

José Luis Escamilla Reyes  
(organizador)

**EDUCAÇÃO**  
**E**  
**ENSINO**  
**DE**  
**CIÊNCIAS EXATAS**  
**E**  
**NATURAIS**

**VOL II**



**EDITORA  
ARTEMIS  
2024**

José Luis Escamilla Reyes  
(organizador)

**EDUCAÇÃO**  
**E**  
**ENSINO**  
**DE**  
**CIÊNCIAS EXATAS**  
**E**  
**NATURAIS**

**VOL II**



**EDITORA  
ARTEMIS  
2024**



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

<b>Editora Chefe</b>	Prof. <sup>a</sup> Dr. <sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira
<b>Editora Executiva</b>	M. <sup>a</sup> Viviane Carvalho Mocellin
<b>Direção de Arte</b>	M. <sup>a</sup> Bruna Bejarano
<b>Diagramação</b>	Elisangela Abreu
<b>Organizador</b>	Prof. Dr. José Luis Escamilla Reyes
<b>Imagem da Capa</b>	ekaart/123RF
<b>Bibliotecário</b>	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

#### Conselho Editorial

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba  
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil  
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF, Brasil  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil  
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal  
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México



Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca, Espanha*  
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República, Uruguay*  
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara, México*  
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal, Canadá*  
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal  
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*  
Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara, México*  
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg, Suécia*  
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*  
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*  
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College, Estados Unidos*  
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha, Espanha*  
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal  
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil  
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. José Cortez Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*  
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*  
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yañez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*  
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil  
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide, Espanha*  
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela, Espanha*  
Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil  
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil  
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*

Prof.ª Dr.ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal  
 Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
 Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
 Prof.ª Dr.ª MªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal  
 Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
 Prof.ª Dr.ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*  
 Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal  
 Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*  
 Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
 Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del País Vasco, Espanha  
 Prof.ª Dr.ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México  
 Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil  
 Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*  
 Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
 Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil  
 Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil  
 Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
 Prof. Dr. Sérgio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
 Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil  
 Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*  
 Prof.ª Dr.ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil  
 Prof.ª Dr.ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*  
 Prof.ª Dr.ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha  
 Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal  
 Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal  
 Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil  
 Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
 Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
 Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*  
 Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

E24 Educação e ensino de ciências exatas e naturais II [livro eletrônico] /  
Organizador José Luis Escamilla Reyes. – Curitiba, PR: Artemis,  
2024.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilingue

ISBN 978-65-81701-29-1

DOI 10.37572/EdArt\_311024291

1. Educação. 2. Ciências exatas e naturais – Estudo e ensino.  
3. Professores – Formação. I. Reyes, José Luis Escamilla.

CDD 371.72

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



## PRÓLOGO

En este volumen, se presentan los resultados de varios y diversos proyectos de investigación en innovación educativa relacionados con la enseñanza de las ciencias y la ingeniería, tanto en niveles universitarios como básicos. Es así como, a través de distintas experiencias, se aborda la enseñanza de la Física, la Química Analítica y la enseñanza de temas matemáticos tales como la Aritmética y el Álgebra. También, se explora la incorporación de nuevas alternativas como la Inteligencia Artificial y sus aplicaciones en la enseñanza de las ciencias, particularmente de la Química.

Adicionalmente, en este libro se discuten los procesos de evaluación, no sólo de las actividades realizadas por los alumnos en los diferentes niveles educativos, sino de la pertinencia y adecuación del currículum en las disciplinas científicas, dentro de las que se puede mencionar a la Química Analítica y las Ciencias Exactas en general.

Por supuesto, hago la invitación a nuestros lectores para que disfruten la lectura de estos artículos de innovación educativa y, si son docentes en activo, que implementen alguna o varias de las estrategias y metodologías expuestas en este volumen con el fin de enriquecer su práctica docente y, de esta manera, contribuir en la mejora de los procesos educativos desde los niveles básicos hasta los universitarios.

Finalmente, los autores de este libro agradeceremos la retroalimentación y los comentarios propositivos que nos hagan llegar, puesto que lo más importante es asegurar que nuestros alumnos tengan una educación de calidad y que logren un aprendizaje significativo que les permita superar con éxito los problemas tanto en su formación académica como en su vida cotidiana.

Dr. José Luis Escamilla Reyes

## SUMÁRIO

### NUEVAS PERSPECTIVAS EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS E INGENIERÍA

#### **CAPÍTULO 1..... 1**

LINEAR MOTION AND STATIC FRICTION COEFFICIENT USING HOTWHEELS TOYS

Uriel Rivera-Ortega

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3110242911](https://doi.org/10.37572/EdArt_3110242911)

#### **CAPÍTULO 2..... 11**

INVESTIGACIÓN FORMATIVA EN QUÍMICA ANALÍTICA

Norma Ruth López Santiago

María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3110242912](https://doi.org/10.37572/EdArt_3110242912)

#### **CAPÍTULO 3..... 23**

INTEGRACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ENSEÑANZA DE QUÍMICA:  
EXPERIENCIAS Y DESAFÍOS

Luis Bello

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3110242913](https://doi.org/10.37572/EdArt_3110242913)

#### **CAPÍTULO 4..... 33**

UNA MANERA DE AFIANZAR LA COMPETENCIA COMUNICATIVA EN ESTUDIANTES  
DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Marta Graciela Caligaris

Georgina Beatriz Rodríguez

Lucas Matías Maggiolini

Milton Tadeo Martin

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3110242914](https://doi.org/10.37572/EdArt_3110242914)

#### **CAPÍTULO 5..... 41**

LA INTERPOLACIÓN LAGRANGIANA, LAS SERIES DE FOURIER Y EL MODELADO  
MATEMÁTICO DEL PERFIL DE FIGURAS COTIDIANAS

José Luis Escamilla Reyes

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3110242915](https://doi.org/10.37572/EdArt_3110242915)

**CAPÍTULO 6..... 51**

ANALYZING THE USE OF THE KIRKPATRICK MODEL IN HIGHER EDUCATION:  
INSIGHTS FROM AN NSF-FUNDED CHEMISTRY CURRICULUM PROJECT

James Lipuma

Cristo Leon

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3110242916](https://doi.org/10.37572/EdArt_3110242916)

**ENFOQUES NOVEDOSOS PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EN LOS  
NIVELES BÁSICOS**

**CAPÍTULO 7..... 68**

EL TALLER DE CIENCIAS Y EL USO DEL MÉTODO CIENTÍFICO PARA PROMOVER  
EL PENSAMIENTO CIENTÍFICO EN PREESCOLARES

Karina Lisbet Ronzón Rodríguez

Ana Graciela Cortés Miguel

Kena Vásquez Suárez

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3110242917](https://doi.org/10.37572/EdArt_3110242917)

**CAPÍTULO 8..... 81**

POTENCIALIDADE DA PARTICIPAÇÃO DOS ALUNOS DO 1.º CICLO DO ENSINO  
BÁSICO NAS ATIVIDADES PRÁTICAS DE CIÊNCIAS

Daniel Rui de Brito Geraldo

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3110242918](https://doi.org/10.37572/EdArt_3110242918)

**CAPÍTULO 9..... 89**

DEVELOPING LEARNERS' ALGEBRAIC MANIPULATION ABILITY: A MATHEMATICS  
TEACHER/EDUCATOR REFLECTS ON PRE-SERVICE TEACHERS' INITIAL THOUGHTS

Barbara Kinach

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3110242919](https://doi.org/10.37572/EdArt_3110242919)

**CAPÍTULO 10..... 107**

ENSEÑANZA DE LAS FRACCIONES EN PRIMER CICLO BÁSICO. UNA EXPERIENCIA  
DE INTERVENCIÓN CON DOCENTES

Ana Luisa Alvarado Pinto

Carmen Cecilia Espinoza Melo

Erich Leighton Vallejos

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_31102429110](https://doi.org/10.37572/EdArt_31102429110)



<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>120</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>121</b>

# CAPÍTULO 1

## LINEAR MOTION AND STATIC FRICTION COEFFICIENT USING HOTWHEELS TOYS

Data de submissão: 09/09/2024

Data de aceite: 27/09/2024

**Uriel Rivera-Ortega**

Universidad Tecnológica de Puebla

Facultad de Mecatrónica

Puebla, Pue. México

<https://orcid.org/0000-0002-2391-9330>

**ABSTRACT:** This manuscript presents an automated and interactive STEM tool for estimating the average speed of a hotwheels car under the scheme of a non-uniform linear motion phenomenon, as well as to obtain the coefficient of static friction. The changing and sensing of the physical parameters of the experiment and the programming of the entire process, was carried out with a micro:bit, an expansion board and ultrasonic distance sensors; while the physical mounts for the cards and sensors were built using recycled MDF material and 3D printing. The educational resource is suitable to be applied in middle school, high school and first semesters of undergraduate levels in the field on Physics and Engineering.

**KEYWORDS:** Linear motion. Coefficient of static friction. STEM resource. Experiment.

## MOVIMIENTO LINEAL Y COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICA USANDO JUGUETES HOTWHEELS

**RESUMEN:** Este manuscrito presenta una herramienta STEM automatizada e interactiva para estimar la velocidad promedio de un automóvil hotwheels bajo el esquema de un fenómeno de movimiento lineal no uniforme, así como para obtener el coeficiente de fricción estática. La modificación y sensado de los parámetros físicos del experimento, así como la programación de todo el proceso, se realizó con un micro:bit, una tarjeta de expansión y sensores de distancia ultrasónicos; mientras que los soportes físicos para las tarjetas y sensores se construyeron utilizando material MDF reciclado e impresión 3D. El recurso educativo es adecuado para ser aplicado en los niveles de secundaria, preparatoria y primeros semestres de licenciatura en el área de Física e Ingeniería.

**PALABRAS CLAVE:** Movimiento lineal. Coeficiente de fricción estática. Recurso STEM. Experimento.

## 1 INTRODUCTION

There are several interpretations around the pedagogical meaning of student's interest, for instance: interest is the students' psychological state which develops over time as the students interact with the environment

(Hindi and Renninger, 2006), a dynamic state that arises through an ongoing transaction among goals, context, and actions (Thoman et al., 2012). Interest is the predisposition of students to spend time on topics, concepts, ideas, or activities. It has been also found by researchers that the interest of students in any topic or course of study have positive influence on their learning process and contributes to the choice of subjects/courses and careers they make (Hulleman and Harackiewicz, 2009).

In accordance with the aforementioned, STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) based education is one of the options to develop skills and keep/promote interest of students. For instance, it enhances exploration and curiosity on students from all ages, by: showing real-world applications, incorporating hands-on learning, developing critical thinking, encouraging creativity and experimentation, fomenting independent exploration and also collaboration, acquiring an overview of future careers by giving people skills that make them more employable and ready to fulfill the labour requirements, among others.

So, STEM educational resources applied in Physics or Engineering laboratories substitute classical teaching-learning processes focusing on project-based learning and including technology to emphasize the application of science. Some differences (Widya et al., 2019) between traditional and STEM education can be seen in the following figure.

Figure 1. Most relevant differences between traditional and STEM education.

Traditional education	vs	STEM education
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Memorize information</li> <li>-Passive learning</li> <li>-Closed projects/experiments</li> <li>-Theoretical/Relevant to test</li> <li>-Teacher centered</li> <li>(one-way transfer of knowledge)</li> <li>-Pre-defined knowledge application</li> <li>-Simple technology</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Understand information</li> <li>-Active learning</li> <li>-Open-ended projects/experiments</li> <li>-Hands-on/Relevant to real world</li> <li>-Student focused</li> <li>(one-way transfer of knowledge)</li> <li>-Creative knowledge application</li> <li>Technology-enhanced</li> </ul>
⋮		⋮

This proposal is based on the fact that the phenomenon of an object moving in linear motion (following a straight path) and its average speed are very common topics taught in Physics and Engineering middle school, high school, graduate and undergraduate courses. Also, sometimes they are covered by educators by following the traditional education methodology. In our day-to-day lives, linear motion and speed can be found in: the speedometer of a vehicle, a moving vehicle, the average speed while jogging, the speed of a sport ball and so on. Due to this, it is important to reinforce the

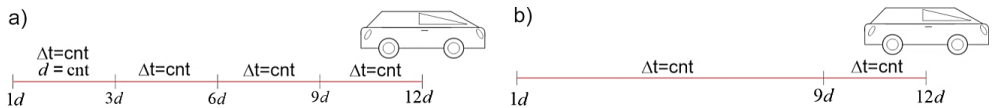
comprehension and interest of this phenomenon through a laboratory experiment by using an interactive and low cost STEM educational resource as the one proposed in this manuscript (taking into account that in some cases, the cost of didactic and educational equipment (PASCO CI-6724A, INDOSAW SW471) is very high).

In addition, a brief qualitative demonstration of how friction affects the motion of a mobile is carried out by using sand paper of different textures over the track.

## 2 THEORETICAL FRAMEWORK

Rectilinear motion, also known as linear motion occurs when an object changes its position from one point to another by following a straight line in one dimension. There are two types in this motion: uniform linear motion (constant velocity, hence zero acceleration) and non-uniform linear motion (with variable velocity, hence non-zero acceleration). Figure 2a) shows a vehicle moving a constant distance  $d$  in constant time intervals  $\Delta t = \text{cnt}$  (uniform linear motion, ulm). Figure 2b) shows a vehicle moving non-uniform distances in constant time intervals (non-uniform linear motion, nulm), so then presenting a variable velocity.

Figure 2. a) uniform linear motion and b) non-uniform linear motion.



