la enseñanza de habilidades de investigación científica, lo cual resulta en un problema para los alumnos, porque continuamente se les exige desempeñar estas habilidades en distintas actividades que pueden ir desde proponer modificaciones a los diseños establecidos hasta entregar informes de prácticas cuyo contenido abarca desde el planteamiento de hipótesis y la propuesta de diseños experimentales, hasta la redacción de análisis de resultados y conclusiones.

Pregunta de investigación

¿Qué pasaría con las habilidades de investigación que debieran de adquirir los alumnos que cursan una carrera de química si las actividades experimentales desde sus primeros semestres se diseñan con la intención de generar y fomentar dichas habilidades?

Hipótesis

Si en el Laboratorio de Química General 2 se utiliza un protocolo experimental acompañado de un énfasis explícito en las habilidades de investigación científica entonces será posible promover el desarrollo de estas en los estudiantes.

Objetivo

Documentar y analizar el desarrollo de habilidades de investigación científica en estudiantes en su primer año de formación en el que cursan el Laboratorio de Química General 2.

3. Exposición y fundamentación teórica

En ciencia, la actividad fundamental es la investigación de uno o diversos fenómenos con el propósito de comprender su naturaleza, o bien de aplicarlo(s) y sacar provecho de sus características; sin embargo, para que un trabajo de investigación tenga bases sólidas es necesario que se encuentre bien estructurado y que siga un método reproducible. En palabras de Rodríguez y Pérez (2017), "el método es un modo de alcanzar un objetivo, es el cómo se organiza una actividad. Como medio de cognición, es la vía empleada para reflejar en el pensamiento el objeto de estudio. Los métodos que se pueden emplear en el proceso investigativo son múltiples y variados, determinados en última instancia por el objeto de estudio. Cada uno de los métodos de investigación tributa a la búsqueda y el perfeccionamiento del conocimiento acerca de la realidad y a su vez tiene su forma particular de acercamiento al objeto." (p. 181).

Uno de los métodos más utilizados en ciencia es el llamado método científico, propuesto en el positivismo lógico como único método con pasos específicos a seguir de forma secuencial. Arias (2012) explica que "el método científico puede ser utilizado como vía flexible por la mayoría de las ciencias fácticas en la actualidad" (p.19). De acuerdo con Figueroa et al. (2014) "el método científico se entiende como el estudio sistemático, controlado, empírico y crítico de proposiciones hipotéticas referentes a presuntas relaciones entre varios fenómenos. Es un procedimiento aplicado a las ciencias, que inicia con la observación y posee las siguientes características: es fáctico, hace trascender los hechos, es verificable, autocorrectivo y objetivo y está sustentado en la reproducibilidad y la falsabilidad" (p.5).

Hoy en día en la ciencia se reconoce una gran variedad de métodos científicos; es decir, que no hay un único método para la obtención del conocimiento científico. Para Rodríguez y Pérez (2017, p. 182), "el conocimiento empírico es aquel tomado de la práctica, analizado y sistematizado por vía experimental, mediante la observación reiterada y la experimentación. Constituye la primera etapa del conocimiento, donde el hombre obtiene el reflejo del mundo circundante a través de sensaciones, percepciones y representaciones". Por otro lado, mencionan que "el conocimiento teórico constituye el segundo nivel, donde, mediante los procesos lógicos del pensamiento, el hombre analiza, sintetiza, generaliza y extrae conclusiones sobre la esencia y los vínculos internos de los procesos, hechos y fenómenos, para explicarlos y descubrir las leyes que los rigen y poder agruparlos en un sistema único que son las teorías" (p.182). Estos autores hacen énfasis en que "la importancia de lo empírico en el método científico se evidencia principalmente porque pone en contacto con los objetos y fenómenos reales, proporciona pistas

para formular hipótesis y datos para la construcción de conocimientos y conduce a la verificación de las hipótesis previamente formuladas. El dato empírico proporciona las pistas para llegar al conocimiento racional, pero no debe confundirse ese dato singular con la unidad producida en el concepto, ni mucho menos con las derivaciones producidas en el raciocinio. El significado de esos datos singulares y sus relaciones se obtienen por medio del entendimiento o la razón. Por ello, además del nivel sensible, el método científico para la construcción del conocimiento requiere de un aspecto racional. Éste se refiere al uso de la razón para la búsqueda de información teórica, la elaboración de hipótesis, conceptos, leyes y teorías, la expresión abstracta de los resultados empíricos y para la inferencia de conclusiones; por ejemplo, la hipótesis es una relación universal y su formulación no podría realizarse con base exclusiva en el conocimiento empírico, sino que requiere una actividad superior: el raciocinio” (p. 183).

Como se ha mencionado, hoy en día se habla de una amplia variedad de métodos científicos, y si bien cada uno de ellos cuenta con diferentes componentes que pueden llevarse a cabo o no de forma secuencial, poseen entre sí similitudes en su estructura que toman en cuenta varios de estos componentes sin importar qué método se ocupe para realizar una investigación. Particularmente, en este trabajo se entiende por “componentes” a aquellos pasos o etapas que, en conjunto, forman una investigación científica.

A continuación, se presentan los aportes de Figueroa et al. (2014), LaPlaca (2017), Rivas (2011) y Reyes y García (2014), quienes en sus trabajos explicitan los componentes que pueden ser llevados a cabo por estudiantes de primeros semestres y que además se consideran

importantes para trabajar desde la formación inicial para las licenciaturas de química y afines.

1. Componentes de los métodos científicos y habilidades de investigación relacionadas

Figuroa et al. (2014), en su Introducción a la Metodología Experimental, mencionan que “el método experimental se aplica principalmente a las ciencias naturales y se basa en la observación de fenómenos, así como en la realización de experimentos. Utiliza varios métodos como la inducción, deducción y estadística, según lo requiera la naturaleza del experimento” (p.6). De acuerdo con estos autores los componentes del método experimental son:

1. Definición del problema	<p>Debe ser el inicio de la planeación de un experimento y se debe definir el objetivo con precisión, formulando claramente el problema que se requiera resolver. Contempla los siguientes aspectos:</p> <p>a. Observación del fenómeno: “Se observa el fenómeno detenidamente y se formulan las preguntas e hipótesis” (Figuroa, 2014, p. 6).</p> <p>b. Consulta bibliográfica: “Una vez establecida la pregunta [o problema por resolver] es necesario consultar lo que se ha hecho en casos parecidos (marco teórico). Consultar la bibliografía permite conocer los antecedentes y el estado actual del problema, es decir, qué y cómo se ha hecho y, sobre todo, sirve para determinar si la investigación que se plantea es una confirmación o una extensión de otro trabajo científico” (Figuroa, 2014, p. 6).</p> <p>Al respecto LaPlaca (2017) detalla que un artículo científico en la introducción “debe presentar un marco de referencia completo incluyendo</p>
----------------------------	--

	<p>desarrollo histórico, estado actual de conocimiento y orientación teórica. Además, debe establecer los conceptos que soporten a la investigación realizada” (p.3).</p> <p>c. Importancia: “Se determina la relevancia de la investigación, su trascendencia y aportación al conocimiento científico” (Figueroa, 2014, p. 7).</p> <p>d. Objetivos: “Es la manera en la que se responderán las preguntas [o cómo se resolverán los problemas de investigación], cómo se comprobará la hipótesis [en caso de que se haya planteado] y los efectos que se deberán estimar (redactados en términos precisos)” (Figueroa, 2014, p. 7).</p>
<p>2. Hipótesis de trabajo.</p>	<p>“Es una predicción para explicar cómo o por qué sucede un fenómeno y de la cual se busca [un procedimiento para analizar el problema o una] comprobación (o negación) por medio de un experimento.” (Figueroa, 2014, p. 7).</p> <p>Álvarez–Dardet et <i>al.</i> (2018) establecen que una forma de redactar la hipótesis es a través de la analogía y razonamiento lógico (Si A está relacionado con B, quizás esté relacionado con C y D). Por otra parte, LaPlaca (2017) considera que la hipótesis “debe derivarse del marco teórico, y al mismo tiempo centrarse en una sola suposición que pueda ser comprobada experimentalmente” (p.4).</p> <p>En este trabajo se considera que una forma clara, sencilla y concisa para redactar una hipótesis experimental, es haciendo uso del razonamiento lógico sin descuidar la relación de ésta con el marco teórico, resultando en una estructura similar a la que establecen Álvarez–Dardet et <i>al.</i> (Si se realiza A, entonces se obtendrá B porque la teoría establece C).</p>

<p>3. Diseño del experimento.</p>	<p>“Es la elección del procedimiento experimental y los instrumentos capaces de medir y controlar las variables del fenómeno que se va a estudiar”. Por lo que es necesario considerar la disponibilidad de: a) el equipo de medición y su precisión, b) el tiempo y c) los recursos. (Figuroa, 2014, p.7). La elaboración de esta sección requiere que el investigador sepa detectar cuando un diseño experimental es adecuado para la investigación que se está llevando a cabo, y que al mismo tiempo posea las habilidades necesarias para realizar cambios y así adecuar el experimento al propósito de la investigación.</p>
<p>4. Desarrollo del experimento, registro de datos y resultados.</p>	<p>Una vez realizado el experimento de prueba y la interpretación tentativa de resultados, se realiza el experimento final cuidando el registro sistemático de datos en tablas o gráficos que permitan detectar cualquier anomalía que se presente durante el desarrollo del mismo. Esta sección, Figuroa (2014) la nombra “realización del experimento”.</p> <p>LaPlaca (2017) menciona que, cuando se escribe un artículo, la sección de resultados “es la presentación descriptiva de lo que se descubrió en la investigación” (p.6). Añade que se pueden incluir figuras y tablas, siempre y cuando no dupliquen la información descrita en otra parte del artículo. “Deben usarse escalas bien seleccionadas, tamaños de etiquetas de eje apropiados, símbolos legibles, y conjuntos de datos fáciles de discriminar” (LaPlaca, 2017, p.7).</p>
<p>5. Análisis de resultados.</p>	<p>“La interpretación de resultados, ya sean valores, gráficas, tabulaciones u otros, debe contestar con la mayor claridad posible las preguntas planteadas durante la definición del problema” (Figuroa, 2014, p. 7).</p>

	<p>Por su parte, LaPlaca (2017) recomienda que al elaborar el escrito la sección de análisis de resultados “debe considerar la justificación de cómo se confirma la contribución de la investigación al conocimiento descrito en la secciones anteriores”. Se deben relacionar los hallazgos con el marco de referencia y el desarrollo teórico establecido.</p>
<p>6. Conclusiones.</p>	<p>“Con los resultados del experimento el investigador hace [elabora] sus propias conclusiones... También es posible que se hagan conjeturas acerca de un modelo o se proponga la creación de otro nuevo, lo cual conduce a un problema diferente” (Figueroa, 2014).</p> <p>Una precisión adicional se puede encontrar en el artículo de LaPlaca (2017), quien detalla que en el contenido de los artículos científicos, “la conclusión debe ser global y específica en relación con los objetivos de investigación. Así mismo, debe mostrar cómo se han respondido las preguntas de investigación y comentar cuál fue la contribución al conocimiento existente. Se debe demostrar por qué la investigación es significativa e importante en el campo al cual pertenece el tema de investigación”.</p>
<p>7. Elaboración del informe.</p>	<p>“El informe es aquél en el que se comunican los resultados a la comunidad científica, y constituye una pieza útil para la evolución de la ciencia. Su realización debe ser clara; es necesario tener presente en todo momento al lector a quien va dirigido el trabajo, para así determinar el nivel académico del lenguaje que conviene utilizar” (Figueroa, 2014, p. 7).</p> <p>Los párrafos anteriores en los que se presentan las consideraciones de LaPlaca para la redacción de un artículo coinciden en cierta medida; sin embargo, cabe mencionar que son diferentes. En ambos casos</p>

	es relevante considerar el lector al que va dirigido y, por lo tanto, la forma del texto y su contenido se organizarán de distinta manera.
--	--

Entonces, de acuerdo con Figueroa (2014), hay siete componentes (los mencionados en la tabla anterior) relevantes en una investigación científica, comenzando con la determinación del problema de investigación hasta llegar a la redacción del informe.