The average speed (Zakariyah, 2014) is the total distance traveled for the object divided by the total elapsed time taken to travel that distance (the total period of time).

$$v_{avg} = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta d}{\Delta t} \quad (2)$$

When an object increases its velocity in a period of time, this object experiments acceleration. On the other hand, if the velocity decreases in intervals of time, it experiments deceleration:

$$a = \frac{v_o - v_f}{t} ; \quad a = \frac{v_o^2 - v_f^2}{2d} \quad (3)$$

Where:

$a$  = acceleration (desceleration if decreasing speed,  $-a$ )

$v_o$  = initial velocity

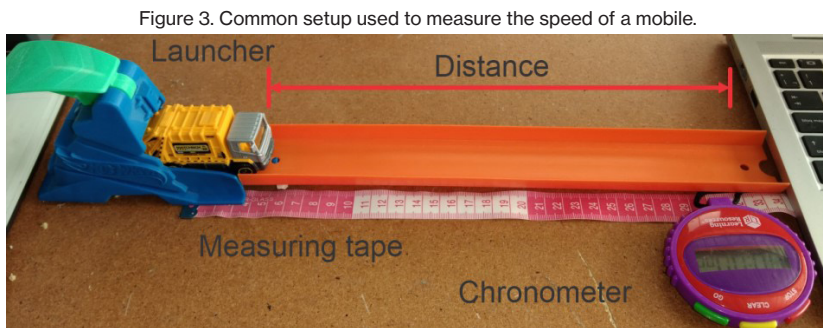
$v_f$  = final velocity

A force that goes against or resist the motion of one object over another is called friction force,  $F_f$ . So, friction acts in a direction opposite to its motion and slows it down. For a high coefficiente of friction there will be more friction. Hence, the resistance to the movement between two surfaces in contact is high. So then, the coefficiente of static friction (Xie et al., 2000) is the ratio between  $F_f$  and the normal force  $F_N$

$$F_f = \mu_s F_N. \quad (4)$$

### 3 METHODOLOGY

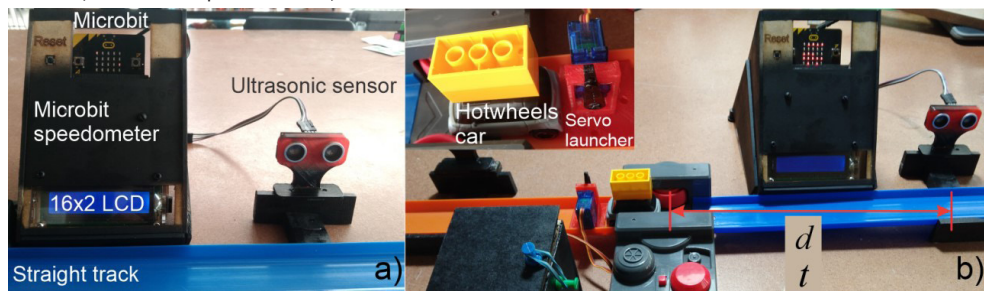
The present proposal calculates the instantaneous speed of a hotwheels car moving with linear motion over a straight track. Commonly, in classrooms or Physics laboratories it is accomplished by launching a toy car or a mobile object by hand or by using an external launcher. In which, the time and distance are measured with a chronometer and a measuring tape; respectively, as seen in Figure 3.



However, eventhough this a very simple methodology, it presents different error souces. For instance: it is hard to apply the same impluse for each experiment and, the initial and final time depend on the reaction of the user when using the chronometer. Therefore, different values regarding to the instantaneous speed would be obtained. In order to overcome the aforementioned drawbacks, the initial velocity of the car is given by a modified motorized car launcher controlled with a micro:bit board and an h-bridge motor driver (L298N).

The time in which the car passes through an specific distance is determined by an ultrasonic sensor (HC-SR04). So, by using Eq. (2), the instant speed can be obtained and shown in a 16x2 LCD. The time is internally taken from another micro:bit, which is also used to compute the formulas and to store the data from each experiment in a file that could be exported in Excel, for instance. Figure 4 shows the sensor and the speed measurement unit (micro:bit speedometer).

Figure 4. a) Motor speed controller and a modified car launcher, b) Speed measurement unit conformed by a micro:bit, a micro:bit expansion board, a 16x2 LCD and an ultrasonic sensor.

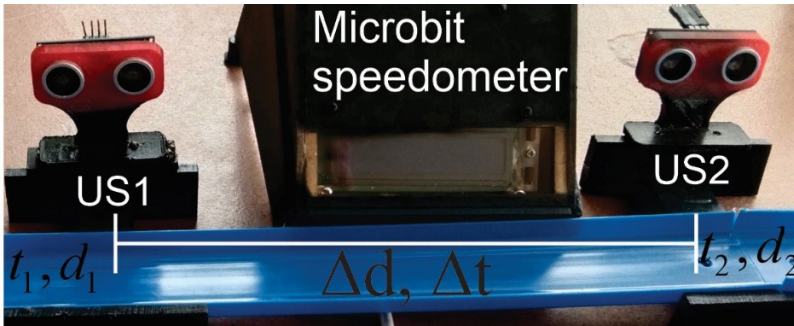


As mentioned in Eq.(2), the input variables needed to calculate the instant speed of a hotwheels car are: distance  $d$  and time  $t$ . The distance is given by the user before the experiment begins by continuously pressing the “A” button in the microbit:board, and pressing “B” to start the experiment. Once the car is impuled by the modified car launcher (with an initial impulse given by a servo motor, so the error generated by users manipulation can be eliminated), an internal time counter starts and will stop when the car passes in front of the ultrasonic sensor; calculating with this the instantaneous speed in that particular instant of time. Experimentally, the given input distance and the calculated instantaneous speed can be observed in the LCD.

Because the object loses speed with respect to time, it presents a decelerated movement, which obeys Eq. (3). A negative sign of the acceleration means a decelerated movement.

The average speed ( $v_{avg}$ ) can be calculated with the experimental setup depicted in the previous Figure 5. The internal time in the board will start counting when the car passes through the first ultrasonic sensor US1 and will stop when it passes through US2; obtaining with this the variable  $t_1$  and  $t_2$ , respectively. Before starting this experiment, the input distance from US1 to US2,  $\Delta d$  has to be previously given by the user.

Figure 5. The speed between two different points can be carried out under the following scheme.



### 3.1 COEFFICIENT OF FRICTION

Friction is a little more complex topic generally discussed in highschools and universities. However, this proposal deals with the coefficient of static friction with a simple modification of the experiment that is carried out by placing sand papers (or any other material) of different textures over the track; changing with this the value of  $\mu_s$  as show in Figure 6.

Figure 6. a) Different sand paper for different values of coefficient of friction.



Even though the calculation of the coefficient of static friction ( $\mu_s$ ) is not the main objective of this educational resource, it can be easily estimated by measuring the angle (friction angle,  $\theta = \theta_f$ ) at which an object begins to move over an incline plane

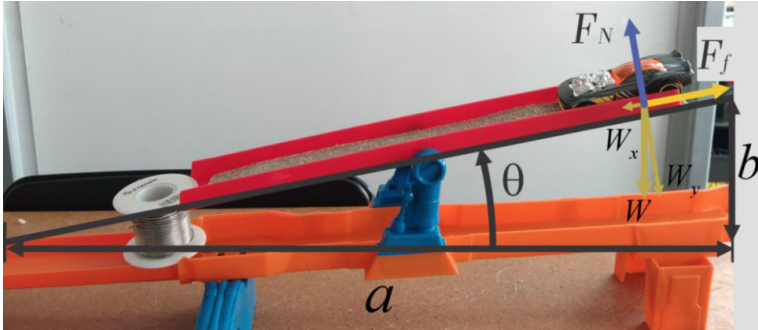
$$\mu_s \approx \tan \theta_f \approx \frac{b}{a} \quad (5)$$

The object will reach the critical angle (friction angle) when it starts moving. This is because while increasing the inclination of the plane  $\theta$ , the perpendicular component of the weight will decrease ( $W_y = mg \cos \theta$ , being  $m$  the mass of the object and  $g$  the acceleration due to gravity).

By making a small modification to the previously described experiment,  $\theta_f$  can be estimated by inclining a straight track and measure the angle at the precise moment

that the car starts moving (it worth mentioning that the wheels should be fixed or glued before the experiment). The student can also qualitatively prove the effect of changing the coefficient of  $\mu_s$  and also calculate it by placing sand paper of different textures over the track. Figure 7 shows the forces acting on a hotwheels car and the experimental setup used to calculate  $\theta_f$  and  $\mu_s$ .

Figure 7. Experimental setup used to calculate the friction angle and the coefficient of friction.

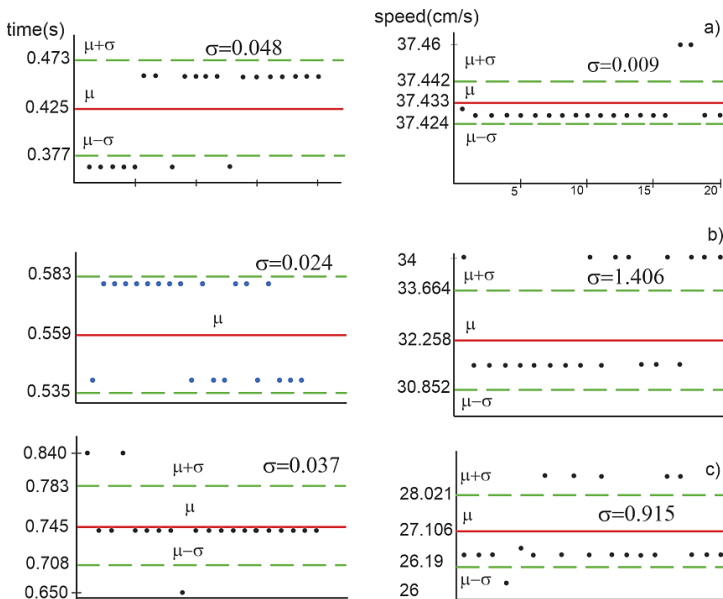


## 4 EXPERIMENTAL RESULTS

### 4.1 AVERAGE SPEED

The average ( $\mu$ ) and the average  $\pm$  standard deviation ( $\mu \pm \sigma$ ) due to a maximum, medium and low speed, regarding to 20 experiments under equal experimental conditions, for a distance of 18 cm can be seen in Figure 8.

Figure 8. a) Time and instantaneous speed regarding to a a) maximum, b) medium and c) low speed.





As standard deviation is used to measure the spread of values in a sample, it will be used to calculate the coefficient of variation regarding to the population (Jalililab et al., 2021) in order to measure how spread out values are relative to the mean.

$$CV = \frac{\sigma}{\mu} . \tag{6}$$

Table 1 depicts the calculated coefficient of variation regarding to the low, medium and high speed and time, respectively.

Table 1. Coefficient of variation regarding to the low, medium and high speed.

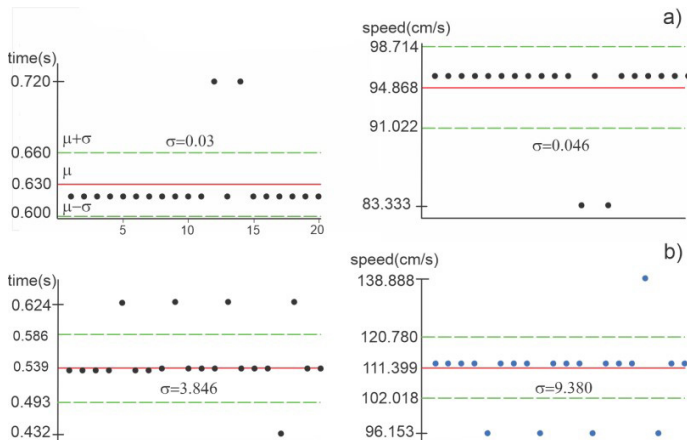
Speed (cm/s)			Time (s)		
Low speed	Medium speed	High speed	Low speed	Medium speed	High speed
$\mu=27.106$	$\mu=32.258$	$\mu=37.443$	$\mu=0.745$	$\mu=0.559$	$\mu=0.425$
$\sigma=0.915$	$\sigma=1.406$	$\sigma=0.009$	$\sigma=0.037$	$\sigma=0.024$	$\sigma=0.048$
$CV=0.033$	$CV=0.043$	$CV=.0002$	$CV=0.049$	$CV=0.043$	$CV=0.113$

A coefficient of variation of 5% (multiplying the CV by 100 to get the percentage) or less, denotes a good performance. So, the high speed presented a better performance. However, the medium and low have also relievable results.

## 4.2 AVERAGE SPEED WITH FRICTION

Figure 9 shows experimental results regarding to the speed and time of a hotwheels car traveling through a track with and without sand paper, respectively ( $d=54$  cm). It can be observed that the speed diminishes by increasing friction between the surfaces.

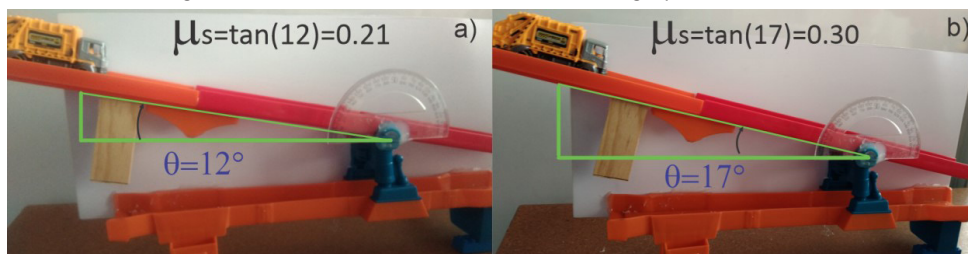
Figure 9. Instantaneous speed and time a) with and b) without sandpaper.



### 4.3 COEFFICIENT OF STATIC FRICTION

The following figure shows an example of how the coefficient of static friction between tires of a hotwheels car (remembering that the tires must be fixed) and a track could be calculated without a significant modification of the original setup.

Figure 9. Calculation of  $\mu_s$ , a) without and with masking tape over the track.



It can be observed that by covering the track with masking tape,  $\theta_f$  increases and, in consequence  $\mu_s$ . Materials with different rugosity can be added over the track in order to demonstrate this effect. In a hands-on class implementation, it would be firstly recommended to calculate the coefficient of friction before launching the car in order to observe its effect over the speed.

### 5 CONCLUSIONS

It has been presented an interactive and low-cost open source STEM tool (which means that the code can be easily modified in order to accomplish different user needs) with the aim of easing the teaching-learning process regarding to the topic of linear motion and friction; focusing on the concept of instantaneous speed and coefficient of static friction, for middle, high school and even first semester of university.

The main advantages of this educational resource, relies on the fact that it is accomplishes the STEM methodology. Which, unlike other commercial educational resources, offers a low implementation cost and, by applying different areas of knowledge, students with diverse interests in scientific areas (physics, mathematics, programming, design, etc.) can be motivated to use and modify this tool, as well as to implement new resources for other physical phenomena.

Finally, it worth mentioning that the variations in the speed and time shown in Figures 8 and 9 are due to voltage variations from the source, which modifies the speed of the car launcher.

## REFERENCES

- Hidi S. and Renninger K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational Psychologist*, 41(2), 111-127.
- Hulleman C. S. and Harackiewicz J. M. (2009). Promoting interest and performance in high school science classes. *Science* 326(5958), 1410-1412.
- Jalilibal Z., Amiri A., Castagliola P. and Khoo M. B. C. (2021). Monitoring the coefficient of variation: A literature review. *Computers and Industrial Engineering*, 161(107600), 1-16.
- Thoman D. B., Sansone C., Fraughton T. and Pasupathi M. (2012). How students socially evaluate interest: Peer responsiveness influences evaluation and maintenance of interest. *Contemporary Educational Psychology*. 37(4), 254-265.
- Widya, Rifandi R. and Rahmi Y. L. (2019). STEM education to fulfil the 21st century demand: a literature review. *Journal of Physics: Conference Series*. 1317(012208), 1-8.
- Xie W., De Meter E. C. and Trethewey M. W. (2000). An experimental evaluation of coefficients of static friction of common workpiece-fixture element pairs. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 40(4), 467-488.
- Zakariyah, S. (2014) *Linear Motion Explained With Worked Examples*. 10.13140/2.1.1581.4729.
- CI-6742A Motion sensor II and ME-5708A Basic smart cart metal track 1.2m system (PASCO) [Apparatus and software] (available at: <https://www.pasco.com/products/lab-apparatus/mechanics/dynamics-systems/me-5708>).
- SW471 Law of motion kit (INDOSAW) [Apparatus and software] (available at: <https://www.inspirephysics.com/law-of-motion-kit/>).

# CAPÍTULO 2

## INVESTIGACIÓN FORMATIVA EN QUÍMICA ANALÍTICA<sup>1</sup>

Data de submissão: 02/10/2024

Data de aceite: 14/10/2024

**Norma Ruth López Santiago**

LABQA y Depto. Química Analítica

Facultad de Química-UNAM

Ciudad de México, México

<https://orcid.org/0000-0002-3198-5186>

**María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar**

Depto. Química Analítica

Facultad de Química-UNAM

Ciudad de México, México

**RESUMEN:** La química analítica es una disciplina que juega un papel transcendental en diversas áreas como la farmacéutica, ambiental, alimentaria o forense. Los químicos analíticos tienen trabajos relacionados con el servicio, investigación y la educación, y se emplean en los sectores privados y gubernamentales, y en la academia, por ello

deben tener conocimientos profundos de instrumentación y estadística, una mente lógica e independiente, así como la capacidad de resolver problemas complejos. Desde esta perspectiva la investigación formativa se presenta como una herramienta esencial para el aprendizaje de la química analítica, ya que permite a los estudiantes involucrarse activamente en su proceso de aprendizaje a través de la experimentación y la resolución de problemas reales. Al integrar la investigación en el proceso de aprendizaje, se promueve una educación más dinámica y efectiva, que prepara a los estudiantes para ser investigadores competentes y profesionales capaces de enfrentar los desafíos científicos y tecnológicos del futuro. Involucrar a los estudiantes en investigaciones reales fomenta que ellos mismos construyan su conocimiento a través de la experiencia.

**PALABRAS CLAVE:** Investigación formativa. Química analítica. Educación superior. Enseñanza.

### FORMATIVE RESEARCH IN ANALYTICAL CHEMISTRY

**ABSTRACT:** Analytical chemistry is a discipline that plays a transcendental role in various areas such as pharmaceutical, environmental, food or forensics. Analytical chemists have jobs related to service, research and education, and are employed in the private and government sectors, and in

<sup>1</sup> Agradecimiento a la DGAPA por el financiamiento otorgado a través del proyecto. A la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM por el apoyo otorgado a través del proyecto PE201324 Apoyo a la titulación y formación terminal desde la investigación formativa y docencia en química analítica. A la Lic. Pamela Rodríguez López por la elaboración de las figuras.

academia, so they must have in-depth knowledge of instrumentation and statistics, a logical and independent mind, as well as the ability to solve complex problems. From this perspective, formative research is presented as an essential tool for learning analytical chemistry, since it allows students to be actively involved in their learning process through experimentation and solving real problems. By integrating research into the learning process, a more dynamic and effective education is promoted, which prepares students to be competent researchers and professionals capable of facing the scientific and technological challenges of the future. Involving students in real research encourages them to build their knowledge themselves through experience.

**KEYWORDS:** Formative research. Analytical chemistry. Higher education. Teaching.

## 1 INTRODUCCIÓN

La educación superior está intensamente vinculada con la investigación para iniciar la formación en investigación de los estudiantes, es decir para enseñar a hacerla; y en su aplicación directa, ya sea para la resolución de un problema concreto o bien para la generación de conocimiento (Restrepo, 2003). El proceso de formación de profesionales en el área de la química incluye el desarrollo óptimo de habilidades investigativas que le permitan proponer y llevar a cabo investigaciones científicas (Abad et al, 2021; FQ-UNAM, 2024). En este sentido la investigación formativa (IF) se ha convertido en una herramienta educativa esencial a nivel universitario, su relevancia radica en su capacidad para transformar la forma en que los estudiantes aprenden y aplican el conocimiento (Espinoza, 2020). La IF posee un enfoque educativo constructivista, se centra en el desarrollo continuo de los conocimientos y habilidades de los educandos a través de la investigación y la reflexión crítica, insertándose en el proceso de aprendizaje, para promover tanto una comprensión más profunda como la adquisición y fortalecimiento de habilidades prácticas a través de la participación activa en tareas investigativas, brinda experiencias de aprendizaje únicas en los estudios universitarios (Valencia et al, 2015; Asis et al, 2022). La IF contribuye al incremento de las capacidades y libertades humanas que favorecen la reducción de la desigualdad social (Valencia et al, 2015), y formar a los estudiantes para que tengan la capacidad de proponer, diseñar y ejecutar un proyecto de investigación en su futura área de desempeño laboral (Asis et al, 2022). LA IF hace referencia a los procesos de adquisición, construcción y reconstrucción de conocimientos (López et al, 2023), así mismo es una potente herramienta pedagógica para fortalecer el concepto de los estudiantes como investigadores desde el inicio mismo de sus carreras (Espinoza, 2020; Imbert et al, 2024).

## 2 INVESTIGACIÓN FORMATIVA EN QUÍMICA ANALÍTICA

La Química Analítica (QA) es una disciplina que juega un papel importante en diversas áreas, como la farmacéutica, ambiental y forense. El Depto. de Química Analítica de la Facultad de Química-UNAM la define como “...el conjunto de estrategias y tácticas de las mediciones químicas...” (FQ-UNAM, 2023). Los químicos analíticos tienen trabajos relacionados con el servicio, investigación y la educación, empleándose en los sectores privado y gubernamental, entre las actividades que pueden efectuar están: la realización de investigaciones, desarrollo y diseño de instrumentos y métodos, y preparación de la documentación relacionada (Zippia, 2024). Dado el carácter práctico del quehacer analítico y su relevancia, es crucial que los estudiantes desarrollen una comprensión profunda de los principios teóricos y habilidades prácticas específicas para identificar y cuantificar componentes químicos en diversas muestras. Desde esta perspectiva la IF se presenta como una herramienta esencial para el aprendizaje de la QA, ya que permite a los estudiantes involucrarse activamente en su proceso de aprendizaje a través de la experimentación y la resolución de problemas reales. Los alumnos aprenden y aplican los principios fundamentales de la disciplina, lo que mejora su capacidad para realizar análisis químicos precisos y confiables, a la par se fomenta un ambiente de aprendizaje colaborativo, crítico y de reflexión, promoviendo así un aprendizaje más profundo, desarrollo del pensamiento crítico, trabajo colaborativo, habilidades comunicativas orales y escritas, así como la resolución de problemas (Committee on Professional Training, 2015; Hadinugrahaningsih et al, 2017; Ananda et al, 2023; López et al, 2023).

El surgimiento de la IF se da en las aulas de clase, y es allí en donde radica su mayor capacidad de acción (Gamboa, 2013), la investigación científica es una de las características de la enseñanza superior; lo que implica que los egresados universitarios pueden y deben desarrollar durante su formación habilidades investigativas (Espinoza, 2020). En diversas universidades a nivel mundial como las Universidades de Michigan, de Barcelona, Facultad de Química-UNAM, se efectúa la inserción de los estudiantes a los procesos investigativos (Espinoza, 2020, FQ-UNAM, 2024).

## 3 IMPACTO Y BENEFICIOS DE LA INVESTIGACIÓN FORMATIVA EN QUÍMICA ANALÍTICA

La IF en QA facilita la comprensión de los conceptos teóricos y el desarrollo de habilidades prácticas esenciales para la resolución de problemas y la realización de

experimentos de laboratorio. Su incorporación en la enseñanza de la química analítica a nivel universitario es crucial por varias razones (Gamboa, 2013; Committee on Professional Training, 2015; Hadinugrahaningsih et al, 2017; Espinoza, 2020; Asis et al, 2022; Ananda et al, 2023; López et al, 2023; Zippia, 2024):

- A. Mejora del aprendizaje activo.** Los estudiantes participan de manera dinámica en su proceso educativo, en actividades de investigación real, se promueve una comprensión más profunda y significativa de los conceptos.
- B. Desarrollo de habilidades de investigación.** La IF permite a los estudiantes desarrollar competencias en investigación científica, a través de proyectos de investigación y estudios de caso aprenden a formular hipótesis, diseñar experimentos, analizar datos y presentar sus hallazgos, lo que les prepara mejor para roles de investigación, desarrollando su capacidad de independencia cognoscitiva.
- C. Comprensión teórica.** Apoya en la comprensión de conceptos complejos.
- D. Desarrollo de habilidades prácticas.** La IF permite a los estudiantes aplicar teorías aprendidas en el aula a situaciones prácticas, desarrollando así las destrezas prácticas en el laboratorio y en manejo de instrumentos de técnicas analíticas esenciales.
- E. Fomento del pensamiento crítico y resolución de problemas.** El involucramiento de los estudiantes en investigaciones, promueve el desarrollo del pensamiento crítico e incrementa la capacidad de resolver problemas complejos, habilidades esenciales de un químico analítico.
- F. Preparación para el mercado laboral.** La experiencia en IF prepara mejor a los estudiantes para el mercado laboral, ya que la capacidad de realizar investigaciones independientes y trabajar en proyectos colaborativos es altamente valorada.

En la Figura 1 se presenta el Impacto y beneficios de la investigación formativa en química analítica.

Figura 1. Impacto y beneficios de la investigación formativa en química analítica.



Elaborado por P. Rodríguez con información de (Gamboa, 2013; Committee on Professional Training, 2015; Hadinugrahaningsih et al, 2017; Espinoza, 2020; Asis et al, 2022; Ananda et al, 2023; López et al, 2023; Zippia, 2024).

- G. Mejora del compromiso y motivación.** La participación activa en proyectos de investigación puede aumentar el interés y la motivación intrínseca de los estudiantes, haciendo el aprendizaje más relevante y significativo.
- H. Innovaciones pedagógicas.** Ejemplos de nuevas técnicas de enseñanza que han surgido a partir de investigaciones formativas.

#### 4 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Entre las técnicas y herramientas que se emplean para implementar la investigación formativa se encuentran (Espinoza, 2020; Abad et al, 2021; Anthrologica, 2022; Asis et al, 2022), Figura 2:

- **Actividades y ejercicios**, favorecen el desarrollo de habilidades prácticas e investigativas, y fomentan la reflexión crítica del trabajo desarrollado, argumentación fundamentada y el análisis comparativo, entre otras.
- **Aprendizaje basado en problemas**, a partir de una situación problemática se promueve la investigación y se vinculan los conocimientos adquiridos con las necesidades del entorno para proponer soluciones.



- **Ensayos**, con estructura científica, apartados como antecedentes, metodología, variables, resultados, discusión y argumentación, conclusiones y referencias.
- **Estrategia de investigación**. Se adquieren y fortalecen conocimientos y habilidades, formulan de propuestas de solución a problemas, hay gestión de información, uso de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, integración del estado del arte y construcción del marco teórico referencial.
- **Proyectos institucionales de investigación**, para integrar la docencia y la investigación. Permiten una participación relevante del alumno, ya que éste puede contribuir en el desarrollo, validación y aplicación de métodos analíticos, participara en la generación de los documentos científicos como protocolos, procedimientos o informes, en procesamiento de la información.
- **Prácticas profesionales**, las cuales pueden ser efectuadas por el alumno en laboratorios relacionados al área de la química analítica, donde se pueden aplicar y consolidar los conocimientos adquiridos durante sus estudios universitarios para la solución de problemas específicos.
- **Semilleros**. Son una estrategia que permite abordar el conocimiento de forma constructiva y activa, la participación en ellos favorece el trabajo en equipo, independiente, dirigido; fomenta la creatividad; permite la generación de estrategias de investigación y de herramientas metodológicas, y resultan beneficiosas tanto para docencia como para investigación.
- **Trabajo cooperativo**, se asimilan los elementos que integran el proceso de investigación, se desarrollan y consolidan habilidades diversas como elaborar propuestas, protocolos, llevara a cabo experimentos, procesar y analizar los resultados e interpretarlos; para finalmente elaborar y presentar el informe de la investigación.

Figura 2. Técnicas y herramientas de la investigación formativa.



Elaborado por P. Rodríguez con información de (Espinoza, 2020; Abad et al, 2021; Anthrologica, 2022; Asis et al, 2022)

## 5 APLICACIÓN A LA QUÍMICA ANALÍTICA

Diseñar estudios de IF en QA implica seguir un proceso estructurado para explorar y desarrollar métodos analíticos, técnicas de instrumentación y aplicaciones prácticas. A continuación, se presenta una propuesta de estrategia para investigación formativa, vista como un proyecto de investigación-acción (Gamboa, 2013; Hernández et al, 2014; Espinoza, 2020; Hurtado, 2020):

- A. Definición del Problema o tema de investigación.** Definir con claridad el problema que se desea resolver y justificar por qué es importante abordarlo y cómo podría beneficiar la aplicación específica.
- B. Revisión en la literatura.** Hay que explorar la literatura científica pertinente al tema para identificar los métodos que ya se encuentran propuestos, así como sus fortalezas y debilidades.
- C. Establecimiento de objetivos y preguntas de Investigación.** Se deben definir los objetivos que se desean alcanzar, por ejemplo, desarrollar y validar un nuevo método analítico o mejorar la precisión intermedia de un método existente. También hay que formular las preguntas de investigación que

se deben responder tanto con la investigación teoría como con el trabajo experimental, las interrogantes deben ser investigables y relevantes para tu campo de estudio.

- D. Metodología experimental.** Efectuar la selección de métodos y técnicas, y diseña una estrategia de la experimentación, incluyendo la definición de insumos, equipos, tipo de muestras, controles de calidad, los participantes, como se hará la documentación, y el tiempo estimado.
- E. Trabajo experimental.** Realizar los experimentos de acuerdo con el plan diseñado, documentando cada etapa. Para el análisis de datos es esencial el empleo de métodos estadísticos.
- F. Evaluación preliminar.** Evaluar los resultados que se han obtenido, y la correspondencia con los objetivos y preguntas de investigación. Con base en ellos se pueden ir obteniendo conclusiones preliminares sobre la viabilidad y eficacia de los métodos analíticos desarrollados o mejorados.
- G. Iteración y ajuste.** La perspectiva de la investigación-acción del proyecto se basa en ciclos repetidos de análisis para conceptualizar y rediseñar el problema una y otra vez. Así con base en los hallazgos, se refina el proyecto, por medio de ajustes al enfoque experimental si es preciso y se realiza las iteraciones necesarias para mejorar los métodos desarrollados. Cuando es pertinente se realiza una validación preliminar de los métodos desarrollados para evaluar su robustez y aplicabilidad.
- H. Documentación.** Informe detallado de la investigación incluyendo una introducción, objetivos, preguntas de investigación, la metodología empleada, resultados obtenidos y conclusiones alcanzadas, y las referencias consultadas.
- I. Comunicación.** Durante todo el proceso investigativo debe haber una interacción constante entre estudiante y el docente responsable (tutor. Para compartir el trabajo con la comunidad científica se pueden presentar los hallazgos de la investigación en eventos académicos y considerar la publicación en revistas especializadas.

***Ejemplo: Evaluación de metodologías analíticas para la determinación de contaminantes orgánicos***

Tema de Investigación: Desarrollo de un método analítico para la determinación de contaminantes orgánicos en muestras de agua potable.