Ya establecidos los componentes relevantes de una investigación científica, es importante señalar que el conocerlos no es suficiente para que ésta se lleve a cabo de manera exitosa, también es necesario que los investigadores desarrollen habilidades para poder afrontar los obstáculos que el proceso de investigación pueda presentar. Rivas (2011) reflexiona sobre las competencias que un investigador debe poseer, aclarando que “hay cierto problema en definir lo que es ser un investigador, pues dependiendo del campo de la ciencia, los conocimientos cambian, así como las habilidades y los rasgos de personalidad” (p.36). El investigador debe adquirir distintas habilidades científicas desde el momento en que comienza su formación académica para realizar un trabajo de investigación. Rivas (2011) documenta que hay muchos tipos de investigaciones y, por lo tanto, las actividades varían; sin embargo, establece nueve competencias a desarrollar independientemente del área de desarrollo:

- 1) *Plantear un problema.*
- 2) *Elaborar un marco contextual.*
- 3) *Revisar el estado del arte (conocer la literatura y los hallazgos realizados sobre el tema).*
- 4) *Crear y validar un instrumento de recolección de datos.*

- 5) *Construir y validar modelos.*
- 6) *Dominar técnicas de análisis de datos.*
- 7) *Dominar el estilo de redacción científica.*
- 8) *Presentar trabajos de investigación en congresos.*
- 9) *[Promover el conocimiento] de idiomas, arte y cultura universal (p.39).*

Por otro lado, Reyes et al. (2014) mencionan que “es factible suponer que la ciencia, en su proceso, se compone de fases en las que: 1) se identifica un problema de investigación o fenómeno por investigar para el cual se 2) generan formas de abordarlo y analizarlo y cuyos 3) resultados son socializados; estos resultados eventualmente pueden ser utilizados para definir nuevos proyectos de investigación. De este modo, hacer ciencia hoy en día se puede considerar como un proceso que reúne un conjunto de habilidades” (p. 275–276).

Desde esta perspectiva, “las habilidades de proceso científico constituyen el conjunto de habilidades básicas por desarrollar a fin de abordar un problema en el contexto científico-técnico actual. Este grupo de habilidades generales involucra la inferencia, la exploración, la experimentación (falsación de hipótesis, control de variables, etc.), el registro de observaciones o datos, la clasificación, la predicción, el uso de modelos explicativos-predictivos, el análisis, la síntesis, la evaluación de respuestas o modelos alternativos. También involucra el trabajo individual o colectivo para la investigación o el desarrollo en los ámbitos científico-técnico” (Reyes et al., 2014, p. 277). Adicionalmente, Di Mauro et al. (2015) definen a una habilidad científica como “la facultad de una persona de aplicar procedimientos cognitivos específicos relacionados con las formas en las que se construye conocimiento científico en el área de las ciencias naturales”.

En concordancia con los autores anteriores, en este trabajo se entiende por habilidades de investigación científica a las facultades de una persona para llevar a cabo actividades de pensamiento relacionadas con el razonamiento y los procedimientos necesarios con el objetivo de resolver problemas en el ámbito científico o construir conocimiento en este mismo. Estas habilidades están relacionadas con los componentes de una investigación y se ven reflejadas en la complejidad con la que los alumnos desarrollan el marco teórico, la hipótesis, el diseño experimental, el registro de datos experimentales, el análisis de resultados y las conclusiones.

Etkina et *al.* (2006) mencionan que el aprendizaje de los alumnos universitarios en Estados Unidos no es evaluado sólo con el grado de comprensión de conceptos teóricos y cálculos cuantitativos, sino que también se evalúa su habilidad para identificar preguntas de investigación, diseñar y conducir investigaciones científicas, formular y revisar explicaciones y modelos científicos con base en la lógica y la evidencia, entre otras. Además, para ayudar a los estudiantes a desarrollar estas habilidades es necesario incluirlos en actividades apropiadas y encontrar caminos para evaluar su desempeño en estas tareas, así como proporcionarles retroalimentación en el tiempo oportuno. Una manera de evaluar el desempeño de los alumnos es a través de rúbricas, las cuales contienen descripciones de diferentes niveles de desempeño. El instructor puede usar estas rúbricas para evaluar la respuesta de los alumnos y así proporcionar retroalimentación.

En un estudio de caso, Rosa (2019) evaluó el desarrollo de habilidades de investigación científica en 117 estudiantes divididos en doce grupos. Este estudio tiene implícita la pregunta de investigación:

¿Qué pasaría si, en un trabajo de investigación, a tres grupos se les pidiera que partieran de una pregunta investigable, mientras que a otros nueve grupos no se les solicitara esto? La investigación que los doce grupos debían realizar consistió en observar los cambios en los estadios de crecimiento y reproductivos en una especie de angiosperma del predio de la universidad. Los resultados del estudio apuntan que el explicitar a los alumnos que inicien con su investigación partiendo de una pregunta investigable fomenta el desarrollo de habilidades específicas relacionadas con un proceso de indagación, como lo es la elaboración de hipótesis. Además, concluye que existen otras habilidades relacionadas con los procesos de las ciencias que también deben adquirir los estudiantes para comprender y familiarizarse con la metodología científica, como por ejemplo el diseño de experimentos o la interpretación de datos.

De acuerdo con Casal (2013), los trabajos prácticos de laboratorio no alcanzan por completo sus objetivos de enseñanza en habilidades de investigación científica debido a dos factores. El primero es que los trabajos que se realizan son principalmente actividades demostrativas o ilustrativas en las que los alumnos asumen el papel de espectadores y la ejecución acrítica de "recetas de cocina" sin implicarse intelectualmente. El segundo factor por considerar es que no se aplican estrategias para ayudar al alumnado a consolidar las habilidades de razonamiento o los conocimientos adquiridos en las actividades de indagación.

En su estudio, Casal (2013) implementó, en 7 grupos cada uno con 15 alumnos, una didáctica que se basó en realizar una secuencia de apertura experimental tomando como referencia los apartados de un artículo científico (Introducción, Material y Métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones), pero compactado en tres actividades: en un

primer trabajo práctico, todo el experimento está cerrado excepto las conclusiones; en el segundo y en el tercero, se van «abriendo» a la decisión del alumnado otras partes del proceso (como la discusión y las conclusiones, los resultados, las estrategias experimentales, la hipótesis, y así sucesivamente hasta los objetivos), de modo que el alumno protagoniza cada vez una parte mayor y más fundamental del proceso, y adquiere paulatinamente las habilidades requeridas. De este trabajo el autor concluye que a lo largo de la secuencia didáctica el alumnado progresa significativamente en las habilidades de formulación de hipótesis y diseño de experimentos. Así mismo, después de la secuencia didáctica, los alumnos se muestran mucho más capaces de identificar qué tipo de información son resultados (observaciones) y qué tipo de información son inferencias de estos resultados (discusión y conclusiones), un proceso en el que muestran especiales dificultades durante las actividades introductorias previas.

Los estudios anteriores dan cuenta de que los protocolos experimentales que explicitan el ejercicio del planteamiento de preguntas de investigación o bien que dan protagonismo a los alumnos en la realización de una investigación científica, promueven el desarrollo de habilidades científicas. En este trabajo se construyeron y llevaron a cabo dos protocolos experimentales que hacen énfasis explícito tanto en el protagonismo del alumno como en el ejercicio de las habilidades de investigación que se mencionaron anteriormente.

c) Fundamentación de contenido científico: La titulación química.

Felber et *al.* (2003) establecen que “la titulación química ha sido desarrollada y extendida a una gran variedad de procesos. Está basada en un esquema simple de reacción: una cantidad desconocida de una

sustancia A disuelta reacciona con una cantidad conocida de una sustancia B hasta que se alcanza la equivalencia. Dicha reacción es observada al medir una señal que es generada específicamente por los reactivos o los productos. En el curso de la reacción, la aparición o desaparición de una señal elegida indica el punto final de la misma, el cual debe ser lo más cercano posible al punto de equivalencia. La reacción debe cumplir con ciertos requisitos para poder realizar una titulación química. Debe ser rápida, con una estequiometría conocida y dar lugar a un producto estable. Debe ser completa, por lo que ambas direcciones de la reacción no pueden ocurrir” (p. 249).

Raviolo y Farré (2017) afirman que la temática ácido-base es conceptualmente densa porque requiere una comprensión integrada de muchas áreas de la química general, tales como: naturaleza corpuscular de la materia, teoría cinético-molecular, naturaleza y composición de las disoluciones, estructura atómica, ionización, enlaces iónicos y covalentes, símbolos, fórmulas y ecuaciones, equilibrio químico y teoría de colisiones.

Según Haláková y Prokša (2007), las preguntas conceptuales presentan una situación química en la que los estudiantes no suelen ser instruidos. Estas preguntas exigen a los estudiantes justificar una elección, predecir lo que pasará después, explicar por qué y cómo es que sucede cierto fenómeno, y extraer resultados útiles desde un exceso de información. El uso de este tipo de preguntas es una estrategia que puede orientar a los estudiantes a obtener un conocimiento más profundo, mejorar su comprensión y habilidad para aplicar ese conocimiento en nuevas situaciones, desarrollar su pensamiento crítico e incrementar su entusiasmo por la ciencia.

En este trabajo de investigación el material educativo construido

será analizado primordialmente desde el desarrollo de habilidades de investigación científica por parte de los estudiantes, así como desde la construcción conceptual que busca que los alumnos incorporen los conceptos que se emplean en una titulación volumétrica y analicen la relevancia de cada uno de ellos.