#### **A. Definición del problema o tema de investigación**

- Identificación. Desarrollar un método analítico sensible y selectivo para detectar trazas de contaminantes orgánicos en agua potable.
- Justificación. Mejorar la seguridad y calidad del agua potable mediante la detección temprana y precisa de contaminantes que podrían representar riesgos para la salud pública.

#### **B. Revisión en la literatura**

- Revisión de métodos existentes para la extracción y determinación de contaminantes orgánicos en agua.
- Selección de la literatura relevante

#### **C. Establecimiento de Objetivos y preguntas de Investigación**

- Objetivo. Desarrollar un método de cromatografía de líquidos para la detección simultánea de contaminantes orgánicos en agua potable.
- Preguntas de investigación. ¿Cuáles son las condiciones óptimas para la extracción de los contaminantes orgánicos de las muestras de agua potable? ¿Cuáles son las condiciones cromatográficas más adecuadas para cuantificar a los analito de interés?

#### **D. Metodología experimental**

- Elección justificada del método con el que se trabajará.
- Diseño de experimentos para optimizar la extracción de muestras y las condiciones cromatográficas.

#### **E. Trabajo experimental**

- Ejecución de experimentos
- Procesamiento de los datos y análisis estadístico.

#### **F. Evaluación preliminar**

- Evaluación de la sensibilidad, precisión y robustez del método desarrollado, y de otros factores como manejo y almacenamiento de muestras, costo, tiempo,
- Conclusiones preliminares. Determinación de la aplicabilidad del método para la detección de contaminantes orgánicos en muestras reales de agua potable.

#### **G. Iteración y ajuste**

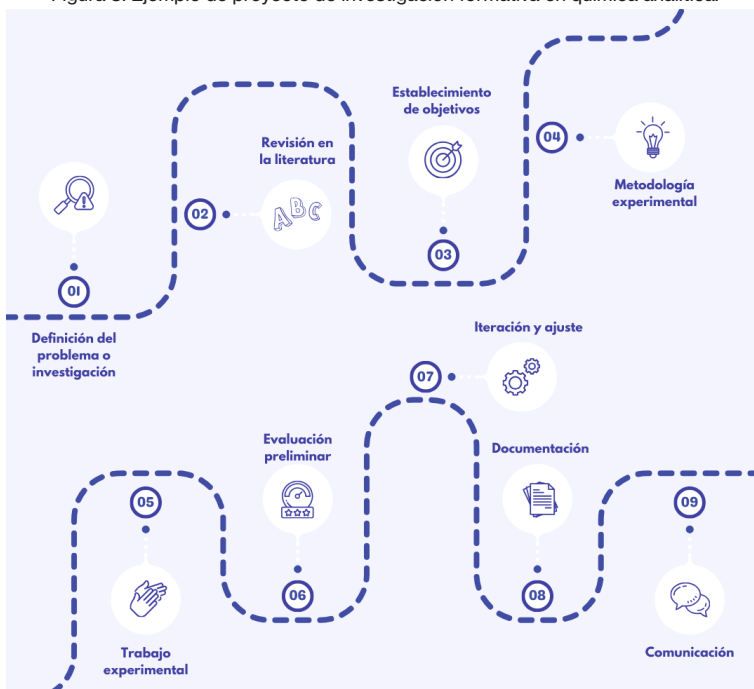
- Refinamiento. Modificación del método según sea necesario para optimizar los parámetros de desempeño del mismo.
- Aplicación a muestras reales.

**H. Documentación.** Protocolo de desarrollo y validación del método, registros técnicos e informe de resultados.

**I. Comunicación (algunas opciones).** Informe, presentación en foros académicos y/o publicación de artículo

Diseñar estudios de investigación formativa en QA requiere paciencia, meticulosidad y una comprensión profunda de los principios científicos y técnicas analíticas pertinentes, en la Figura 3 se presenta la secuencia propuesta a seguir en un proyecto de investigación formativa en QA.

Figura 3. Ejemplo de proyecto de investigación formativa en química analítica.



Elaborado por P. Rodríguez con información de (Gamboa, 2013; Hernández et al, 2014; TIC Innovación, 2015; Espinoza, 2020; Hurtado, 2020)

## 6 CONCLUSIÓN

La investigación formativa en química analítica representa una metodología poderosa que va más allá de la simple transmisión de conocimiento. Al integrar la investigación en el proceso de aprendizaje, se promueve una educación más dinámica y efectiva, que prepara a los estudiantes para ser investigadores competentes y profesionales capaces de enfrentar los desafíos científicos y tecnológicos del futuro. Involucrar a los estudiantes en investigaciones reales fomenta que ellos mismos

construyan su conocimiento a través de la experiencia directa y la reflexión crítica, se preparan para afrontar desafíos profesionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abad Camacho, C. G., Rivera Ríos, A. R., y Romero Arcaya, A. S. (2021). La titulación profesional como corolario de la investigación formativa en Ecuador. *Revista Sociedad & Tecnología*, 1(1), 18-27. ISSN: 2773-7349

Ananda, L., Rahmawati, Y., y Khairi, F. (2023). Critical Thinking Skills of Chemistry Students by Integrating Design Thinking with STEAM-PjBL. *Journal of Technology and Science Education*, 13(1), 352-367. <https://doi.org/10.3926/jotse.1938>

Anthrologica. (2022). *Anthrologica.com/*. Recuperado el 19 de 06 de 2024, de [https://www.anthrologica.com/application/files/7016/7885/1477/Anthrologica\\_WFP\\_Methods\\_Paper\\_Spanish\\_FINAL.pdf](https://www.anthrologica.com/application/files/7016/7885/1477/Anthrologica_WFP_Methods_Paper_Spanish_FINAL.pdf)

Asis López, M. E., Monzón Briceño, E., & Hernández Medina, E. (2022). Investigación formativa para la enseñanza y aprendizaje en las universidades. *Mendive*, 20(2), 675-691. ISSN: 1815-7696

Committee on Professional Training. (2015). *American Chemical Society*. (A. C. Society, Ed.) Recuperado el 12 de 06 de 2024, de <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/about/governance/committees/training/acsapproved/degreeprogram/development-of-student-skills.pdf>

Espinoza Freire, E. (2020). La investigación formativa. Una reflexión teórica. *Revista Conrado*, 16(74), 45-53. ISSN: 1990-8644

Facultad de Química UNAM. (2023). Obtenido de Departamento de Química Analítica: <https://quimica.unam.mx/la-facultad/organizacion/departamentos-academicos/quimica-analitica/#presentacion-qa>

FQ-UNAM. (2024). *Facultad de Química-UNAM*. Recuperado el 26 de 06 de 2024, de <https://quimica.unam.mx/ensenanza/licenciaturas/presentacion/>

Gamboa Bobadilla, C. A. (2013). *Apuntes sobre investigación formativa*. Ibagué, Colombia: © Carlos Arturo Gamboa Bobadilla. ISBN: 978-958-44-3693-1

Hadinugrahaningsih, T., Rahmawati, Y., y Ridwan, A. (2017). Developing 21st Century Skills in Chemistry Classrooms: Opportunities and Challenges of STEAM Integration. En *The 4th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Science (4th ICRIEMS)* (030008-1-030008-8). Melville, New York: AIP Publishing. doi: 10.1063/1.4995107

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). México: McGraw-Hill.

Hurtado de Barrera, J. (2020). *CESE*. Recuperado el 2024, de <https://dariososafoula.files.wordpress.com/2017/01/hurtado-de-barrera-metodologicc81a-de-la-investigaciocc81n-guicc81a-para-la-comprensiocc81n-holicc81stica-de-la-ciencia.pdf>

Imbert Romero, D., Rebollo, C., Cabrera Borges, B., Elósegui, E., Torres, J., y Otero, L. (2024). Formative research in teacher training: A case study carried out in Uruguay. *International Journal of Educational Research*, 125(1), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijer.2024.102345>

López Roque, F., López Medina, F. L., y Moreira Macías, B. A. (2023). The Investigative Training from the improvement of the Educational Research Methodology in the Bachelor's Degree in Chemical Education. *Luz*, 22(4), 77-93. doi:ISSN 1814-151X

Restrepo Gómez, B. (2003). Investigación formativa e investigación productiva de conocimiento en la universidad. *Nómadas*, 18, 195-202.

TIC Innovación. (2015). B05.02 Las 4 fases de la Investigación - Acción. *B05.02 Las 4 fases de la Investigación - Acción*. España, España.

Valencia, J., Macias, J., y Valencia, A. (2015). Formative research in higher education: some reflections. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 176, 940-945. :doi: 10.1016/j.sbspro.2015.01.562

Zippia. (2024). Zippia "The career expert". Recuperado el 17 de 06 de 2024, de <https://www.zippia.com/analytical-chemist-jobs/>

## CAPÍTULO 3

### INTEGRACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ENSEÑANZA DE QUÍMICA: EXPERIENCIAS Y DESAFÍOS

Data de submissão: 02/10/2024

Data de aceite: 14/10/2024

**Dr. Luis Bello**

Chemistry Department  
Tulsa Community College  
Tulsa, Oklahoma, USA

<https://orcid.org/0009-0005-2877-7780>

**RESUMEN:** La Inteligencia Artificial (IA) ha emergido como una herramienta clave en la transformación de la educación, particularmente en la enseñanza de disciplinas como la química. Herramientas como los chatbots avanzados – ChatGPT, Gemini, Flexi y Khanmigo –, junto con plataformas educativas como Quizizz y Edpuzzle, están renovando la forma en que se enseña y aprende. Estas tecnologías permiten la personalización del contenido educativo, la creación de entornos interactivos y la retroalimentación inmediata, mejorando significativamente la experiencia del estudiante. Este trabajo tiene como objetivo compartir experiencias y analizar cómo la IA está cambiando la enseñanza de la química, desde simulaciones de laboratorio hasta tutorías personalizadas, subrayando tanto sus ventajas como sus desafíos. Finalmente, se proponen estrategias para mitigar los riesgos relacionados con la dependencia tecnológica

y las desigualdades de acceso, con el fin de maximizar los beneficios de la IA en el contexto educativo actu Inteligencia Artificial.

**PALABRAS-CLAVE:** Educación. Enseñanza de Química. Personalización del Aprendizaje. Tecnologías Educativasal.

#### INTEGRATING ARTIFICIAL INTELLIGENCE (AI) IN CHEMISTRY TEACHING: EXPERIENCES AND CHALLENGES

**RESUMO:** A Inteligência Artificial (IA) tem se mostrado uma ferramenta fundamental na transformação da educação, especialmente no ensino de disciplinas como a química. Ferramentas como chatbots avançados – ChatGPT, Gemini, Flexi e Khanmigo –, em conjunto com plataformas educacionais como Quizizz e Edpuzzle, estão revolucionando a forma como ensinamos e aprendemos. Essas tecnologias possibilitam a personalização do conteúdo educativo, a criação de ambientes interativos e o feedback instantâneo, melhorando significativamente a experiência do estudante. Este trabalho busca compartilhar experiências e analisar como a IA está moldando o ensino de química, desde simulações de laboratório até tutorias personalizadas, destacando tanto seus benefícios quanto seus desafios. Por fim, são propostas estratégias para mitigar os riscos relacionados à dependência tecnológica e às desigualdades de acesso, com o objetivo de maximizar os benefícios da IA no contexto educacional atual.



**PALAVRAS CHAVE:** Inteligência Artificial. Educação. Ensino de Química. Personalização da Aprendizagem. Tecnologias Educacionais.

## INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CHEMISTRY EDUCATION: EXPERIENCES AND CHALLENGES

**ABSTRACT:** Artificial Intelligence (AI) has emerged as a key tool in transforming education, particularly in teaching subjects such as chemistry. Advanced chatbots like ChatGPT, Gemini, Flexi, and Khanmigo, along with educational platforms like Quizizz and Edpuzzle, are revolutionizing how we teach and learn. These technologies enable the personalization of educational content, the creation of interactive environments, and immediate feedback, significantly improving the student experience. This work aims to share experiences and analyze how AI is changing chemistry teaching, from laboratory simulations to personalized tutoring, highlighting its advantages and challenges. Finally, strategies are proposed to mitigate risks related to technological dependence and access inequalities, to maximize the benefits of AI in the current educational context.

**KEYWORDS:** Artificial Intelligence. Education. Chemistry Teaching. Personalized Learning. Educational Technologies.

### 1 INTRODUCCIÓN

#### 1.1 ¿QUÉ ES LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL?

La inteligencia artificial (IA) es un campo de la informática que se enfoca en la creación de sistemas capaces de realizar tareas que, normalmente, requieren de la inteligencia humana. Estas tareas incluyen el reconocimiento de voz, la toma de decisiones, la resolución de problemas, el reconocimiento de patrones y la traducción de idiomas. La IA se logra mediante diversas técnicas, incluyendo el aprendizaje automático (*machine learning*), el procesamiento del lenguaje natural (NLP), y las redes neuronales.

La IA tiene un gran potencial para transformar la educación<sup>1</sup>, ofreciendo herramientas y métodos innovadores que pueden mejorar tanto la enseñanza como el aprendizaje. En el ámbito de la enseñanza de Química<sup>2</sup>, la IA ofrece oportunidades sin precedentes para mejorar la comprensión de conceptos complejos, personalizar el aprendizaje y optimizar la experiencia educativa. A medida que los métodos tradicionales de enseñanza enfrentan desafíos en la captación y retención del interés estudiantil, la integración de tecnologías avanzadas promete renovar el enfoque pedagógico y proporcionar herramientas innovadoras tanto para estudiantes como para profesores.

<sup>1</sup> Bello, L., y Martínez Sánchez, F. R. (2023). Inteligencia Artificial en el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Maestro y Sociedad*, 20(4), 1165-1173. <https://maestrosociedad.uo.edu.cu>.

<sup>2</sup> Bello, L. (2024). Enhancing Chemistry Instruction through Artificial Intelligence: A Case Study from Tulsa Community College. Presentación en la Conferencia BCCE24. University of Kentucky. Summer 2024. <https://bcce.divched.org/>.

La IA puede analizar grandes volúmenes de datos para identificar patrones de aprendizaje y dificultades comunes, lo que permite diseñar programas educativos más efectivos y personalizados. Además, las aplicaciones de IA pueden proporcionar retroalimentación instantánea, simulaciones interactivas y tutoría automatizada, facilitando un entorno de aprendizaje dinámico y adaptativo.

A través de ejemplos prácticos y análisis de casos, se examinan los beneficios, retos y perspectivas futuras de esta innovadora intersección entre tecnología y educación.

## 2 APLICACIONES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

1. **Laboratorios Virtuales y Simulaciones:** Utilizar simulaciones virtuales para permitir a los estudiantes realizar experimentos químicos de manera segura y económica.
2. **Tutorías Personalizadas con IA:** Implementar sistemas de tutoría impulsados por IA que puedan adaptarse a las necesidades individuales de cada estudiante.
3. **Evaluación y Retroalimentación Automática:** Utilizar algoritmos de IA para corregir y proporcionar retroalimentación instantánea en pruebas y ejercicios.
4. **Asistentes Virtuales y Chatbots:** Integrar chatbots y asistentes virtuales que puedan responder preguntas frecuentes y proporcionar recursos adicionales.
5. **Creación de Contenidos Educativos Dinámicos:** Utilizar IA para generar contenidos educativos como quizzes, vídeos, y presentaciones basadas en los temas estudiados.
6. **Juegos Educativos Basados en IA:** Crear juegos educativos que utilicen IA para enseñar conceptos de química de manera lúdica.

## 3 HERRAMIENTAS BASADAS EN INTELIGENCIA ARTIFICIAL

ChatGPT: Este chatbot, desarrollado por OpenAI<sup>3</sup>, puede generar respuestas detalladas y comprensibles a preguntas complejas de Química, facilitando la comprensión de conceptos difíciles para los estudiantes.

<sup>3</sup> OpenAI. (2023). ChatGPT. Recuperado de <https://openai.com/>.

Figura 1- Creación de una práctica de Laboratorio para explicar la Ley de Conservación de la masa.

ChatGPT 4o

Disena una practica de laboratorio donde los estudiantes puedan comprobar la ley de conservacion de la masa, usando productos mas frecuentes usados en la casa.

🌐 Aquí tienes un diseño de una práctica de laboratorio sencilla para que los estudiantes puedan comprobar la **Ley de Conservación de la Masa** usando productos que comúnmente se encuentran en casa:

**Título de la práctica:**

Comprobación de la Ley de Conservación de la Masa usando bicarbonato de sodio y vinagre

**Objetivo:**

Demostrar la Ley de Conservación de la Masa en una reacción química simple utilizando materiales cotidianos.

**Materiales:**

- Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ )
- Vinagre (ácido acético diluido,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ )
- Balanza digital
- Vaso de precipitados o vaso de vidrio transparente
- Botella plástica pequeña con tapa (preferentemente transparente)
- Globo pequeño
- Cucharadita



Gemini<sup>4</sup>: Con capacidades similares a ChatGPT, Gemini se especializa en la personalización de respuestas basadas en el contexto del usuario, ofreciendo un apoyo más personalizado.

Figura 2- Retroalimentación dada a un estudiante usando Gemini.

ChatGPT 4o

Para calcular la sustancia limitante un estudiante lo hace sin balancear la ecuación química. Explícale al estudiante porque eso es un error

< 2/2 >

🌐 Cuando un estudiante intenta calcular el reactivo limitante sin balancear la ecuación química, comete un error fundamental porque la ecuación no balanceada no refleja las proporciones reales en las que las sustancias reaccionan. Las reacciones químicas obedecen a la ley de conservación de la masa, lo que significa que la cantidad de átomos de cada elemento debe ser la misma en ambos lados de la ecuación. Si la ecuación no está balanceada, las cantidades de reactivos y productos no estarán correctamente relacionadas.

Al calcular el reactivo limitante, se debe comparar la cantidad de moles de cada reactivo en función de la proporción estequiométrica de la ecuación balanceada. Esto permite determinar cuál reactivo se consumirá primero en base a las proporciones correctas. Si no se balancea la ecuación, esas proporciones estarán incorrectas, lo que llevará a resultados erróneos sobre cuál es el reactivo limitante y, en consecuencia, la cantidad de productos formados será incorrecta.

Es como seguir una receta sin las cantidades adecuadas de ingredientes: si no ajustas las cantidades de acuerdo a la receta (balancear la ecuación), los resultados no serán los esperados.

🔊 🗨️ 📄 🔄

<sup>4</sup> Gemini. (2024). A large language model from Google AI. Recuperado de <https://gemini.google.com/>

## 4 ¿QUÉ HACE FLEXI?

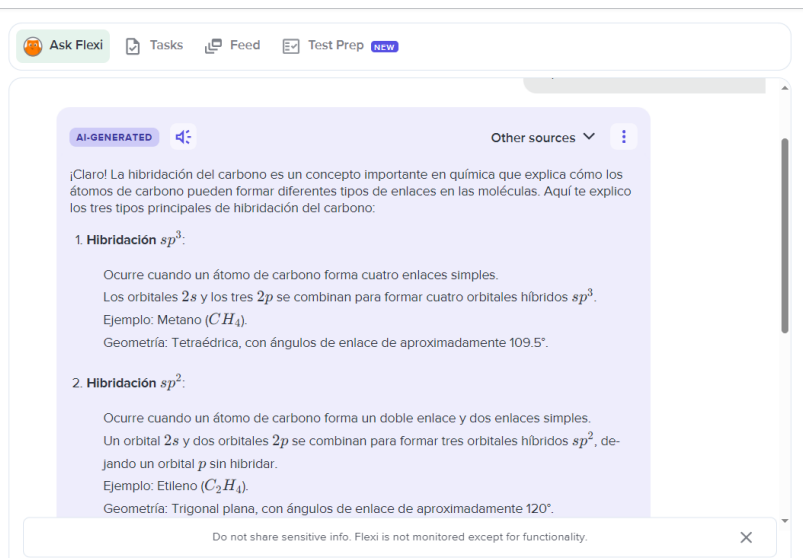
Flexi es un tutor inteligente desarrollado por Fundación CK-12 <sup>5</sup>, una organización educativa que ofrece recursos gratuitos y personalizados para el aprendizaje de ciencias, matemáticas y otras materias. Flexi utiliza inteligencia artificial para proporcionar apoyo educativo interactivo y adaptativo, ayudando a los estudiantes a comprender conceptos complejos y a mejorar su rendimiento académico.

Flexi es útil para:

1. Personalización del Aprendizaje adapta el contenido educativo según las necesidades individuales de cada estudiante.
2. Interacción en Tiempo Real: interactúa con los estudiantes en tiempo real, proporcionando retroalimentación instantánea y ayudando a resolver problemas de manera inmediata.
3. Explicaciones Claras y Accesibles: está diseñado para dar explicaciones claras y accesibles.

Figura 3- Usando el tutor Flexi para explicar la hibridación del átomo de Carbono.

ck-12



The screenshot shows the Flexi AI tutor interface. At the top, there are navigation buttons for 'Ask Flexi', 'Tasks', 'Feed', and 'Test Prep'. The main content area is titled 'AI-GENERATED' and contains the following text:

¡Claro! La hibridación del carbono es un concepto importante en química que explica cómo los átomos de carbono pueden formar diferentes tipos de enlaces en las moléculas. Aquí te explico los tres tipos principales de hibridación del carbono:

- 1. Hibridación  $sp^3$ :**  
Ocurre cuando un átomo de carbono forma cuatro enlaces simples.  
Los orbitales  $2s$  y los tres  $2p$  se combinan para formar cuatro orbitales híbridos  $sp^3$ .  
Ejemplo: Metano ( $CH_4$ ).  
Geometría: Tetraédrica, con ángulos de enlace de aproximadamente  $109.5^\circ$ .
- 2. Hibridación  $sp^2$ :**  
Ocurre cuando un átomo de carbono forma un doble enlace y dos enlaces simples.  
Un orbital  $2s$  y dos orbitales  $2p$  se combinan para formar tres orbitales híbridos  $sp^2$ , dejando un orbital  $p$  sin hibridar.  
Ejemplo: Etileno ( $C_2H_4$ ).  
Geometría: Trigonal plana, con ángulos de enlace de aproximadamente  $120^\circ$ .

At the bottom of the interface, there is a disclaimer: 'Do not share sensitive info. Flexi is not monitored except for functionality.'

## 5 ¿QUÉ HACE KHANMIGO?

Khanmigo<sup>6</sup> es un tutor virtual desarrollado por Khan Academy, una organización educativa sin fines de lucro. Khanmigo utiliza inteligencia artificial para ofrecer apoyo

<sup>5</sup> CK12.org. (n.d.). Flexi Tutor. Recuperado de <https://www.ck12.org/>.

<sup>6</sup> Khan Academy. (2024). Khanmigo Tutor. Recuperado de <https://www.khanacademy.org/khan-for-educators/resources/parents-mentors-1/helping-your-child/a/start-tutoring-with-khan-academy>.

educativo personalizado a estudantes de diversas idades e níveis. Este tutor virtual interactiva com os estudantes em tempo real, proporcionando explicações detalhadas, ajudando com problemas específicos e oferecendo recursos adicionais para melhorar o aprendizado.

Khanmigo é útil no âmbito educativo por várias razões:

1. Personalização do Aprendizaje: pode adaptar as lições e as explicações segundo as necessidades individuais de cada estudante.
2. Disponibilidade 24/7: está disponível em qualquer momento do dia, lo que es especialmente útil para los estudiantes que necesitan ayuda fuera del horario escolar tradicional.
3. Explicaciones Claras y Detalladas está programado para proporcionar explicações claras e detalhadas, utilizando un lenguaje sencillo.
4. Incremento de la Autonomía del Estudiante los estudiantes pueden aprender a su propio ritmo y desarrollar habilidades de autoaprendizaje.
5. Recursos Educativos Adicionales puede dirigir a los estudiantes a recursos educativos adicionales disponibles en Khan Academy, como videos, artículos y ejercicios interactivos, para complementar su aprendizaje.

Figura 4- Algumas de las herramientas disponible en Khanmigo.

Explore Search Khan Academy Khanmigo Donate belluis

Welcome, belluis Add your school

Khanmigo Tools NEW Classes Students Resources

### Khanmigo Tools

Free AI powered tools designed to save you time and improve instruction!

Tools My Documents

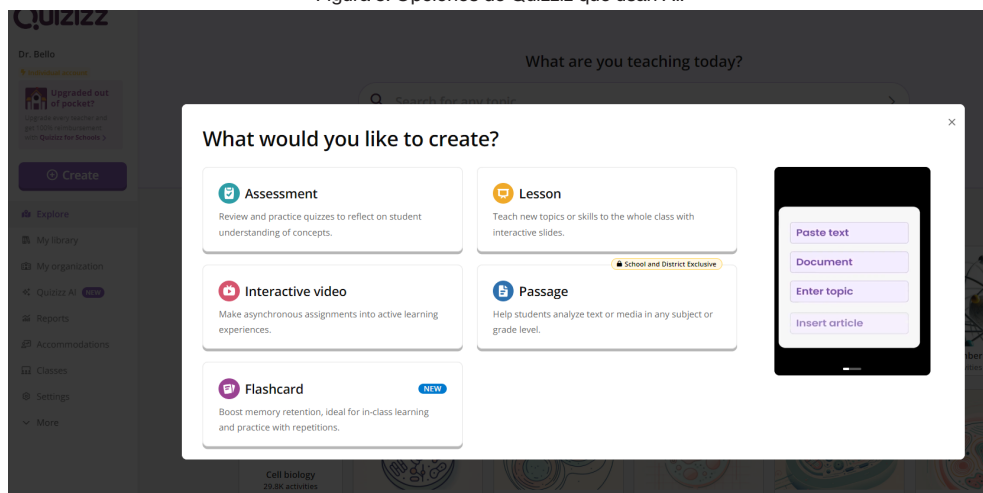
My Favorites All Tools Plan Create Differentiate Support Learn Search

- Chunk Text**: Break complex texts into manageable sections for easier student comprehension.
- Class Newsletter**: Produce engaging newsletters to keep parents informed about class activities.
- Class Snapshot**: Review your students' performance and trends.
- Clear Directions**: Generate concise, easy-to-follow instructions for assignments and activities.
- Discussion Prompts**: Craft engaging prompts to stimulate meaningful classroom discussions.
- Exit Ticket**: Create quick end-of-lesson assessments to check student understanding.
- Fun Class Summary Poem**: Transform memorable class moments into a creative poetic recap.
- IEP Assistant**: Streamline the creation of individualized Education Plans.
- Informational Text**: Create informational text for a variety of topics.
- Learning Objective(s)**: Develop clear, measurable learning objectives to guide instruction.
- Lesson Hook**: Plan compelling lesson starters to engage students.
- Lesson Plan**: Create structured, detailed lesson plans tailored to your curriculum and students' needs.

## 6 PLATAFORMAS EDUCATIVAS

Quizizz<sup>7</sup>: Esta plataforma utiliza IA para crear cuestionarios interactivos y juegos educativos, permitiendo a los docentes evaluar el progreso de los estudiantes de manera lúdica y efectiva.

Figura 5: Opciones de Quizizz que usan AI.



## 7 CREACIÓN DE CONTENIDO

- **Cuestionarios Personalizados:** Los profesores pueden crear cuestionarios desde cero o utilizar las plantillas y cuestionarios disponibles en la biblioteca de Quizizz. Estos cuestionarios pueden incluir preguntas de opción múltiple, verdadero/falso, respuestas cortas y más.
- **Inteligencia Artificial:** Quizizz utiliza IA para sugerir preguntas relevantes basadas en el contenido del cuestionario, lo que ahorra tiempo a los profesores y asegura que las preguntas estén alineadas con los objetivos de aprendizaje.
- **Banco de Preguntas:** Los profesores pueden acceder a un banco de preguntas extenso y de alta calidad, seleccionando y adaptando preguntas según las necesidades de sus estudiantes.

Edpuzzle<sup>8</sup>: Permite a los docentes crear lecciones interactivas en video, integrando preguntas y comentarios en puntos específicos del video para mantener a los estudiantes comprometidos y evaluados en tiempo real.

<sup>7</sup> Quizizz. (2024). Recuperado de <https://quizizz.com/>.

<sup>8</sup> Edpuzzle. (n.d.). Recuperado de <https://edpuzzle.com/>.

Figura 6. Vista de algunos videos/ejercicios disponibles en una cuenta de Edpuzzle.

The screenshot displays the Edpuzzle web interface. At the top, there is a search bar with the text "Add search terms or a YouTube link here" and a "Add new" button. Below the search bar, the "My Content" section is visible, featuring a search input and a "Search" button. The interface is divided into several sections: "My Content" (with options to "Add folder" and "Create playlist"), "My School", "Notifications", and "MY CLASSES" (listing "Chem I - Section 303", "Chem I - Section 373 Blended", "P. of Chem Section 101", and "P. of Chem\_Section 102"). The main area is titled "Videos" and shows a grid of video thumbnails. Each thumbnail includes a video player preview, a title, a duration, and a play button. The visible video titles are: "Virtual Percent Composition Lab", "1E - Energy in Chemistry", "Atoms vs Molecules", "Copy of Elements, Atoms, Molecules, Ions, and...", "Atoms, Ions, and Molecules: Differences and Examples", "(3) Atoms, Compounds, Molecules and Ions (11q)", "CHEM 212 Chap 20 Video 1 - Intro to Nuclear Chemistry", "Lewis Structure and VSEPR", "Empirical Formulae From Percentage Composition L...", "Chemical Nomenclature: Naming Chemical Compounds", "Periodic Table Trends", "14, Chapter 2 - Atomic Structure Practice", and "Sig Fig Rules! (Learning But Necessary)".

Edpuzzle es una plataforma que transforma videos en recursos educativos interactivos. Los profesores pueden tomar cualquier video y adaptarlo para sus lecciones añadiendo preguntas, notas de voz y comentarios. Esto no solo hace que el contenido sea más atractivo, sino que también permite una evaluación continua del entendimiento del estudiante.