4. Metodología

La metodología de esta investigación se realizó desde un enfoque cualitativo con el objetivo de documentar y analizar el desarrollo de habilidades de investigación científica en estudiantes en su primer año de formación en el que cursan el Laboratorio de Química General 2.

a) Muestra

Los participantes de esta investigación se dividieron en dos grupos de alumnos que cursaban el Laboratorio de Química General 2 (LQG2), conducidos por dos profesores diferentes. El proceso de selección e inscripción a cada grupo de laboratorio fue decisión de los alumnos, o sea que todos ellos eligieron trabajar con su docente. Todos los alumnos cursaron la asignatura conforme al avance curricular del tronco común, por lo que hubo estudiantes de las seis carreras que ofrece la Facultad de Química. Los profesores de ambos grupos participaron de manera voluntaria y tienen más de 15 años de experiencia docente. Ambos contaron con el apoyo de alumnos de semestres superiores que fungieron como asesores de cada grupo, ya que han trabajado con los profesores a lo largo de varios semestres, y sus actividades como asesores se han acoplado a la forma de trabajo de los docentes.

El grupo 1 (G1) constó de 18 alumnos y contó con el apoyo de cuatro

alumnos asesores y un estudiante de maestría inscrito en un programa institucional de formación de profesores de la Facultad de Química, mientras que el grupo 2 (G2) constó de 17 alumnos y contó con el apoyo de tres alumnos asesores y un estudiante de maestría. Todos los participantes, alumnos, profesores y asesores fueron notificados oportunamente de su participación en el estudio y todos estuvieron de acuerdo.

Los grupos trabajaron en el mismo laboratorio, en horarios diferentes, dos días a la semana con sesiones de dos horas cada una. Cabe destacar que, si bien las prácticas docentes fueron individuales, ambos profesores utilizaron el mismo protocolo experimental y la misma estrategia de implementación y, además, de manera regular, trabajaron bajo las mismas estrategias de enseñanza con el cuidado de que ningún alumno se rezagara con el aprendizaje conceptual o práctico.

b) Descripción del material educativo

De la misma manera que Casal (2013) propone materiales educativos que aumentan gradualmente la participación de los alumnos en una investigación, en este trabajo se construyeron dos materiales educativos dirigidos a alumnos que desconocen por completo la técnica de titulación, siendo el segundo material uno con mayor demanda para los alumnos en todas las habilidades de investigación científica:

1) El protocolo 1 (P1) "Introducción a la técnica de titulación química"

Se implementó como la primera práctica del curso de LQG2. En este se plantea a los alumnos, de manera inicial, una situación que los ayuda a reflexionar sobre cómo podrían comprobar que una tableta de ácido acetilsalicílico contiene la masa (mg) de ácido indicada en la etiqueta del

producto. Posteriormente, se les pide indagar en la literatura para responder un cuestionario de conceptos sobre titulación química y el tema ácido-base, así como proponer una metodología para llevar a cabo una titulación química.

El reto experimental planteado consiste en que los alumnos lleven a cabo la titulación de un ácido monoprótico fuerte con una base fuerte; en donde: 1) pueden seleccionar un indicador (fenolftaleína o indicador universal) para observar el punto final de la titulación; y 2) deben elegir la concentración del titulante de acuerdo con los cálculos de volumen de titulante estimado a gastar en el experimento. Finalmente, los alumnos deben realizar un análisis de los resultados experimentales obtenidos, comparando gráficas de volumen de titulante añadido vs. pH relacionado con el color observado, tanto con fenolftaleína como con indicador universal. Al finalizar se entrega un informe completo, que incluya la solución al problema de concentración del principio activo en un medicamento planteado inicialmente.

2) El protocolo 2 (P2), "Determinación de la concentración del principio activo en un medicamento".

Se implementó como un examen experimental y se realizó tres semanas después de haber terminado con el protocolo 1. En el examen se plantea una situación inicial hipotética que atiende a una queja por falta de efecto terapéutico, presentada por un paciente a una farmacéutica encargada de manufacturar y distribuir tabletas de ácido acetilsalicílico. En este escenario se le encarga al laboratorio de control de calidad (en este caso los propios alumnos) llevar a cabo una titulación ácido-base para que dictaminen si la tableta cumple con la concentración que la etiqueta del producto indica. Los alumnos deben proponer el procedimiento

experimental, así como todos los materiales necesarios para llevar a cabo el experimento. El informe final debe incluir antecedentes, hipótesis, objetivo, procedimiento experimental, resultados, discusión y conclusión. Adicionalmente deben redactar una carta de conclusión como respuesta al cliente que reportó la queja.

De acuerdo con lo anterior, los alumnos entregaron cuatro documentos que se emplearon como instrumentos de evaluación de los protocolos experimentales, los cuales se enlistan a continuación y se resumen en la Tabla 1:

Tabla 1. Documentos entregables de los protocolos implementados.

Protocolo 1 "Introducción a la técnica de titulación química"	Documento 1 (D1)	Se realizó durante la primera sesión de trabajo. Incluye la propuesta de solución al planteamiento de la situación inicial y el avance de la investigación previa sobre el contenido disciplinar y conocimiento general de la técnica de titulación.
	Documento 2 (D2)	Se realizó en la segunda sesión de trabajo. Incluye el diagrama de flujo del trabajo experimental, la elección de la concentración del titulante a utilizar, incluyendo la argumentación que sustenta dicha elección y la primera presentación de los datos experimentales obtenidos.
	Reporte final del protocolo 1 (D3)	Contiene todo el trabajo elaborado en D1 y D2, además de los componentes que no se les solicitaron en estos dos primeros documentos. Así, el contenido de D3 se conforma por: marco teórico, hipótesis, diseño experimental, resultados, discusión y conclusiones.
Protocolo 2 "Determinación de la concentración del principio activo"	Informe del examen experimental (EX)	Este documento incluye las mismas secciones que D3, desde el marco teórico hasta las conclusiones sobre los resultados experimentales obtenidos por los alumnos.

en un medicamento”		
--------------------	--	--

Cabe destacar que, en los materiales educativos, ya se incluía la pregunta de investigación, por lo que no es un eje de análisis en este trabajo. Dependiendo del documento entregable, se esperaba que los alumnos desarrollaran las habilidades de investigación científica que se encuentran descritas en la Tabla 2.

Tabla 2. Relación de materiales educativos, entregables y habilidades de investigación científica.

HABILIDADES DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA A DESARROLLAR	PROTOCOLO 1			PROTOCOLO 2
	D1	D2	D3	EX
Documentarse e informarse acerca del marco contextual que permea el fenómeno estudiado.	Sí	No	Sí	Sí
Revisar el estado del arte (conocer la literatura y los hallazgos realizados sobre el tema).	Sí	No	Sí	Sí
Plantear una hipótesis acerca del experimento a realizar.	No	No	Sí	Sí
Proponer o adecuar un diseño experimental.	Sí	Sí o lo modifican	No	Sí
Proponer una forma de recolección de datos.	No	Sí	Sí	Sí
Construir explicaciones/modelos.	No	No	Sí	Sí
Realizar análisis de datos.	No	No	Sí	Sí
Iniciarse y practicar la redacción necesaria para compartir sus hallazgos (redacción científica).	No	Sí	Sí	Sí

c) Categorías de análisis

Si bien los estudiantes desarrollaron las habilidades de investigación

científica a lo largo de todas las actividades realizadas en el laboratorio, para esta investigación se decidió hacer el análisis sobre los documentos escritos, ya que se trata de la evidencia física que avala los resultados de este trabajo. Los ejes de análisis permiten documentar el desempeño de los estudiantes en los materiales educativos empleados, y se encuentran en la Tabla 3.

Tabla 3. Ejes de análisis del desempeño de los estudiantes en los materiales educativos.

Eje de Análisis (EA)	Componentes de los documentos escritos asociados a las habilidades de investigación científica	Habilidades de investigación científica	Aspecto por revisar
EA1	Marco teórico	Documentarse e informarse del marco contextual que permea el fenómeno estudiado.	Contenido y desarrollo
		Revisar el estado del arte (conocer la literatura y los hallazgos realizados sobre el tema).	
EA2	Hipótesis	Plantear una hipótesis acerca del experimento a realizar.	Estructura semántica
			Vinculada con el marco teórico
EA3 A	Diseño experimental	Proponer o adecuar un diseño experimental.	El alumno propone su propio diseño experimental.
EA3 B			El alumno modifica el diseño dado
EA4 A	Realización del experimento	Proponer una forma de recolección de datos.	Aplicación adecuada de las técnicas
EA4 B			Recopilación ordenada de resultados y

			observaciones en la bitácora
EA5	Análisis e interpretación	Realizar análisis de datos.	Interpreta datos durante el desarrollo experimental
EA6	Conclusiones	Construir explicaciones/modelos.	Genera conclusiones con base en la relación entre los resultados experimentales, hipótesis, y objetivos.
EA7	Hipótesis	Plantear una hipótesis acerca del experimento realizado.	Formula una nueva hipótesis basada en los resultados de la investigación.

Estas categorías surgen del análisis de la información que se presenta en el marco teórico y atienden a los rubros más importantes mencionados por Figueroa et al. (2014), LaPlaca (2017), Reyes et al. (2014), así como Rivas (2011); sin embargo, se ha omitido la evaluación de la habilidad de los alumnos para “presentar trabajos de investigación en congresos” y aquella relacionada con “Idiomas y conocimientos de arte y cultura universal” ya que al tratarse de alumnos de primer ingreso es complicado llevarlas a cabo. Además, se vio necesaria la incorporación de “conclusiones” como elemento a evaluar ya que atiende a la habilidad de los estudiantes de comunicar sus hallazgos en forma escrita, a ser concisos y a evaluar si su hipótesis es contestada con los resultados obtenidos.

Se construyó una escala tipo Likert (Tabla 4) con 5 niveles para evaluar cada una de las categorías de análisis aplicables en cada documento entregable, ya que es una herramienta de medición ordenada que permite observar el grado de desarrollo de las habilidades de

investigación científica que los alumnos tuvieron desde que iniciaron el protocolo 1 hasta que finalizaron el examen experimental, lo cual no limita a una evaluación dicotómica de “bien o mal”.

Tabla 4. Categorías y nivel de desarrollo de las habilidades de investigación científica en escala Likert.