## 8 EXPERIENCIAS ADQUIRIDAS

### Ventajas:

- **Accesibilidad:** Los estudiantes pueden acceder a los chatbots en cualquier momento, permitiéndoles resolver dudas fuera del horario de clase.
- **Apoyo Personalizado:** Los chatbots pueden adaptarse a las necesidades individuales de los estudiantes, ofreciendo explicaciones personalizadas y ajustadas a su nivel de comprensión.
- **Refuerzo del Aprendizaje:** A través de interacciones continuas con los chatbots, los estudiantes pueden reforzar y consolidar los conceptos aprendidos en clase.

### Desafíos:

- **Dependencia:** Existe el riesgo de que los estudiantes se vuelvan demasiado dependientes de los chatbots para obtener respuestas rápidas, en lugar de desarrollar habilidades de resolución de problemas por sí mismos.

- Exactitud: Aunque los chatbots son avanzados, no siempre proporcionan respuestas 100% precisas, lo que puede llevar a malentendidos si no se supervisa adecuadamente.

## 9 VENTAJAS DE LA IA EN LA EDUCACIÓN DE QUÍMICA

1. Personalización del Aprendizaje
2. Entornos Interactivos y Atractivos
3. Simulaciones de Laboratorio Virtual
4. Retroalimentación en Tiempo Real
5. Acceso a Recursos Educativos

## 10 DESAFÍOS DE LA INTEGRACIÓN DE IA

### **Brecha Tecnológica**

No todos los estudiantes y educadores tienen igual acceso a la tecnología necesaria para aprovechar al máximo las herramientas basadas en IA. Esta brecha tecnológica puede exacerbar las desigualdades existentes en la educación.

### **Privacidad y Seguridad de Datos**

El uso de herramientas basadas en IA implica la recolección y el análisis de grandes cantidades de datos sobre los estudiantes. Esto plantea preocupaciones sobre la privacidad y la seguridad de esos datos.

### **Calidad y Exactitud del Contenido**

Las herramientas basadas en IA deben ser cuidadosamente diseñadas y supervisadas para garantizar que el contenido educativo sea de alta calidad y exactitud.

## 11 CONCLUSIONES

La inteligencia artificial (IA) representa un cambio de paradigma en la enseñanza de la química al ofrecer nuevas formas de abordar el aprendizaje que son más dinámicas y adaptadas a las necesidades individuales de los estudiantes. Con la implementación de la IA, los educadores pueden acceder a herramientas avanzadas que facilitan la creación de entornos interactivos, donde los estudiantes pueden explorar conceptos complejos de manera visual y práctica, algo que resulta especialmente útil en una disciplina como la química, caracterizada por su alto nivel de abstracción. Estas plataformas pueden personalizar el ritmo y el enfoque del aprendizaje según las capacidades y preferencias de cada alumno, mejorando la comprensión y reteniendo el interés en el tema.



Sin embargo, el uso eficaz de la inteligencia artificial en el ámbito educativo no está exento de desafíos. Uno de los principales puntos a tener en cuenta es el equilibrio entre la integración de la tecnología y el desarrollo de habilidades críticas, como el razonamiento lógico, la resolución de problemas y el pensamiento creativo. La tecnología, aunque poderosa, no debe reemplazar la capacidad de los estudiantes para enfrentarse a situaciones complejas de forma autónoma. Más bien, debe actuar como una herramienta complementaria que potencie estas competencias. El enfoque en la enseñanza debe seguir siendo integral, garantizando que los alumnos no se vuelvan dependientes de las soluciones tecnológicas, sino que las utilicen como una ayuda para profundizar en su comprensión y capacidad analítica.

Además, para maximizar el impacto positivo de la IA en la educación, es esencial abordar la cuestión de la equidad en el acceso a estas innovaciones. Existe una brecha digital que puede dejar a ciertos grupos de estudiantes en desventaja, particularmente aquellos en comunidades con recursos limitados. La implementación de tecnologías avanzadas en el aula debe ir acompañada de políticas que aseguren que todos los estudiantes, independientemente de su contexto socioeconómico, tengan acceso igualitario a estas herramientas. Esto incluye garantizar la disponibilidad de dispositivos adecuados, acceso a internet de calidad, y la capacitación tanto de estudiantes como de profesores en el uso de estas tecnologías.

A medida que la inteligencia artificial sigue avanzando, la comunidad educativa se enfrenta al desafío de adaptarse a este nuevo panorama. La integración de la IA no solo requiere el uso de nuevas herramientas, sino también una reconfiguración de las metodologías de enseñanza tradicionales. Los educadores, administradores y formuladores de políticas deben trabajar en conjunto para desarrollar estrategias que permitan la incorporación de la IA de manera efectiva, sostenible y ética en el aula. Esto implica repensar los programas educativos, ofrecer formación continua a los profesores y establecer marcos que promuevan el uso responsable de la tecnología en la educación.

# CAPÍTULO 4

## UNA MANERA DE AFIANZAR LA COMPETENCIA COMUNICATIVA EN ESTUDIANTES DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Data de submissão: 10/09/2024

Data de aceite: 01/10/2024

### Marta Graciela Caligaris

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional San Nicolás  
Grupo Ingeniería & Educación  
San Nicolás de los Arroyos  
Buenos Aires – República Argentina  
<https://www.frsn.utn.edu.ar/gie/~mcaligaris>

### Georgina Beatriz Rodríguez

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional San Nicolás  
Grupo Ingeniería & Educación  
San Nicolás de los Arroyos  
Buenos Aires – República Argentina  
<https://www.frsn.utn.edu.ar/gie/~grodriguez>

### Lucas Matías Maggiolini

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Paraná  
Paraná – Entre Ríos  
República Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-0360-397X>

### Milton Tadeo Martin

Universidad Tecnológica Nacional  
Facultad Regional Paraná  
Paraná – Entre Ríos  
República Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-0615-0291>

**RESUMEN:** En la Universidad Tecnológica Nacional de la República Argentina, los planes de estudio de las carreras de ingeniería se enfocan en las competencias específicas de la carrera, y dejan librada la inclusión y el desarrollo de las competencias genéricas a las distintas facultades regionales que la integran. Las distintas cátedras lo plantean en sus planificaciones, acordando con el departamento de especialidad. En particular, la capacidad para producir e interpretar textos técnicos y presentaciones, lo que implica, entre otras capacidades, ser capaz de utilizar y articular de manera eficaz distintos tipos de lenguaje, son ejemplos de capacidades deseadas en un ingeniero. Este trabajo muestra una experiencia desarrollada en la asignatura Análisis de Señales y Sistemas del área matemática de la carrera Ingeniería Electrónica en la Facultad Regional Paraná de la Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. El objetivo de la experiencia fue desarrollar la comunicación eficaz a partir del desarrollo de la competencia matemática relacionada con el cambio de registros semióticos. Se concluye que las actividades desarrolladas en la experiencia han colaborado en la mejora del rendimiento de los estudiantes al comunicarse en distintos registros.

**PALABRAS CLAVE:** Registros semióticos. Comunicación oral. Competencias.

## A WAY TO STRENGTHEN THE COMMUNICATIONAL SKILL IN ELECTRONIC ENGINEERING STUDENTS

**ABSTRACT:** In Argentina, at the Universidad Tecnológica Nacional, engineering programs focus on the specific competencies of each career, leaving the inclusion and development of generic competencies to the different regional dependencies that comprise it. The different courses consider these aspects in their syllabus, in agreement with the specialty department. Specifically, the ability to produce and interpret technical texts and presentations, which involves, among other skills, being able to effectively use and articulate different types of language, are examples of desired competencies in an engineer. This paper presents an experience carried out in the course “Signal and Systems Analysis” which belongs to the mathematics area of the Electronic Engineering program at the Facultad Regional Paraná of the Universidad Tecnológica Nacional, Argentina. The objective of the experience was to develop effective communication based on the development of mathematical competence related to the change of semiotic registers. It is concluded that the activities carried out in the experience have collaborated in improving the performance of students when communicating in different registers.

**KEYWORDS:** Semiotic registers. Oral communication. Competencies.

### 1 INTRODUCCIÓN

Ya no hay dudas que los ingenieros además de saber, deben saber hacer. En ese contexto, se propusieron las Competencias Genéricas de Egreso del Ingeniero Argentino (Giordano Lerena, 2016). Posteriormente en 2018 el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) presentó la “Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina”, donde se propone un modelo de aprendizaje centrado en el estudiante y un modelo de formación por competencias (Giordano Lerena & Cirimelo, 2018).

Los nuevos diseños curriculares de las carreras de Ingeniería en la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), que comenzaron a aplicarse en 2023, se centran en un modelo de formación por competencias. Dentro de las diversas competencias que se esperan de un egresado de Ingeniería, existen dos grandes grupos, las competencias específicas (CE) y las competencias genéricas (CG). Para el caso de las carreras de la UTN las CE están definidas en los diseños curriculares para cada asignatura del ciclo de especialidad. Para el caso de las CG, en cambio, la ordenanza de cada carrera determina que cada Facultad Regional debe definir como trabajarlas. En particular, en la Facultad Regional Paraná se definió que esto se decide en cada departamento de especialidad con acuerdo a los equipos de cátedra. Las CG se encuentran clasificadas en dos grupos:

- Tecnológicas
- Sociales, Políticas y Actitudinales.

Dentro del segundo grupo, se incluye la competencia de “Comunicarse con efectividad”. La misma puede desagregarse en diversas capacidades, entre las cuales se encuentra la capacidad para producir e interpretar textos técnicos y presentaciones públicas, lo que implica, entre otras, ser capaz de utilizar y articular de manera eficaz distintos lenguajes como el formal, el gráfico y el natural. Es en esta última capacidad en la que se centró el estudio que aquí se expone.

Se presenta en este trabajo una experiencia desarrollada en una asignatura de matemática de tercer año de la carrera Ingeniería Electrónica. La competencia matemática se define como la capacidad de utilizar de manera efectiva conocimientos, habilidades y actitudes relacionados con la matemática en diversos contextos (Niss et al., 2011). Entre las diversas competencias propuestas por Niss, se encuentran la de comunicarse en, con y sobre la matemática y la de manipular los símbolos y el formalismo matemático, que incluye la habilidad de entender el lenguaje matemático simbólico y formal y su relación con el lenguaje natural, así como también la traducción entre ambos. (Niss, 2003).

El objetivo de la experiencia fue mejorar la comunicación eficaz a partir del desarrollo de la competencia matemática relacionada con el cambio de registros semióticos. Los registros considerados para la realización de las actividades, considerando la teoría de registros de representación semiótica (Duval, 2004) son:

- Registro gráfico, que incluye representaciones en un sistema de coordenadas cartesianas ortogonales o bocetos informales sin un sistema de referencia.
- Registro natural: se lo asocia a la lengua materna, primera lengua que una persona aprende y que se emplea como modo de expresión habitual en los diversos ámbitos de la vida corriente, con el objetivo de comunicarse. Puede emplearse en forma oral o escrita, considerándose aquí la expresión oral.
- Registro simbólico: la Matemática se apoya en un lenguaje simbólico formal, que sigue una serie de convenciones propias. Los símbolos pueden considerarse objetos con valor propio y representan un concepto, una operación o una entidad matemática, según ciertas reglas.

## 2 ESTUDIO PREVIO

Durante el primer semestre del ciclo 2022 en el marco de un Proyecto de Investigación, se analizaron diversos aspectos relacionados a la competencia de comunicación eficaz y a la competencia de trabajo en equipo. Se analizaron aspectos

relacionados a la comunicación efectiva escrita, a la comunicación efectiva oral y al mencionado trabajo en equipo. En Favieri et. al. (2022) se presentan los resultados preliminares de dicha investigación.

Posteriormente en el segundo semestre del ciclo 2022 se continuó analizando específicamente aspectos de la comunicación efectiva oral. Esta etapa de la investigación se centró en la cátedra de Análisis de Señales y Sistemas de la UTN - FRP. Se analizaron aspectos de claridad, lenguaje matemático, argumentación y cambio de registros.

Con este propósito, se diseñó y aplicó la rúbrica que se presenta en la Tabla 1, pensada para analizar los aspectos mencionados.

Tabla 1. Rúbrica utilizada en trabajos previos.

	<b>Debe mejorar</b>	<b>Bueno</b>	<b>Avanzado</b>
<b>Expresa sus ideas de forma clara y concisa</b>	La exposición no es clara.	La exposición es clara pero introduce elementos irrelevantes	La exposición es clara y concisa.
<b>Utiliza el lenguaje matemático apropiado donde corresponde</b>	No utiliza lenguaje matemático	Utiliza a veces el lenguaje matemático.	Utiliza completamente el lenguaje matemático.
<b>Describe el proceso realizado argumentando el mismo</b>	No se argumenta el proceso.	Se argumenta someramente.	Se argumenta completamente el proceso.
<b>Señala aspectos relevantes combinando diferentes registros</b>	No señala aspectos relevantes. No combina registros	Señala los aspectos relevantes. No combina registros.	Señala aspectos relevantes. Combina correctamente los registros.

Los resultados obtenidos evidenciaron que aproximadamente un 50% de los estudiantes no realizaba un correcto cambio de registros. Consecuentemente, se detectó la necesidad de modificar la metodología de enseñanza con el fin de mejorar dicha habilidad, en vistas a lograr mejoras en el siguiente curso.

### 3 METODOLOGÍA

La investigación realizada es del tipo aplicada, de diseño experimental, enfoque cuantitativo y alcance descriptivo. La experiencia se realizó durante el ciclo 2023 en la cátedra de Análisis de Señales y Sistemas de la carrera de Ingeniería en Electrónica en la Facultad Regional Paraná de la Universidad Tecnológica Nacional (FRP-UTN). El curso tuvo una matrícula de 14 estudiantes.

Para iniciar la experiencia, se realizó un diagnóstico inicial del grupo de estudiantes de Análisis de Señales y Sistemas del ciclo lectivo 2023, aplicando la rúbrica a distintas actividades realizadas durante los meses de marzo, abril y mayo. De ese modo se tuvieron valores válidos para luego poder realizar comparaciones. Estos resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados iniciales de 2023.

	<b>Debe mejorar</b>	<b>Bueno</b>	<b>Avanzado</b>
<b>Expresa sus ideas de forma clara y concisa</b>	16%	50%	34%
<b>Utiliza el lenguaje matemático apropiado donde corresponde</b>	8%	67%	25%
<b>Describe el proceso realizado argumentando el mismo</b>	--	58%	42%
<b>Señala aspectos relevantes combinando diferentes registros</b>	25%	75%	--

Se destaca en la Tabla 2 que, respecto del cambio de registros, no hay estudiantes con nivel avanzado, y un 25% debe mejorar esta capacidad.

En función de la situación detectada y con el fin de mejorar la capacidad de comunicación en los estudiantes se adaptaron las estrategias de enseñanza utilizadas, fomentando el uso de diferentes registros. Usualmente las clases comienzan con una estrategia que combina la clase magistral con la participación activa de los estudiantes, involucrándolos en el proceso de aprendizaje a través de discusiones, preguntas y otros mecanismos que fomentan la interacción y la reflexión, para luego centrarse en el aprendizaje basado en problemas (ABP). En relación a la primera estrategia, durante las exposiciones y explicaciones del docente se fueron intercalando diferentes registros e indicando la relación entre ellos. Respecto al ABP, se presentaron a los estudiantes diversos problemas desde diferentes registros donde, en algunos casos, el contexto del problema sugería el cambio de registros.