Eje de Análisis (EA)	Habilidad de investigación científica	Aspecto por evaluar	Niveles de desarrollo en escala tipo Likert
EA1	Marco teórico	Contenido y desarrollo	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay un marco teórico. 2. Hay un texto al que nombran marco teórico, pero no lo contiene. 3. Hay un marco teórico con conceptos generales relacionados parcialmente con el tema de investigación. 4. El marco teórico incluye conceptos relacionados con el tema de investigación, pero carece de referencias bibliográficas. 5. El marco teórico sustenta todo el trabajo de investigación, incluye un desarrollo histórico y estado actual de conocimiento, y contiene referencias bibliográficas.
EA2	Hipótesis	Estructura semántica.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay hipótesis. 2. Hay un enunciado que no es una hipótesis. 3. Mencionan qué va a pasar sin la condición ni la explicación (no hay “Si” ni “Porque”). 4. Enuncian: “Si ..., entonces ...” sin justificación. 5. Enuncian: “Si..., entonces...” con justificación.
		Vinculada con el marco teórico.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay una hipótesis. 2. Hay una hipótesis, pero no un marco teórico. 3. Hay una hipótesis y marco teórico, pero no se vinculan. 4. Hay una hipótesis y un marco teórico que se vinculan, pero la hipótesis no

			<p>requiere de un experimento para ser confrontada.</p> <p>5. La hipótesis se vincula con el marco teórico y requiere resultados obtenidos experimentalmente para ser confrontada.</p>
EA3 A	Diseño experimental	El alumno propone su propio diseño experimental.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No diseña. 2. El diseño experimental es ambiguo. No contiene los materiales a utilizar, no realizan cálculos y no detallan la técnica a realizar. 3. Propone uno de tres elementos del diseño experimental (el uso de los instrumentos y materiales a utilizar, realizar cálculos o el procedimiento de la técnica a realizar). 4. Propone dos de tres elementos del diseño experimental (el uso de los instrumentos y materiales a utilizar, realizar cálculos o el procedimiento de la técnica a realizar). 5. Propone el uso de los instrumentos y materiales a utilizar, realiza cálculos necesarios y detallan el procedimiento de la técnica a realizar.
EA3 B		El alumno modifica el diseño dado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No modifica. 2. Los alumnos realizan una modificación del diseño pero no está documentada en el reporte, sin embargo los resultados dan cuenta de ella. 3. Propone la modificación de uno de tres elementos del diseño experimental (el uso de los instrumentos y materiales a utilizar, realizar cálculos o el procedimiento de la técnica a realizar). 4. Propone la modificación de dos de tres elementos del diseño experimental (el uso de los instrumentos y materiales a utilizar, realizar cálculos o el procedimiento de la técnica a realizar).

			<ol style="list-style-type: none"> Propone la modificación de los instrumentos y materiales a utilizar, realiza cálculos necesarios y detallan el procedimiento de la técnica a realizar.
EA4 A	Realización del experimento	Aplicación adecuada de las técnicas.	<ol style="list-style-type: none"> Se desconoce casi por completo el uso de los aparatos y técnicas involucrados. Se hace un uso inadecuado de los aparatos o hay una mala ejecución en la técnica. Se hace un uso adecuado de los aparatos y las técnicas, pero se cometen algunos fallos ocasionales. Los resultados y observaciones recopilados se obtienen adecuadamente y a medida que el experimento se desarrolla. Uso excelente de los aparatos involucrados y excelente ejecución de la técnica.
EA4 B		Recopilación ordenada de resultados y observaciones en la bitácora.	<ol style="list-style-type: none"> La recopilación de datos es de baja calidad. Hay pocos datos y no están organizados. Algunos resultados y observaciones son olvidados u omitidos, no hay una metodología para la recopilación de estos. La recopilación es deficiente, se tienen problemas para organizar todos los resultados. La recopilación sigue un proceso, pero algunas veces no se sigue adecuadamente. Los resultados y observaciones recopilados se obtienen adecuadamente y a medida que el experimento se desarrolla.
EA5	Análisis e interpretación	Interpreta los datos experimentales obtenidos.	<ol style="list-style-type: none"> Hay una nula interpretación de los datos obtenidos o no existe. Se interpretan los datos, pero es difícil obtener una conclusión u obtener relaciones.

			<ol style="list-style-type: none"> 3. Algunos datos se interpretan sin metodología y algunos otros presentan estructuras que permiten obtener algunas conclusiones. 4. Los datos son interpretados y se obtienen resultados parciales. 5. Los datos son adecuadamente interpretados y se generan explicaciones en congruencia.
EA6	Conclusiones	Genera conclusiones sobre la investigación realizada.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay una conclusión. 2. Hay un enunciado que no es una conclusión de la investigación realizada. 3. La conclusión planteada está relacionada con una de tres secciones de la investigación (resultados, objetivos o hipótesis). 4. La conclusión está relacionada con dos o tres secciones de la investigación (resultados, objetivos o hipótesis). 5. La conclusión está relacionada de forma congruente con los resultados, los objetivos y la hipótesis; es detallada e incluye propuestas de mejora para investigaciones relacionadas futuras.
EA7	Hipótesis	Formula una nueva hipótesis con miras a una nueva investigación.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay hipótesis. 2. Hay un enunciado que no es hipótesis. 3. Enuncian: (Entonces), no hay "Si" ni "Porque". 4. Enuncian: "Si ..., entonces ..." sin justificación. 5. Enuncian: "Si..., entonces..." con justificación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados derivados del análisis de los documentos asociados a los protocolos P1 y P2. Como se presentó en la Tabla 1 de la sección anterior, no todos los ejes de análisis se

encuentran en todos los documentos, por lo que para cada eje se presentan únicamente los resultados obtenidos de los documentos aplicables.

A) Marco teórico

Como primera sección se presentan los resultados del marco teórico, dentro del cual se encontró contenido que los alumnos redactaron con dos enfoques. En el primer enfoque (E1) los alumnos toman textos de la bibliografía sin hacer reformulaciones de estos, mientras que en el segundo enfoque (E2) sí hacen reformulaciones y explican los conceptos con sus propias palabras. Al respecto, en el protocolo 1, tanto en D1 como en D3, sólo se encuentra el E1 (en D2 esta información no aparece). Por otra parte, en el protocolo 2 se encuentran los dos enfoques, por lo que en la siguiente tabla el protocolo 2 se encuentra dividido en E1 y E2.

De acuerdo con la Tabla 1, para el protocolo 1 se puede observar que el número de equipos que obtuvieron un nivel 2 con respecto a la habilidad de investigación científica en D1 disminuyó cuando realizaron el reporte (D3).

Tabla 1. Nivel de desarrollo de los estudiantes para documentarse e informarse del marco contextual que permea el fenómeno estudiado.

Nivel	Marco teórico del Protocolo 1		Marco Teórico del Protocolo 2	
	D1-E1	D3-E1	E1	E2
1	0	4	0	3
2	4	2	1	0
3	9	8	12	2
4	3	2	3	11
5	0	0	0	0

También se observa un menor número en el primer enfoque (E1) del protocolo 2. Este hecho pone en perspectiva que los estudiantes comprendieron, conforme realizaban sus informes, que una investigación científica debe estar sustentada, al menos de manera parcial, con los conceptos teóricos relacionados con el tema, es decir, en un marco teórico suficiente para obtener una evaluación de Nivel 3. Ejemplo de ello lo encontramos en el equipo G53-E9A, quienes en D1 describen a la titulación química como:

"...la adición de un reactivo estándar a una sustancia particular para determinar la cantidad existente del mismo"; sin embargo, en E1 incluyen un concepto más amplio mencionando que esta técnica "...es el proceso de determinación del volumen necesario de solución (solución patrón) que reacciona con una masa o volumen determinado de una muestra".

Lo anterior no sólo da cuenta de su desarrollo para realizar un marco teórico con un contenido más completo, sino que comprenden que los conceptos químicos, como el de titulación, son más complejos en comparación con el que establecieron en D1.

Así mismo, para los primeros entregables (D1 y D3) la mayoría de los estudiantes no supera el nivel intermedio (3). Sin embargo, no es sino hasta E2 que se observa un incremento en el número de equipos que obtuvieron una evaluación con nivel 4. Esto puede deberse a que para E1 sólo copian enunciados de libros de texto de manera parcial; sin embargo, para la segunda sección se demuestra su capacidad de relacionar información de sus antecedentes con el objetivo de la titulación del analito y un mejor conocimiento de la técnica. Ejemplo de esto se encuentra en los extractos del texto de E1 del equipo G19-E19A, quienes incluyen:

"Este principio activo es el principal componente en la Aspirina. Su fórmula condensada es C₉H₈O₄."

Y en E2 hacen la siguiente aseveración:

“Para conocer si dicha cantidad de activo está, o no, presente en el comprimido, podemos usar una titulación ácido-base, pues el principio activo es un ácido orgánico. En esta ocasión sería adecuado titular con NaOH”.

Lo anterior da cuenta de que, aun cuando los alumnos no incluyen de manera explícita el concepto específico de una titulación química, sí comprenden la función de este método analítico y pueden proponerlo como una posible solución al problema experimental.

B) Hipótesis

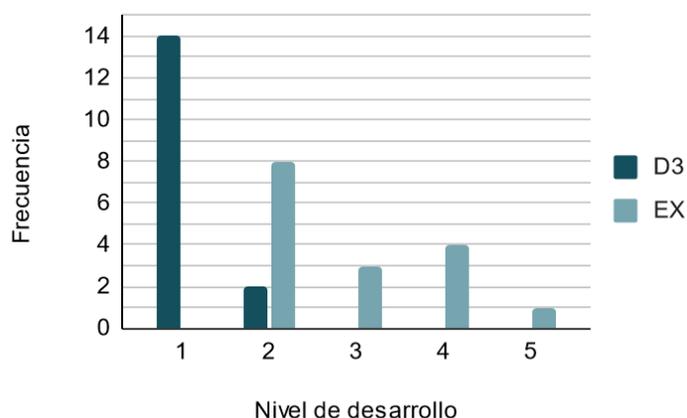


Figura 1. Nivel de desarrollo de los estudiantes para elaborar una hipótesis con una buena estructura semántica en el informe del protocolo 1 (D3) y en el informe del examen experimental (EX).

Por otro lado, la evaluación del nivel de desarrollo de los alumnos para proponer una hipótesis está dividida en dos rubros distintos. El primero está relacionado con la estructura semántica de la hipótesis y se encuentra en la Figura 1, la cual muestra que, para D3, prácticamente ningún equipo realizó una hipótesis, exceptuando a dos de ellos que elaboraron un enunciado que no lo era, pues lo que hicieron fue dar una

explicación a los probables resultados que obtendrían. Por ejemplo, el equipo G19–E19A redactó:

"Por lo anteriormente mencionado en la introducción, por nuestra falta de experiencia y por ser la primera vez que llevamos este proceso a cabo, las probabilidades de que falle, son bastante altas. Leer atentamente el procedimiento de la práctica y escuchar las indicaciones de la profesora, ayudará a que el error sea menor".

Esta falta de comprensión por parte de los estudiantes respecto a lo que significa plantear una hipótesis, sugiere que su formación académica previa no contempló la enseñanza de cómo realizar predicciones, sino que se enfocó en seguir procedimientos preestablecidos que no les permitían anticipar lo que sucedería en los experimentos, llegando así a la conclusión de que con sólo leer un protocolo podrán hacer un trabajo aceptable. Cabe resaltar que estos alumnos ya habían trabajado un semestre en el laboratorio de Química General 1, por lo que parece aún más relevante iniciar a los alumnos en estas habilidades de investigación desde su ingreso a la Facultad. De acuerdo con lo anterior, una propuesta que podría mejorar los resultados de esta sección es cambiar el lenguaje de lo que se les solicita a los alumnos, es decir, en lugar de solicitar que redacten una hipótesis se podría pedir que escriban lo que esperan que va a ocurrir al llevar a cabo su procedimiento experimental y, una vez que comiencen a familiarizarse con el procedimiento, introducir el lenguaje científico gradualmente.