Luego, se planteó la realización de un trabajo práctico en una clase. Para ello, se organizó el curso en grupos de dos estudiantes, de manera aleatoria. Se asignaron dos problemas a cada grupo, donde los integrantes resolvían simultáneamente cada problema, aplicando cada uno una metodología diferente. Luego de un tiempo, debían comparar los resultados obtenidos. A tal fin se pensaron y diseñaron problemas que pudieran ser resueltos tanto gráficamente como analíticamente, en relación a los contenidos desarrollados previamente. Algunos de los problemas planteados se muestran en la Figura 1.

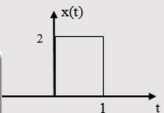
Figura 1. Algunos de los problemas planteados en el trabajo práctico.

**Problema 1:**  
Un mapeo lineal está definido por sus constantes de la forma  $x = 2.j.z + j$ . El mismo mapea la circunferencia  $(x - 2)^2 + y^2 = 22$ .  
a) Encuentre analíticamente el mapeo de la circunferencia. Grafique.  
b) Encuentre gráficamente el mapeo de la circunferencia. Aplique Escalado, Rotación y Traslación.  
c) Compare ambos resultados.

**Problema 2:**  
Un mapeo lineal mapea los puntos  $z_1$  y  $z_2$  en los puntos  $w_1$  y  $w_2$ . Conociendo dichos puntos, encuentre las constantes  $a$  y  $b$  del mapeo. Si  $z_1$  y  $z_2$  definen una recta y  $z_3$  y  $z_4$  una segunda recta paralela a la primera,  
a) ¿cómo mapea la región entre ambas? Resuelva analíticamente. Calcule analíticamente la distancia entre las rectas.  
b) Encuentre gráficamente el mapeo. Aplique Escalado, Rotación y Traslación. Verifique gráficamente la distancia entre las rectas.  
c) Compare ambos resultados.

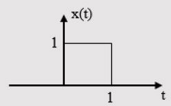
**Problema 3:**  
Para el número  $z = e^{j.k.\pi}$   
a) Grafique en el plano de Argand.  
b) Expresé el mismo como suma algebraica de senos y cosenos utilizando la expresión de Euler. Encuentre el término enésimo.  
c) Compare ambos resultados.

**Problema 4:**  
Para el pulso definido por:



a) Encuentre analíticamente la parte par y la parte impar. Sume y verifique. Grafique  
b) Encuentre gráficamente las partes par e impar.  
c) Compare ambos resultados

**Problema 5:**  
A la señal  $x(t)$  indicada en el gráfico se le aplica la siguiente transformación de la variable independiente  $h(-t-2)$ .



a) Encuentre analíticamente el resultado de la transformación, aplicando la misma a dos puntos de la señal original.  
b) Encuentre gráficamente el resultado de la transformación. Aplique traslación, escalado e inversión (según corresponda)  
c) Compare ambos resultados

Para finalizar la actividad, cada grupo debió realizar una exposición oral detallando ambos modos de resolver el problema y contrastando resultados.

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las exposiciones orales del trabajo práctico realizado fueron evaluadas con la rúbrica presentada en la Tabla 1. En función del objetivo de la experiencia, “mejorar la comunicación eficaz en relación al cambio de registros semióticos, enfatizando el uso del registro gráfico”, se puso énfasis en el cuarto criterio de evaluación: “Señala aspectos relevantes combinando diferentes registros”. La idea de la experiencia surgió luego de observar niveles bajos en la capacidad para realizar dicho cambio, considerando que comprender los mismos permite construir y comprender significados (Tejera, 2021).

Considerando el total de 14 estudiantes del curso, se conformaron 7 grupos de 2 estudiantes cada uno. Cada grupo desarrolló y expuso 2 problemas, cada uno de ellos resuelto analítica y gráficamente, con su correspondiente comparación. Se tiene presente que la comprensión surge de la coordinación de diversos registros (Duval, 2006).

En relación al planteo y la resolución de problemas trabajando en diferentes registros, Arteaga-Martínez et al. (2020) mencionan que el estudiantado presenta diferencias al interpretar enunciados de problemas que se presentan en diferentes registros, lo que aumenta la complejidad del proceso de resolución de los mismos.

En esta línea Guzmán (1998) plantea que las respuestas de los estudiantes suelen utilizar un único registro, usualmente el registro en el que estaba formulada la pregunta. Justamente el desafío de este trabajo fue superar ese punto y lograr que los estudiantes realicen el intercambio de registros.

Se analizaron 14 exposiciones. La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos al aplicar la rúbrica en la evaluación de las exposiciones.

Tabla 3. Resultados de la experiencia.

	Debe mejorar	Bueno	Avanzado
<b>Expresa sus ideas de forma clara y concisa</b>	14%	50%	36%
<b>Utiliza el lenguaje matemático apropiado donde corresponde</b>	7%	28%	65%
<b>Describe el proceso realizado argumentando el mismo</b>	--	50%	50%
<b>Señala aspectos relevantes combinando diferentes registros</b>	7%	50%	43%

En esta tabla se aprecia una mejora notable en lo relacionado al cambio de registros, recordando que previamente, ningún estudiante había alcanzado el nivel avanzado y, más preocupante aún, un 25% se encontraba en el nivel más bajo. Al finalizar las actividades planificadas, se redujo la cantidad de estudiantes en el nivel más bajo al 7% y un 43% logró el nivel Avanzado.

Como expresa Duval (2006), cuando el proceso global de transformación de representaciones, necesario para la actividad matemática, se centra sólo en los contenidos matemáticos particulares que se enseñan, queda sin respuesta la pregunta: ¿cómo puede contribuir el aprendizaje de la matemática para el desarrollo de las capacidades más globales de visualización, razonamiento, organización de información, y no sólo para la obtención de algunos procedimientos técnicos de cálculo? Justamente, por esta razón, analizar los procesos cognitivos que subyacen en el proceso de aprendizaje de matemática requiere un cambio o una orientación en la forma en que se seleccionan las actividades para este proceso.

## 5 CONCLUSIONES

Este trabajo muestra una experiencia desarrollada en la asignatura Análisis de Señales y Sistemas de la carrera Ingeniería Electrónica.

Las exposiciones orales del trabajo práctico demostraron ser una herramienta valiosa para mejorar la capacidad de los estudiantes en el cambio de registros semióticos, especialmente en el uso del registro gráfico.



El enfoque en el cuarto criterio de evaluación, que subraya la habilidad para señalar aspectos relevantes mediante la combinación de diferentes registros, evidenció una mejora significativa en la comunicación eficaz. La experiencia fue motivada por la observación de dificultades previas en esta área, y los resultados sugieren que un enfoque deliberado en esta habilidad permite a los estudiantes construir y comprender mejor los significados, alcanzando el objetivo propuesto.

## REFERENCIAS

Arteaga-Martínez, B., Macías, J., & Pizarro, N. (2020). La representación en la resolución de problemas matemáticos: un análisis de estrategias metacognitivas de estudiantes de secundaria. *Uniciencia*, 34(1), 263-280.

Duval, R. (2004). *Semiosis y pensamiento humano. Registros semióticos y aprendizajes intelectuales*. Cali: Universidad del Valle.

Duval, R. (2006). Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación. *La Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española*, 9(1), 143-168.

Favieri, A., Caligaris, M., Rodríguez G. y Martín, M. (2022). "Rúbrica para evaluar la comunicación en matemática", Actas del XXIII Encuentro Nacional y XV Internacional de Educación Matemática en Carreras de Ingeniería, EMCI 2022, Paraná, Argentina, ISBN 978-950-698-549-3. pp. 477-483.

Giordano Lerena, R. Compilador. (2016). *Competencias y perfil del Ingeniero Iberoamericano, formación de profesores y desarrollo tecnológico e innovación*.

Giordano Lerena, R. y Cirimelo, S. Editores (2018) *Libro Rojo de CONFEDI. Propuesta de Estándares de Segundo Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina*.

Guzmán, I. (1998). Registros de representación, el aprendizaje de nociones relativas a funciones: voces de estudiantes. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa, RELIME*, 1(1), 5-21.

Niss, M. (2003). "Mathematical competencies and the learning of mathematics: The Danish KOM project", *Proceedings of the Third Mediterranean Conference on Mathematics Education*, Atenas, Grecia, 3 al 5 de enero, 115-124.

Niss, M. & Hojgaard, T. (2011). *Competencies and Mathematical Learning. Ideas and Inspiration for the development of mathematics teaching and learning in Denmark*, English Edition, Roskilde University, Roskilde. 6-7.

Tejera, M. (2021). Modelos matemáticos mediados por GeoGebra para el desarrollo del pensamiento variacional. *Reloj de agua*, 24, 39-49.

# CAPÍTULO 5

## LA INTERPOLACIÓN LAGRANGIANA, LAS SERIES DE FOURIER Y EL MODELADO MATEMÁTICO DEL PERFIL DE FIGURAS COTIDIANAS

Data de aceite: 28/10/2024

**Dr. José Luis Escamilla Reyes**

Departamento de Ciencias  
Escuela de Ingeniería y Ciencias  
Tecnológico de Monterrey  
Campus Ciudad de México  
Prol. Canal de Miramontes, Coapa  
San Bartolo el Chico, Tlalpan, 14380  
Ciudad de México, México  
<https://orcid.org/0000-0001-5069-0757>

**RESUMEN:** Las series de Fourier son una de las herramientas matemáticas que han sido ampliamente empleadas para aproximar funciones periódicas diversas. Sin embargo, en los cursos de ingeniería se aplican principalmente para modelar funciones periódicas más o menos simples, tales como funciones diente de sierra, onda cuadrada, senoidales rectificadas y así por el estilo. Entonces, ¿qué ocurre si estas series se emplean para desarrollar funciones más sofisticadas, por ejemplo, el perfil de un violín, de un florero o de alguna botella decorativa? En el presente artículo, se discute el desarrollo en serie de Fourier de tales perfiles aplicando el método de interpolación de Lagrange para obtener la función que

modela dichos perfiles, así como el proceso de implementación de este enfoque en un curso de ingeniería. Los resultados muestran tanto un mayor involucramiento de los estudiantes en esta actividad, como una valoración más positiva del método cuando se aplica para reproducir estos perfiles más sofisticados en comparación con las funciones usualmente aproximadas en los cursos de ingeniería.

**PALABRAS CLAVE:** Series de Fourier. Interpolación Lagrangiana de funciones. Funciones definidas a trozos.

### LAGRANGIAN INTERPOLATION, FOURIER SERIES, AND THE MATHEMATICAL MODELING OF EVERYDAY FIGURE PROFILES

**ABSTRACT:** Fourier series are one of the mathematical tools that have been widely used to approximate various periodic functions. However, in engineering courses they are mainly applied to model simple periodic functions, such as sawtooth functions, square waves, rectified sinusoidal waves, and so on. Therefore, what happens if these series are used to expand more sophisticated functions, for example, the profile of a violin, a vase, or a decorative bottle? In this article, the Fourier series expansion of such profiles by applying the Lagrange interpolation method to obtain the function that models such profiles is discussed, as well as the process of implementing this approach in an engineering

course. The results show both a greater involvement of students in this activity, and a more positive evaluation of the method when applied to reproduce these more sophisticated profiles compared to the functions usually approximated in engineering courses.

**KEYWORDS:** Fourier Series. Lagrange Interpolation. Piece-wise Functions.

## 1 INTRODUCCIÓN

La interpolación de funciones es un tema de fundamental importancia, sobre todo en el caso de funciones definidas por secciones. Diferentes esquemas han sido planteados para llevar a cabo esta tarea [1], siendo el de interpolación lagrangiana uno de los más importantes y que ha sido aplicado con éxito en la modelación de perfiles sofisticados en la ingeniería [2].

Por otro lado, los desarrollos en serie son una de las herramientas matemáticas más poderosas en la ingeniería, ya sean las series de potencias (MacLaurin o Taylor) o de funciones armónicas (Fourier o Hankel). Como se ha documentado ampliamente [3], sus aplicaciones van desde los cálculos aproximados, la solución de ecuaciones diferenciales ordinarias o parciales y la aproximación de funciones. En el caso particular de las series de Fourier, el desarrollo de funciones periódicas es una de sus aplicaciones más importantes. Como ejemplos de este tipo de funciones, podemos mencionar a las funciones tipo dientes de sierra, onda cuadrada, senoidales rectificadas y funciones relacionadas. Cabe señalar que, en todos estos casos, la función a desarrollar es conocida como parte del problema a resolver, o se puede obtener de una forma simple.

Sin embargo, a pesar de la importancia que tienen estas funciones en la ingeniería aplicada, los estudiantes de ingeniería tienen la impresión de que sólo este tipo de funciones relativamente simples pueden ser aproximadas por medio de las series de Fourier [4].

Por tanto, el objetivo del presente trabajo es el mostrar que este formalismo puede aplicarse para aproximar funciones más sofisticadas, por ejemplo, aquellas que provienen de objetos cotidianos, tales como la silueta de algunos instrumentos musicales como los violines, el perfil de un rostro humano u objetos relacionados. De esta manera, se pretende que el aprendizaje de esta técnica matemática sea más significativo puesto que, en general, la función que describe dichos perfiles no es una función simple y debe expresarse como una función definida por segmentos, lo cual implica un esfuerzo intelectual por parte de los estudiantes y una apreciación acerca del proceso de modelación por aproximaciones sucesivas, así que las ganancias de aprendizaje serán mayores comparadas con el tipo de problemas que usualmente se resuelven al presentar el tema en los cursos de ingeniería asociados.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 INTERPOLACIÓN LAGRANGIANA

Sea una  $f(x)$  función desconocida. Suponga que se conocen  $x_0, x_1, x_2, \dots, x_n$  definiendo  $n + 1$  valores discretos de esta función tales que

$$f(x_0) = f_0, f(x_1) = f_1, f(x_2) = f_2, \dots, f(x_n) = f_n \dots (1.1)$$

Entonces, existe un polinomio  $g(x)$  de grado que pasa por el conjunto de  $n + 1$  puntos y que puede expresarse como

$$g(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \dots + a_n x^n \dots (1.2)$$

Donde los coeficientes  $a_i, i = 0, 1, 2, \dots, n$  son las incógnitas del desarrollo. Estos coeficientes pueden obtenerse de diversas formas, por ejemplo, ajustando la serie de potencias o por medio de la interpolación lagrangiana. Si se opta por el primer método, la función  $g(x)$  debe ser tal que

$$g(x_i) = a_0 + a_1 x_i + a_2 x_i^2 + a_3 x_i^3 + \dots + a_n x_i^n = f_i, \quad \forall i = 0, 1, 2, \dots, n$$

Este enfoque implica que, para obtener los coeficientes  $a_i$ , se debe resolver el sistema de ecuaciones

$$\begin{bmatrix} 1 & x_0 & x_0^2 & \dots & x_0^n \\ 1 & x_1 & x_1^2 & \dots & x_1^n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \dots & x_n^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \rightarrow A\vec{a} = \vec{f} \dots (1.3)$$

Dado que, por ejemplo, debemos invertir la matriz  $A$  para obtener las componentes del vector  $\vec{f}$ , este es un problema con una complejidad considerable, por lo que, en cambio, se prefiere el procedimiento de la interpolación Lagrangiana para obtener la función  $g(x)$ .