La Figura 1 también permite ver una mejora de los estudiantes en este rubro, pues disminuyó por completo el número de equipos que obtuvieron un Nivel 1 en D3, aumentando aquellos que obtuvieron un Nivel 2 en EX. Sin embargo, lo anterior significa que, aunque ya son capaces de escribir un enunciado, la mayoría de los alumnos aún no logra

redactar una hipótesis. Esto puede deberse a que los alumnos requerían más tiempo de trabajo entre el protocolo 1 y el protocolo 2 para poder comprender el concepto y realizar una buena redacción, pues algunos equipos sí mostraron un desarrollo notable en esta habilidad. Aunque otra posible explicación es que los alumnos han llevado a cabo procedimientos experimentales sin elaborar hipótesis, por lo que no encuentran sentido en redactarlas en este protocolo. Por ejemplo, el equipo G53–E21B en EX obtuvo un nivel 3 de evaluación al hacer la siguiente aseveración sin justificar:

"La concentración de ácido acetilsalicílico determinada mediante la valoración será aproximadamente la misma que la que se encuentra marcada en la caja".

Por otro lado, el equipo G19–E19B alcanzó el nivel 5 de la escala ya que propuso:

"Si se tiene realmente una concentración de 500 mg de C₉H₈O₄ en una tableta de aspirina de la farmacéutica BAYER, entonces por medio de una valoración se podrá confirmar la concentración que dice tener en la caja porque la valoración es una reacción química que permite saber su concentración"

En la hipótesis anterior se aprecia un esfuerzo por seguir una estructura de su enunciado que relacione una causa con su consecuencia, y aunado a ello, una justificación vinculada al marco teórico. Una propuesta de mejora de redacción a esta hipótesis podría ser de la siguiente forma:

"Para averiguar si la información que viene en la etiqueta es cierta, se va a realizar una titulación, con lo cual podremos saber inequívocamente cuántos mg de ácido acetyl salicílico contiene cada

tableta.”

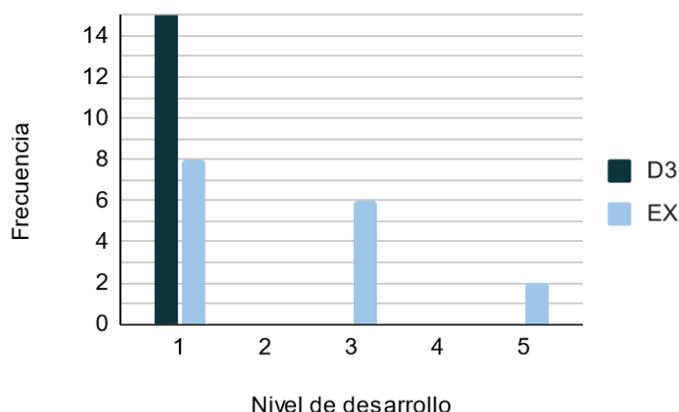


Figura 2. Nivel de desarrollo de los estudiantes para relacionar la hipótesis planteada con el marco teórico.

El segundo rubro por evaluar fue la vinculación de la hipótesis con el marco teórico. En la Figura 2, se puede observar que todos los alumnos en D3 tienen una valoración de Nivel 1. Se observa una disminución del número de equipos que conservan el Nivel 1 en EX, y aumentó el número de equipos que alcanzaron el nivel intermedio (3). Esta situación vuelve a resaltar que los alumnos aún no comprenden completamente el contenido que una hipótesis debe poseer ya que, aunque logran hacer predicciones parciales, no hay alguna vinculación con el marco teórico, situación que nos parece muy relevante puesto que la construcción de la ciencia sin referencia a un marco científico no tiene validez.

Para ilustrar lo anterior, el equipo G19–E2B enunció lo siguiente:

“Si titulamos una tableta de aspirina comercial entonces obtendremos la cantidad de ácido salicílico que marca el empaque de Bayer de 500 mg”.

Esta baja vinculación de la hipótesis con el marco teórico puede deberse a que los alumnos no creen necesario justificar algo que el profesor ya conoce o puede vincular él mismo, aunque también podría

deberse a que sólo conciben a la predicción de resultados como una propuesta ambigua parecida a una opinión que no necesariamente debe estar fundamentada. Otra posible explicación es que los alumnos aún no han desarrollado por completo su pensamiento crítico, pues también se presentaron casos como el del equipo G19–E32A que en su hipótesis indicó:

"Al realizar el procedimiento experimental, consideramos que la concentración de las tabletas es la indicada en la caja, ya que confiamos en el buen control de calidad que dicha farmacéutica debe tener, o al menos el margen de error será muy pequeño, pero consideramos que esto puede ser por un proceso experimental mal planteado".

Este tipo de hipótesis también sugieren que los alumnos creen que sus experimentos ya están validados o que no les es posible (o no es útil) cuestionarlos. Relacionándolo con la sección de análisis de resultados cabe resaltar que cuando mencionan que sus resultados salen mal lo asocian con algún error cometido por ellos. Aunque lo anterior es una postura honesta por parte de los alumnos al aceptar que el trabajo hecho por la farmacéutica es más adecuado y controlado que el de ellos, lo cual es aplaudible, también es una señal de que el acompañamiento por parte del docente no sólo debe enfocarse en el desarrollo de habilidades de investigación científica en sí, sino que debe complementarse con un apoyo emocional que motive y apoye a los estudiantes con la información necesaria para que crean que sus resultados tienen valor si realizan el procedimiento correctamente, de esta manera el desarrollo de cualquier habilidad logrará ser mucho más sólido.

Finalmente, se pensó en incorporar en esta sección el análisis del EA7, correspondiente a la habilidad de los alumnos para proponer

hipótesis nuevas después de haber terminado sus experimentos y su análisis de resultados, pero no hubo evidencia de que se haya realizado este ejercicio en los documentos entregables. Por esta razón no se menciona como parte del desarrollo de habilidades de investigación de los alumnos, pero partiendo de esto, una propuesta de mejora al protocolo experimental 2 podría ser solicitar a los alumnos que indaguen un poco más acerca de las posibles causas del problema del paciente, de esta forma se promovería el interés de los alumnos en la investigación y ejercitarían aún más sus habilidades.

C) Diseño experimental.

La evaluación del diseño experimental planteado por los alumnos se realizó solamente en los documentos D1, D2 y EX, puesto que en D3 los alumnos únicamente integraron el mismo diseño que ya habían realizado en D2.

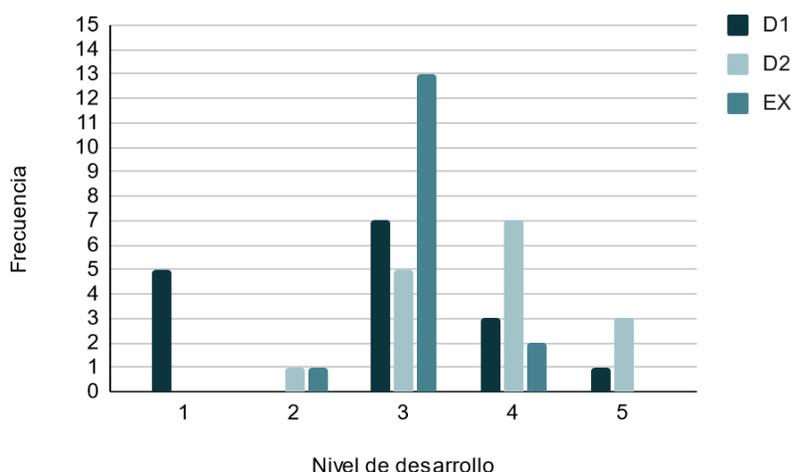


Figura 3. Nivel de desarrollo de los estudiantes para proponer su propio diseño experimental.

Comparando el desempeño de los equipos con respecto a los entregables, la Figura 3 muestra que, para el D1, 5 equipos obtuvieron

un nivel 1 de evaluación ya que no lograron proponer un diseño experimental; sin embargo, para D2, ningún equipo fue evaluado con el nivel 1 y en su lugar la mayoría se concentra entre los niveles 3 y 4. Esto significa que hubo un desarrollo importante en su habilidad para proponer diseños experimentales más completos.

Un resultado interesante es que, la mayoría de las propuestas de los diseños en EX se concentran en el nivel 3 de evaluación. Por ejemplo, el equipo G19-E19A no realizó un diseño en D1, mientras que para D2 si lo hizo e incluso detalla aspectos sobre la técnica a llevar a cabo (Figura 1), obteniendo así un nivel 5 de evaluación; a manera de ejemplo se presenta el texto del paso 5 que redacta este equipo en su metodología:

"[...] Verter, con ayuda de la bureta, poco a poco el NaOH en el vaso de precipitados y agitar fuertemente después de agregar un poco. Repetir hasta que el color de la disolución cambie a verde".

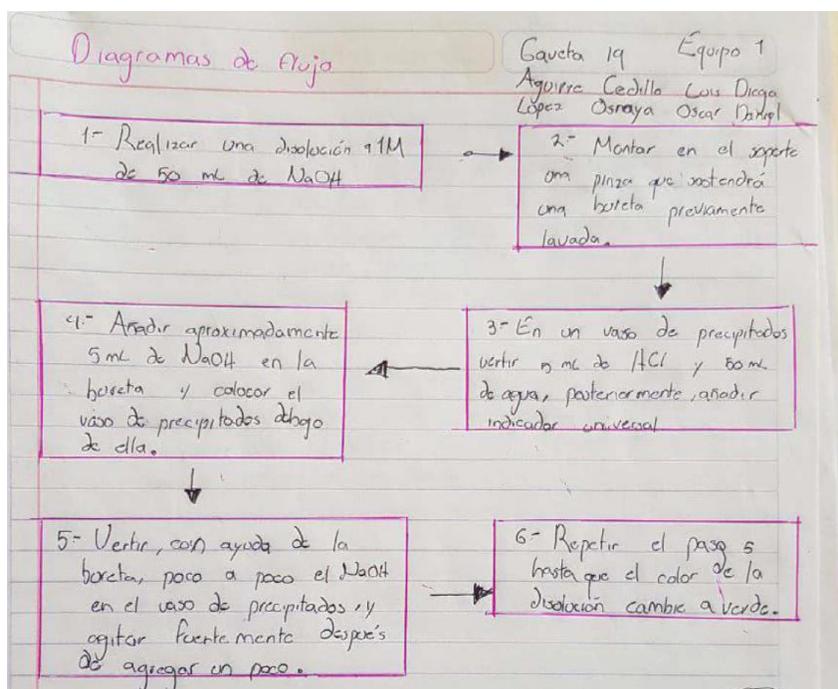


Figura 4. Diseño experimental propuesto por el equipo G19-E19A presente en el documento D2.

Sin embargo, para EX (Figura 5), obtienen el nivel 3 de evaluación ya que solamente describen los materiales y reactivos a utilizar, sin hacer énfasis en la técnica y mencionando solamente: "Proceda a titular la solución..."

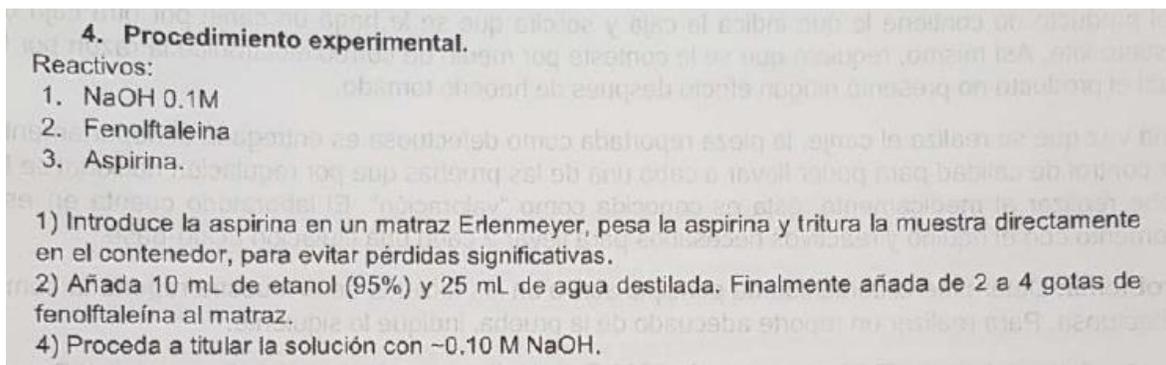


Figura 5. Diseño experimental propuesto por el equipo G19-E19A en el documento EX.

Este bajo nivel de desempeño en EX luego de haber obtenido el nivel 5 en D3 puede deberse a que, si bien los alumnos sí aprenden a proponer y seguir diseños experimentales, pareciera que no consideran necesario describir la metodología que van a emplear una vez más, pues ya la han descrito varias veces en documentos anteriores, elaborando así un procedimiento experimental bastante ambiguo y dejando de lado la importancia de la repetibilidad y reproducibilidad de su investigación por otros investigadores. Lo anterior indica que los estudiantes sí pueden mejorar en la documentación del detalle de su procedimiento experimental, pero parece necesario que los docentes hagan énfasis de la importancia de la inclusión rigurosa de este apartado en todos sus documentos de comunicación de práctica experimental.

Lo que hasta ahora se puede observar respecto a la capacidad de los alumnos para desempeñar las tres primeras habilidades de investigación científica (marco teórico, hipótesis y diseño experimental) es que su nivel mejora gradualmente de acuerdo con las veces que llevan

a cabo revisiones sobre su aproximación experimental y utilizan diversos instrumentos para hacerlo (entregables), es decir, para los entregables D1 y D2 obtienen evaluaciones de niveles 1 a 2, pero cuando vuelven a enfrentarse al protocolo en D3 y EX ya alcanzan niveles del 3 al 5. Lo anterior coincide con el trabajo de Casal (2013), quien establece que se fomenta el desarrollo de habilidades científicas en los alumnos al introducirlos gradualmente a la realización de un trabajo de investigación, y precisamente en estos protocolos experimentales primero se les acompaña a los alumnos con una guía para que comprendan los conceptos clave relacionados con el trabajo y posteriormente tengan la responsabilidad en los siguientes documentos entregables para elaborar el contenido solicitado.

Por otro lado, cabe mencionar que en la Tabla 4 (correspondiente a las escalas de evaluación de las categorías de análisis) se contempló un rubro que ponderaba la medida en que los alumnos modificaban su diseño experimental durante la realización del experimento; sin embargo, esto no ocurrió en ningún equipo en ninguno de los documentos aplicables, por lo que no se obtuvieron resultados al respecto. La falta de habilidad para modificar el diseño experimental también pone en perspectiva que los alumnos no creen que les sea posible cambiar un procedimiento que ellos ya habían establecido, y esto lo podemos observar en la sección de análisis de resultados, en donde los estudiantes explican que los datos obtenidos son por algún error en la técnica. Aunque esto se detallará más adelante.

D) Realización del experimento y recopilación de datos.

Se planeó evaluar la mejora en el desempeño de los alumnos para

realizar un experimento en dos rubros distintos. El primero de ellos, se enfoca en la habilidad de los alumnos para registrar y organizar los resultados que obtuvieron en su experimento. Al respecto, los documentos que exigían a los alumnos presentar datos experimentales fueron D2, D3 y EX. El segundo rubro no se encontró en la secuencia de los estudiantes y se refiere a la destreza de los alumnos para aplicar la técnica de titulación y su capacidad para manejar de manera correcta o no los instrumentos y materiales, por lo que la evaluación de esta categoría de análisis se limita al primer criterio.

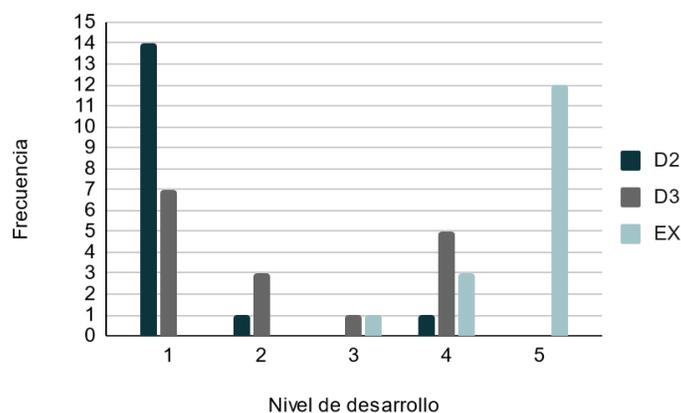


Figura 6. Nivel de desarrollo de los estudiantes para recopilar y organizar datos experimentales.

La Figura 6 muestra el nivel de desarrollo de los alumnos para registrar y organizar sus resultados. En ella se puede observar que para D2 la mayoría de los equipos no presenta ningún resultado, mientras que para D3 el número de equipos que no presenta datos disminuye, aumentando aquellos que sí lo hacen, logrando una evaluación que va desde el nivel 2 hasta el nivel 4. Por otro lado, el desempeño de este rubro en EX aumenta de manera notoria, siendo la mayoría de los equipos la que obtiene un nivel de evaluación 5, es decir, logran presentar sus datos adecuadamente, de manera sistematizada y entendible para los

lectores. Como ejemplo de estos resultados se encuentra el equipo G53-E29A, quienes en D2 no presentan datos, pero en D3 presentan sus resultados de la siguiente manera:

Tabla 1. Valoración de HCl 1 mol/L con NaOH 0.1 mol/L ✓

Valoración	NaOH (M)	Indicador	Volumen NaOH (mL)
1	0.1	I.U.	4.1
2	0.1	I.U.	4.2
3	0.1	F	4.2

Tabla 2. Color del indicador al final de la titulación ✓

Valoración	Color deseado	Color obtenido
1	Verde	Azul
2	Verde	Azul
3	Rosa claro	Rosa mexicano

Tabla 3. Valoración de HCl 1 mol/L con NaOH 0.1 y 1 mol/L ✓

Subgaveta	NaOH (M)	Indicador	Volumen NaOH (mL)	Color final
9-A	0.1	I.U./F	21.2/20.2	Verde
9-B	1	F	4.0	Rosa mexicano
21-A	1	F	4.4	Rosa mexicano
21-B	0.1	I.U.	4.0	Verde
29-A	0.1	I.U.	4.2	Verde
29-B	1	F	4.1	Rosa mexicano
40-A	0.1	I.U.	3.4	Verde
40-B	1	F	4.2	Rosa mexicano

Figura 7. Resultados del equipo G53-E29A presentados en el Documento 3 del protocolo 1. I.U. = Indicador universal, F = Fenolftaleína.

Como se puede observar en la Figura 7, el equipo recolectó sus datos de una forma sistematizada y ordenada; sin embargo, la información presente no es suficiente para sustentar el análisis de resultados que aparece en secciones posteriores, por lo que se les asignó un nivel 4 de la escala construida para este rubro. Este esfuerzo hecho por los alumnos para presentar tantos resultados posibles sin pasar por un filtro que discrimina entre aquellos que son necesarios y los que no,

demuestra que el aprendizaje logrado hasta este punto fue parcial y se enfocó en la representación gráfica de los datos, lo que significa que los estudiantes aún no desarrollan la habilidad de síntesis y análisis para elegir los datos experimentales correctos y así evitar duplicidad o datos sin relevancia. Cabe resaltar que este equipo no hace un análisis de todos los resultados presentados, con lo cual o (a) les falta el análisis de algunas tablas o (b) varias de sus tablas podrían ser omitidas en un informe.

Por otro lado, no es sino hasta el documento EX que los alumnos logran presentar sus hallazgos como se muestra a continuación:

Tabla 1. Valoración de $C_9H_8O_4$ con NaOH 0.1, 0.5 y 1 mol/L

Concentración NaOH (mol/L)	Valoración	Volumen NaOH consumido (mL)	Masa de la pastilla (g)	Concentración de $C_9H_8O_4$ (% $^{m/m}$)
1	1	3.8	0.597	114.40
1	2	2.8	0.602	83.88
0.1	3	26.7	0.595	81.04
0.5	4	5.2	0.594	78.95
				89.69 Promedio

Tabla 2. Masa de $C_9H_8O_4$ contenida en cada pastilla

Valoración	Masa de $C_9H_8O_4$ (g)
1	0.686
2	0.505
3	0.482
4	0.469
0.535 Promedio	

Figura 8. Resultados del equipo G53-E29A presentados en el Documento EX del protocolo 2.

Los resultados del equipo G53-E29A mostrados en la Figura 8 dan cuenta de que hubo un método sistematizado para la recolección similar al de D3, pero esta vez se realiza una síntesis para presentar sólo la información necesaria para llevar a cabo un análisis enfocado en el problema de investigación y concretar conclusiones de este.

En un comportamiento generalizado, cabe destacar que se detectó que algunos equipos tomaron como base las tablas de las prácticas oficiales de la Facultad de Química para proponer su forma de recolección de datos. En la Figura 9, se presenta una tabla del manual oficial de la Facultad de Química¹, mientras que en la Figura 10 se muestra la tabla que el equipo G19-E11B presentó en el documento EX.

Tabla 1: Normalización de HCl

Concentración exacta del NaOH (titulante): _____

Ecuación química: NaOH + HCl →						Concentración del HCl		
Núm. de alicuota	Volumen de NaOH consumido (mL)	Cantidad de NaOH (mol)	Volumen de HCl titulado (mL)	Cantidad de HCl en la alicuota (mol)	Relación estequiométrica	mol L ⁻¹	eqÁcidos L ⁻¹	% m/V
1								
2								
3								
Promedio								
Precisión								
Exactitud								

Figura 9. Tabla 1 de resultados presentada en la práctica 2 del manual oficial de prácticas de la Facultad de Química.

Tabla 1: Determinación de la concentración de Principio Activo en una pastilla de Aspirina.						
Ecuación química: $C_6H_8O_4(s) + NaOH(aq) \rightarrow H_2O(l) + NaC_6H_7O_4(aq)$						
No. de Experimento	Volumen de NaOH consumido (ml)	Cantidad de NaOH consumido (mol)	Cantidad de $C_6H_8O_4$ que reaccionó (mol)	Masa de $C_6H_8O_4$ que reaccionó (g.)	Masa de la pastilla de Aspirina (g)	% m/m de $C_6H_8O_4$ presente en la pastilla (o/o)
1	4.9 mL	2.45×10^{-3}	2.45×10^{-3}	0.441	0.533	82.73
2	5.1	2.55×10^{-3}	2.55×10^{-3}	0.459	0.560	82
3	5.1	2.55×10^{-3}	2.55×10^{-3}	0.459	0.559	82.11
PROMEDIO						82.28

Figura 10. Tabla de resultados presentada por el equipo G19-E11B en el documento EX.

La Figura 10 evidencia que, si bien los alumnos toman como base

¹ Práctica 2. Determinación de concentraciones y las diversas maneras de expresarla. 1211 | Programa Oficial de Prácticas de Química General II / Semestre 2021-1 | Todos los grupos. Recuperado el 11 de febrero de 2021 de <https://amyd.quimica.unam.mx/course/view.php?id=614§ion=1>

tablas de las prácticas oficiales, son capaces de buscar y analizar trabajos similares al suyo (revisar el estado del arte) para adecuar el contenido encontrado y lograr que éste les sea de utilidad en su propio trabajo de investigación.

Aunado a lo anterior, esta adecuación de las tablas por parte de los alumnos cumple con lo que LaPlaca (2017) establece con respecto a la recolección de datos, los cuales deben presentarse en los gráficos correctos con el cuidado de no duplicar información, además de que deben ser suficientes para poder sustentar cualquier análisis o conclusión que se elabore posteriormente en el trabajo de investigación. Esto indica que el desempeño de los alumnos para presentar sus datos experimentales alcanza el nivel necesario para poder concluir que hubo una mejora en esta habilidad.

E) Análisis de resultados

El desarrollo de la habilidad de los estudiantes para analizar los datos que obtuvieron en sus experimentos se muestra en la Figura 11. Esta gráfica muestra un comportamiento particular, ya que las frecuencias de los niveles 1 y 2 se invierten del documento D3 al EX, y también ocurre en el nivel 3 y 4.

El desempeño de los alumnos en esta habilidad muestra un comportamiento más homogéneo con respecto a las habilidades anteriores en el sentido de que la muestra se distribuye desde el nivel 1 hasta el nivel 5 en todos los entregables, pero aun así el desempeño en el examen (EX) es mejor que el de D3.

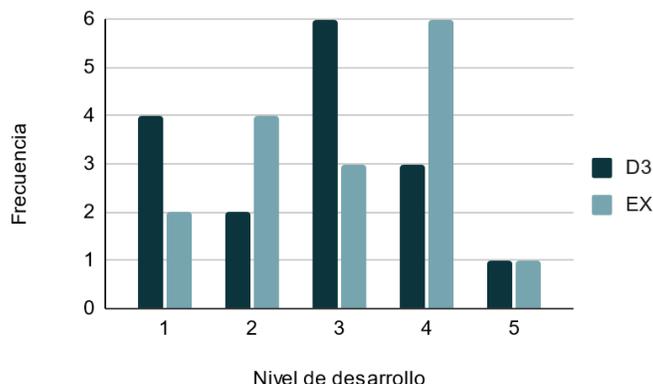


Figura 11. Nivel de desarrollo de los estudiantes para interpretar los datos obtenidos del experimento.

Tomando como ejemplo al equipo G19-E2B (Figura 12), en su análisis del documento D3 mencionan:

"Aunque se tenía previsto llegar a un rosa tenue, no se logró y obtuvimos un color rosa mexicano lo que significó que tuvimos un exceso de titulante en nuestro analito de HCl".

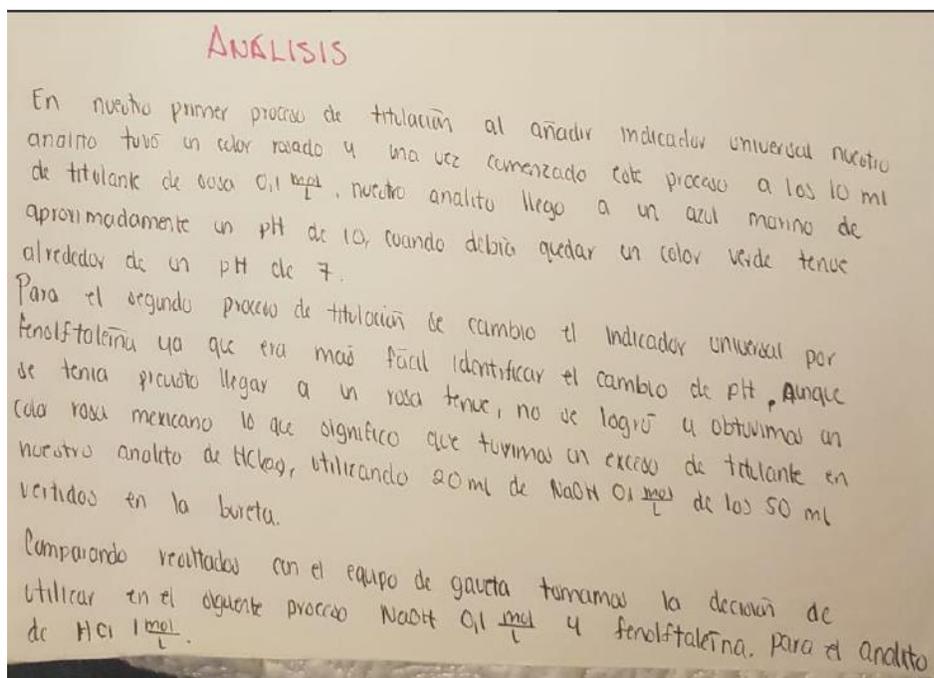


Figura 12. Análisis de resultados del equipo G19-E2B del documento 3.

Este enunciado no hace referencia a los resultados numéricos que ellos registraron, ni está vinculado con sus objetivos ni su hipótesis, por lo que la única conclusión que se puede extraer es que detuvieron su titulación en un vire de color distinto, lo cual está relacionado con el nivel 2 de la escala tipo Likert. Por otro lado, dentro de los equipos que realizaron un análisis parcial se encuentra el equipo G53–E9A (Figura 13), el cual realizó el siguiente análisis en D3:

"El punto final fue alcanzado 1 mL antes de lo establecido. Esto quiere decir que la concentración de HCl no era realmente la que nosotros habíamos tomado en cuenta y es debido a esto se obtuvieron errores estándar".

Discusión:
Se esperaba que al momento de realizar nuestros cálculos teóricos estos lograran coincidir con los cálculos experimentales, ya que de esta forma nosotros podríamos comprobar que al agregar 5 mL de NaOH llegaríamos al punto final de la titulación, sin embargo, este fue alcanzado 1 mL antes de lo establecido. Esto quiere decir que la concentración de HCl no era realmente la que nosotros habíamos tomado en cuenta y es debido a esto se obtuvieron errores estándar durante la titulación del HCl. No, es por la preparación de

Figura 13. Análisis de resultados del equipo G53–E9A del documento 3.

En este caso ya es posible observar cómo los alumnos utilizaron los datos obtenidos, aunque no los hicieron explícitos, y lograron relacionarlos con los cálculos que previamente hicieron, además de generar una probable explicación a la diferencia observada entre sus resultados experimentales y los teóricos, obteniendo una evaluación de Nivel 3.

El equipo G19–E2A mencionó en su análisis del D3 (Figura 14):

"El valor teórico para llegar al punto final en ambas titulaciones era de 50 mL, sin embargo, al realizar el proceso experimental, nuestro punto final fue alrededor de 4 mL (en ambas titulaciones). Para explicar el porqué de esta anomalía se generó una hipótesis que plantea que la concentración de NaOH era diferente a la que se tenía indicada [...] Otra opción que podría explicar esta problemática pudo haber sido por una mala técnica al hacer titulaciones provocada por la falta de experiencia y desconocimiento en el manejo de material".

Análisis

El valor teórico obtenido a través de los cálculos para llegar al punto final en ambas titulaciones era de 50 mL; sin embargo al realizar el proceso experimental, nuestro punto final fue alrededor de 4 mL (en ambas titulaciones). Para explicar el porqué de esta anomalía se generó una hipótesis que plantea que la concentración de NaOH era diferente a la que se tenía indicada, siendo este un error completamente inesperado puesto que las disoluciones no preparadas por fueron preparadas por el equipo, si no que fueron proporcionadas. Esto se puede comparar con el subequipo de nuestra clase, donde también usó 0.1M de NaOH y de igual manera el punto final fue alrededor de 10 mL. Otra opción que podría explicar esta problemática pudo haber sido por una mala técnica al hacer titulaciones provocada por la falta de experiencia y desconocimiento en el manejo del material e indicaciones.

En la gráfica de titulación (basada en la titulación con indicador universal) al tener pocos valores que comparar y el haber podido observar una gama de rojo antes de ver el verde, perdiendo de vista el color amarillo que tuvo que haber aparecido antes de tono verde, (esto pudo haber sido por agregar rápidamente el vol. de NaOH), por esto la gráfica tiene deficiencias pues los valores obtenidos no fueron

Figura 14. Análisis de resultados realizado por el equipo G19-E2A en el documento 3.

En este texto se percibe de manera más clara una comparación de resultados teóricos y experimentales, así como la propuesta de varias explicaciones congruentes para ellos, obteniendo así un Nivel 4 en la

escala de evaluación.

Por otro lado, el equipo G19–E32B escribió en EX:

"De acuerdo con los datos obtenidos experimentalmente la concentración del ácido acetilsalicílico es ligeramente mayor que la reportada en la presentación de la Aspirina, lo cual lo podemos asociar a la variación entre las masas individuales de cada tableta, la distribución del P.A. no es uniforme en toda la superficie".

De igual manera el equipo G53–E21B redactó en EX:

"Los resultados obtenidos en la primera valoración no coincidían con los cálculos teóricos teniendo una diferencia de 4.7 mL, esto pudo deberse a una pérdida en la masa de la pastilla, tirar reactivo afuera del matraz".

Con lo anterior podemos observar que los análisis realizados en D3 y en EX son bastante similares, por lo que la Figura 11 no muestra una mejora muy clara en el desarrollo de esta habilidad. Esto quiere decir que aquellos alumnos que ya sabían cómo redactar un análisis continúan con este mismo nivel de desempeño en todos los documentos, mientras que aquellos que no saben cómo abordar la discusión de sus resultados no han detectado las oportunidades de mejora en las que deben trabajar para realizar análisis más completos.

Esta brecha en la comprensión del contenido de una discusión de resultados puede deberse a varios factores, dentro de los que destacamos (1) que los alumnos no mencionan si sus hipótesis se cumplieron o no, pues es claro que resultaron ser erróneas, y hacer evidente un error puede tener consecuencias en su calificación, por ello sólo hacen referencia a los resultados explicando por qué los obtuvieron; que (2) requieren más práctica, modelaje y acompañamiento y retroalimentación por parte del docente en la construcción de sus explicaciones, o (3) que

los alumnos requieren indicaciones, práctica y retroalimentación en la construcción de su comunicación científica. Este último factor puede estar relacionado con lo que Casal (2013) menciona en su estudio, y es que los alumnos no piensan científicamente, o no saben elaborar mentalmente un discurso científico conexo, y por ende es difícil que un alumno sepa justificar un resultado en un artículo científico si no es capaz de utilizar conectores como *porque, dado que, ya que, por lo tanto*, etcétera. Para corregir esto, es necesario que el acompañamiento del docente incluya algún apoyo lingüístico además del relacionado con la química. Un ejemplo podría ser realizar lectura de textos en donde los alumnos deban poner en práctica su habilidad de deducción.

Por otro lado, LaPlaca (2017) menciona que la discusión es la sección en donde los autores deben relacionar sus resultados con las secciones anteriores y demostrar cómo su trabajo cumple con los objetivos y responde a la pregunta de investigación. De esta manera, se vuelve a poner en perspectiva la importancia que tiene la enseñanza temprana en los alumnos para que logren construir investigaciones más completas y, en este sentido, una práctica que recomendamos incorporar es la revisión en el aula de extractos de reportes para su discusión y análisis; y posteriormente una retroalimentación por parte del docente para que los alumnos aprendan desde dónde y cómo abordar sus resultados experimentales para realizar análisis más completos y concretos.

F) Conclusiones

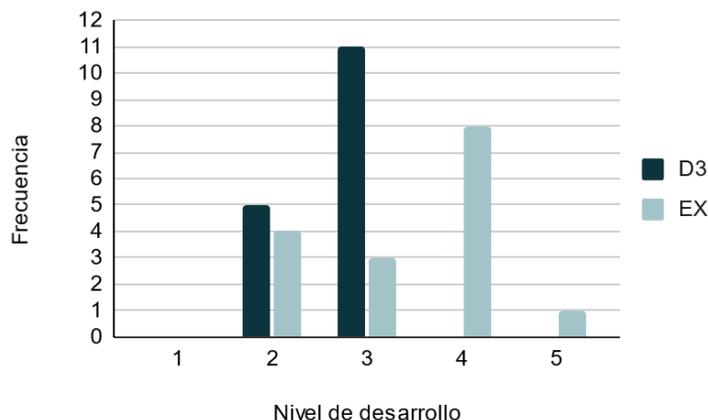


Figura 15. Nivel de desarrollo de los estudiantes para generar conclusiones sobre la investigación realizada.

La Figura 15 muestra que en D3 el desempeño de los alumnos para construir conclusiones no supera el nivel intermedio (3), es decir, el mejor esfuerzo que realizan es vincular su conclusión con sus resultados. Esta situación cambia en EX, ya que la mayoría de los equipos logra enunciar conclusiones cuyo contenido es suficiente para que se les asigne una evaluación de nivel 4. Esta mejora en la capacidad de los alumnos para establecer oraciones más completas es consecuencia de la vinculación entre su conclusión y secciones clave como resultados y, sobre todo, su objetivo de investigación.

Tomando como ejemplo al equipo G53-E21B, el enunciado establecido como conclusión en D3 fue el siguiente:

"...determinamos el pH de la disolución, y la concentración en relación a los cálculos obtenidos teóricamente y experimentalmente, así finalmente obtenemos el punto final de la reacción con respecto a la escala de pH hasta obtener un viraje verde".

Lo que los alumnos mencionan es simplemente un resumen de la

metodología empleada, pero no construyen una relación entre los hallazgos encontrados y su objetivo de investigación. Esto puede tener una causa similar a la de los errores en la redacción de hipótesis, es decir, los alumnos entienden por conclusión algún comentario trivial que describa su opinión sobre la práctica realizada, o bien simplemente perciben esta sección como un resumen de lo realizado, pues puede ser que todo lo explicado en el análisis de resultados les sea suficiente para que su lector de interés, en este caso el profesor, pueda asignarles una calificación. Esto nuevamente refleja una escasa comprensión de la importancia de la comunicación científica a través de artículos científicos, pues la conclusión es el lugar en donde los autores deben comunicar si lograron dar respuesta a su pregunta de investigación.

Por otro lado, se observa una mejora en el Ex ya que el mismo equipo (G53-E21B) enuncia lo siguiente:

"Las valoraciones arrojaron concentraciones aproximadas a las que marca la caja de aspirina, lo que indica que efectivamente la concentración de principio activo en cada pastilla es la que nos están comercializando".

Para este documento, la conclusión ya logra ser una aseveración relacionada con sus resultados y su objetivo, demostrando que los alumnos son capaces de comunicar al lector que su trabajo consiguió responder a la pregunta de investigación. El siguiente paso en la enseñanza de esta sección debe enfocarse en resaltar la importancia de proponer posibles mejoras al trabajo o mencionar desde qué otra perspectiva se puede mirar el problema para realizar futuras investigaciones.

6. Conclusiones y reflexiones finales

El análisis del aprendizaje de los alumnos respecto a las habilidades de investigación científica muestra, en primera instancia, que los protocolos experimentales contruidos para este trabajo (los cuales explicitan mediante preguntas conceptuales que los alumnos indaguen en la literatura y propongan un diseño experimental) promueven el desarrollo de estas habilidades en un nivel suficiente como para que los alumnos sean capaces de elaborar una investigación científica completa acorde con el nivel académico en el que se encuentran. Con ello, los estudiantes obtienen las bases necesarias para que en un futuro puedan desarrollarse adecuadamente como profesionistas e investigadores.

Lo anterior es precisamente uno de los hallazgos más importantes del estudio, pues la mayoría de los alumnos que participaron, aun cuando ya habían cursado el laboratorio de Química General I en la Facultad de Química, no llegaron a su segundo semestre con el conocimiento básico necesario y esperado para realizar una investigación acorde al desarrollo del alumno en segundo semestre; y fue hasta después de haber trabajado con los protocolos propuestos cuando mostraron un desarrollo notable en cada una de las habilidades evaluadas.

Con respecto al instrumento de evaluación desarrollado, un aspecto importante a considerar son los descriptivos elaborados para cada nivel de la escala Likert, pues han sido un elemento clave para la obtención de los resultados de este estudio. Por ello se espera que esta escala sirva como base para realizar investigaciones similares y sea de utilidad para obtener y discriminar la información relevante de la que no lo es.

En este estudio se muestra un efecto positivo en el desarrollo del pensamiento crítico de los alumnos que se vio reflejado en la forma de redactar predicciones y explicaciones a los resultados de los experimentos que ellos llevaron a cabo, lo que se puede atribuir al acompañamiento de los alumnos por parte del docente en la estructuración de cada una de las partes de una investigación científica. Cabe mencionar que este acompañamiento debe ir mucho más allá de la solicitud única que hacen a los alumnos para llenar tablas y contestar cuestionarios, lo cual se practica comúnmente en la enseñanza tradicional.

De este estudio se concluye que la implementación de los protocolos construidos que incorporan de forma explícita el desarrollo de habilidades de investigación es adecuada para la promoción de estas. Para corroborar que esto se debe a los protocolos experimentales hace falta comparar el desempeño de los alumnos que los llevan a cabo con aquellos que realizan las prácticas oficiales de la facultad, y al mismo tiempo aumentar el tamaño de la muestra para poder hacer conclusiones más generales.

Como perspectiva, comparar el desempeño de los alumnos que realizaron estos protocolos experimentales en su primer semestre respecto a su desempeño en semestres posteriores podrá dar cuenta de la eficacia y la importancia de promover desde etapas tempranas el desarrollo de habilidades de investigación científica. Así mismo, para extender el ejercicio de estas habilidades, se podrían explorar otras materias de tronco común para implementar este tipo de protocolos, como Termodinámica, Equilibrio y Cinética, o Química Analítica 1.

Referencias

- Álvarez–Dardet C., Ronda E., y Ruiz–Cantero M. T. (2018). *Antecedentes, hipótesis y objetivos. In Cómo elaborar un proyecto en ciencias de la salud*. Fundación Dr. Antoni Esteve Barcelona. Pág. 24–27.
- Arias F. (2012). *El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica*. 6a Ed. Episteme, Venezuela. Pág. 19.
- Casal J. (2013). *Secuencias de apertura experimental y escritura de artículos en el laboratorio: un itinerario de mejora de los trabajos prácticos en el laboratorio*. Revista de investigación y experiencias didácticas. 31 (3). Pág. 249–262.
- Di Mauro M., Furman M., Bravo B. (2015). *Las habilidades científicas en la escuela primaria: un estudio del nivel de desempeño en niños de 4to año*. Enseñanza de las ciencias 10 (2). Pág. 1–11.
- Etkina E, Van Heuvelen A, White–Brahmia S, T. Brookes D, Gentile M, Murthy S, Rosengrant D, y Warren A. (2006). *Scientific abilities and their assessment*. Physical Review Physics Education Research (2), 020103.
- Felber H., Rezzonico S. y Máriássy M. (2003). *Titrimetry at a metrological level*. Metrologia 40 (5). Pág. 249.
- Figueroa A., Ramírez H., Alcalá, J. (2014). *Introducción a la metodología experimental*. 1a Ed. PEARSON EDUCATION, México. Pág. 5–7.
- Haláková Z. y Prokša M. (2007). *Two Kinds of Conceptual Problems in Chemistry Teaching*. Journal of Chemical Education. 84 (1). Pág. 172–174.
- Hernández J., Ponce A., Moreno P. y Castañeda A. (2018). *Desarrollo de competencias para la investigación en estudiantes de educación*

- superior: una experiencia en México*. Revista Cognosis 1 (3). Pág. 43–50.
- LaPlaca P., Lindgreen A., Vanhamme J. (2017). *How to write really good articles for premier academic journals*. Industrial Marketing Management (68). Pág. 202–209.
- Lemarchand G. (2018). *UNESCO Science Report: towards 2030*. América Latina. pp. 184–210.
- Palmer A. y Anna L. (2018). *Honors Modules to Infuse Research into the Chemistry Curriculum*. Strategies Promoting Success of Two-Year College Students. Cap. 10. Pág. 156–166.
- Raviolo A. y Farré A. (2017). *Una evaluación alternativa del tema titulación ácido–base a través de una simulación*. Educación química, 28 (3). Pág. 163–173.
- Reyes–González D. y García–Cartagena Y. (2014). *Desarrollo de habilidades científicas en la formación inicial de profesores de ciencias y matemática*. Educación y Educadores. 17 (2). Pág. 271–285.
- Rivas L. (2011). *Las nueve competencias de un investigador*. Investigación administrativa, 40 (108). Pág. 34–54.
- Rivera C., Espinosa J. y Valdés Y. (2017). *La investigación científica en las universidades ecuatorianas.: Prioridad del sistema educativo vigente*. Revista Cubana de Educación Superior, 36(2). Pág. 113–125.
- Rodríguez A. y Pérez A. O. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento*. Revista Escuela de Administración de Negocios, (82). Pág. 179–200.
- Rosa S. (2019). *Proyectos de investigación en los estudios universitarios: progreso de la observación a la indagación*. Enseñanza De Las Ciencias.

Revista De Investigación Y Experiencias Didácticas, 37(1). Pág. 195-211.