En este método, se propone un desarrollo del tipo

$$g(x) = \sum_{i=0}^n f_i V_i(x) = f_0 V_0(x) + f_1 V_1(x) + f_2 V_2(x) + \dots + f_n V_n(x) \dots (1.4)$$

Donde  $V_i(x)$  es un polinomio de grado  $n$  asociado con cada nodo  $i$  tal que

$$V_i(x_j) = \begin{cases} 0 & i \neq j \\ 1 & i = j \end{cases}$$

Definido por medio de **[2]**

$$V_i(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1)(x - x_2) \cdots (x - x_{i-1})(x - x_{i+1}) \cdots (x - x_n)}{(x_i - x_0)(x_i - x_1)(x_i - x_2) \cdots (x_i - x_{i-1})(x_i - x_{i+1}) \cdots (x_i - x_n)} \quad \dots (1.5)$$

Por ejemplo, en el caso de la interpolación cuadrática ( $n=2$ ) y tres nodos  $x_0, x_1$  y  $x_2$ , la función de interpolación Lagrangiana  $g(x)$  está dada por

$$g(x) = \sum_{i=0}^2 f_i V_i(x) = f_0 V_0(x) + f_1 V_1(x) + f_2 V_2(x)$$

Siendo

$$V_0(x) = \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_0 - x_1)(x_0 - x_2)}, V_1(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_2)}{(x_1 - x_0)(x_1 - x_2)}, V_2(x) = \frac{(x - x_0)(x - x_1)}{(x_2 - x_0)(x_2 - x_1)}$$

Para ilustrar el método, supongamos conocidos los siguientes puntos de una función desconocida, que se muestran en la Tabla (2.1)

Tabla (2.1): Puntos por los que pasa la función  $f(x)$ .

$x$	$f(x)$
3	1
4	2
5	4

De acuerdo con esto, las funciones base de la interpolación están dadas por

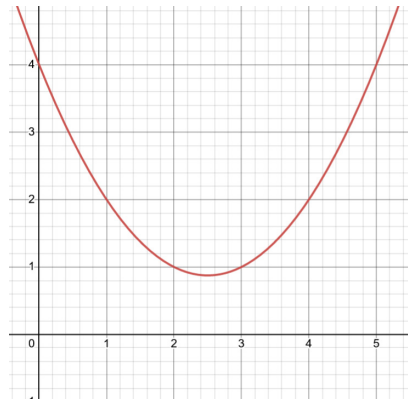
$$V_0(x) = \frac{(x - 4)(x - 5)}{(3 - 4)(3 - 5)}, V_1(x) = \frac{(x - 3)(x - 5)}{(4 - 3)(4 - 5)}, V_2(x) = \frac{(x - 3)(x - 4)}{(5 - 3)(5 - 4)}$$

Por lo que la función de interpolación  $g(x)$  es

$$g(x) = \frac{(x - 4)(x - 5)}{2} - 2(x - 3)(x - 5) + 2(x - 3)(x - 4)$$

Cuya gráfica se muestra en la Figura (2.1):

**Figura 2.1.** La función  $g(x)$  que pasa por los puntos dados en la Tabla (2.1).



Donde, de acuerdo con la definición de  $g(x)$ , se obtiene

$$g(3) = \frac{(3-4)(3-5)}{2} = 1$$

$$g(4) = -2(4-3)(4-5) = 2$$

$$g(5) = 2(5-3)(5-4) = 4$$

Lo cual coincide con los puntos conocidos de la función incógnita.

## 2.2 LAS SERIES DE FOURIER

Descripción del método, características principales, ejemplos de aplicación

Suponga que  $f(t)$  es una función definida en un intervalo  $[-T, T]$ . Así, el desarrollo Fourier de  $f(t)$  está dado por **[3]**

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( a_n \cos \frac{n\pi}{T} t + b_n \sin \frac{n\pi}{T} t \right) \dots (2.1)$$

Donde los coeficientes  $a_0$ ,  $a_n$  y  $b_n$  se definen como

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) dt \dots (2.2)$$

$$a_n = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) \cos \frac{n\pi}{T} t dt \quad \dots (2.3)$$

$$b_n = \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) \sin \frac{n\pi}{T} t dt \quad \dots (2.4)$$

Por ejemplo, de acuerdo con las definiciones anteriores, los coeficientes del desarrollo en serie de Fourier de la función

$$f(t) = \begin{cases} 0, & -\pi < t < 0 \\ \pi - t, & 0 \leq t < \pi \end{cases}$$

Vienen dados por

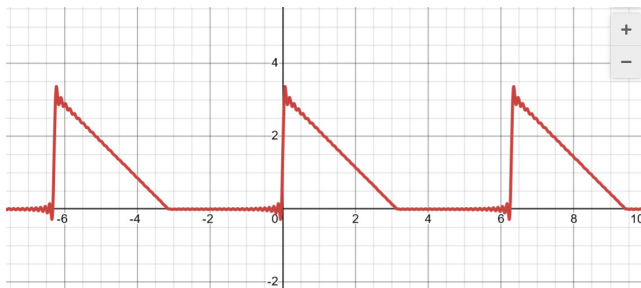
$$a_0 = \frac{\pi}{2}, \quad a_n = \frac{1 - (-1)^n}{n^2\pi}, \quad b_n = \frac{1}{n}$$

Así, las series de Fourier de la función anterior pueden expresarse como

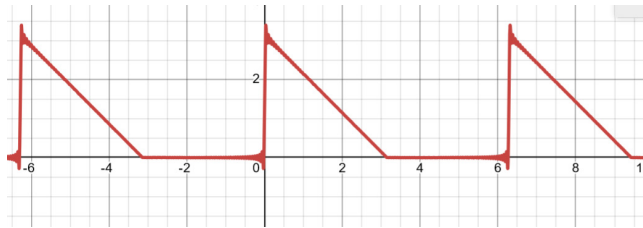
$$f(t) = \frac{\pi}{4} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{1 - (-1)^n}{n^2\pi} \cos nt + \frac{1}{n} \sin nt \right]$$

Este desarrollo en serie de Fourier se muestra en la figura X.X. Es evidente que, al incrementar el número de términos de la sumatoria, mejora la concordancia entre la función original y el desarrollo de Fourier salvo en ciertos puntos debido al conocido Fenómeno de Gibbs [3].

**Figura (2.2):** El desarrollo en Serie de Fourier de la función  $f(t) = \begin{cases} 0, & -\pi < t < 0 \\ \pi - t, & 0 \leq t < \pi \end{cases}$  con  $n=50$  términos.



**Figura (2.3):** El desarrollo en Serie de Fourier de la función  $f(t) = \begin{cases} 0, & -\pi < t < 0 \\ \pi - t, & 0 \leq t < \pi \end{cases}$  con  $n=100$  términos.



Aplicando este formalismo, se pueden obtener los desarrollos en Serie de Fourier para varias funciones de interés en la ingeniería, tales como las funciones diente de sierra, onda cuadrada o senoidales rectificadas. Estos desarrollos pueden encontrarse en las referencias usuales del tema en cuestión [3, 4].

### 3 DESARROLLO

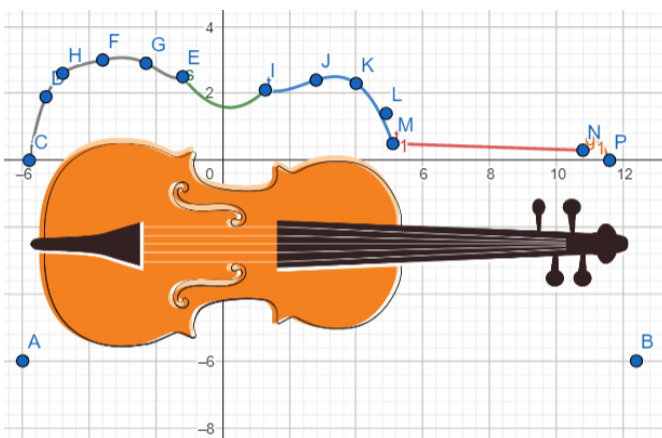
#### 3.1 LOS PERFILES DE OBJETOS SOFISTICADOS DE LA VIDA COTIDIANA Y LA INTERPOLACIÓN LAGRANGIANA: EL VIOLÍN

Como un ejemplo de aplicación de estas técnicas, se modelará el perfil del cuerpo de un violín empleando el siguiente conjunto de puntos:

$$S = \{A(0, 0), B(b, y_1), C(c, y_2), D(d, y_3), E(e, y_4), F(f, y_5), G(g, y_6), H(h, y_7), I(i, y_8), J(j, y_9), K(k, y_{10})\}$$

Que se muestran en la Figura (3.1)

**Figura (3.1):** El perfil del cuerpo del violín mostrando los puntos relevantes del conjunto S.



Entonces, definiremos el perfil superior del violín de acuerdo con las siguientes funciones seccionadas obtenidas con interpolación Lagrangiana:



Intervalo I:  $-5.8 \leq x \leq -1.2$

$$f_I(x) = 0.0329x^5 + 0.5316x^4 + 3.3038x^3 + 9.6356x^2 + 12.6769x + 8.5256 \dots (3.1)$$

Intervalo II:  $-1.2 \leq x \leq 2$

$$f_{II}(x) = 0.4018x^2 - 0.2679x + 1.6 \dots (3.2)$$

Intervalo III:  $2 \leq x \leq 5.1$

$$h(x) = -0.1632x^3 + 1.2664x^2 - 2.9776x + 4.3905 \dots (3.3)$$

Intervalo IV:  $5.1 \leq x \leq 10.8$

$$i(x) = -0.0402x + 0.6790 \dots (3.4)$$

Intervalo V:  $10.8 \leq x \leq 11.6$

$$j(x) = -2.8126x^2 + 62.6251x - 348.1 \dots (3.5)$$

En la Figura (3.1), se muestran las distintas funciones logradas en cada uno de los intervalos del I al V, de acuerdo con los polinomios (3.1-3.5). Dada la simplicidad de los cálculos involucrados, es notable el ajuste logrado con las funciones seccionadas que se obtuvieron con la interpolación de Lagrange.

### 3.2 APLICACIONES DE LAS SERIES DE FOURIER Y FUNCIONES SECCIONADAS

Utilizando las funciones seccionadas obtenidas en la sección anterior, se puede obtener el desarrollo en Serie de Fourier de estos objetos.

En este caso, para resolver las integrales necesarias para obtener los coeficientes de Fourier, se utilizaron los *softwares* Symbolab<sup>®</sup> y Mathematica (R) dada la complicada naturaleza de algunas de las integrales del desarrollo:

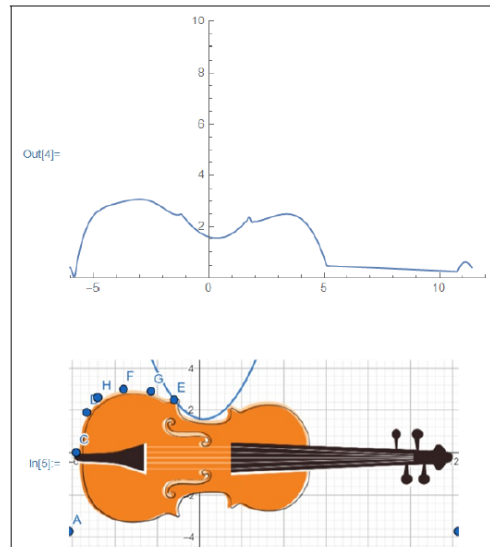
$$a_{0m} = \frac{1}{T} \int_{-T}^{+T} f_m(t) dt \dots (3.6)$$

$$a_{nm} = \frac{1}{T} \int_{-T}^{+T} f_m(t) \cos\left(\frac{n\pi t}{T}\right) dt \dots (3.7)$$

$$b_{nm} = \frac{1}{T} \int_{-T}^{+T} f_m(t) \sin\left(\frac{n\pi t}{T}\right) dt \dots (3.8)$$

En donde el índice  $m$  denota la  $m$ -ésima función, obtenida mediante la interpolación Lagrangiana. Los resultados se muestran en la Figura (3.2)

**Figura (3.2):** Perfilado del cuerpo del violín por medio de Series de Fourier obtenidas por medio de las funciones seccionadas.



#### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como puede observarse a partir de los resultados obtenidos, la concordancia entre el perfil original y las funciones seccionadas es bastante adecuado, especialmente si consideramos la simplicidad del Método de Interpolación de Lagrange. Por supuesto, si se desea un ajuste más preciso, el perfil real del objeto debe seccionarse con mayor detalle, de tal forma que se obtenga un mayor número de funciones seccionadas y con ellas ajustar el perfil del objeto.

Es claro que, al incrementar el número y complejidad de las funciones seccionadas necesarias para ajustar el perfil del objeto real, las integrales que serán necesarias para obtener las Series de Fourier del perfil serán más incómodas de realizar desde el punto de vista manual, por lo que será imprescindible contar con el apoyo de Mathematica para obtenerlas y, a través de ellas, los coeficientes del desarrollo de Fourier.

Pese a estos engorrosos detalles técnicos del cálculo, el simple hecho de obtener perfiles más sofisticados que los que usualmente se plantean en los cursos ordinarios de Matemáticas constituyen una ganancia de aprendizaje muy valiosa con lo cual se logra un mayor involucramiento y sentido de reto y logro en los estudiantes al desarrollar esta actividad.

## 5 CONCLUSIONES

A través del proceso de interpolación de Lagrange se obtiene el perfil de una figura más sofisticada que las que usualmente se presentan en los cursos de Matemáticas; el método señalado es muy simple de implementar como se mostró en el presente trabajo y tiene la ventaja de ser una aproximación más intuitiva al problema de la interpolación de funciones, especialmente las seccionadas.

Por otro lado, se discute el desarrollo en serie de Fourier de funciones definidas por secciones (*piece-wise functions*) para mostrar una aplicación más concreta, menos abstracta de estos desarrollos en serie y hacer más patente la gran utilidad que tienen en una gran diversidad de situaciones. Los resultados obtenidos al implementar esta actividad en los cursos de Matemáticas Avanzadas muestran tanto un mayor involucramiento de los estudiantes en esta actividad, como una valoración más positiva del método cuando se aplica para reproducir estos perfiles más sofisticados en comparación con las funciones usualmente aproximadas en los cursos de ingeniería, las cuales son periódicas y, en comparación con las obtenidas en este trabajo, más simples desde el punto de vista matemático.

## REFERENCIAS

- [1] Beltrán A. C., Métodos Numéricos: Interpolación de Funciones (Open CourseWare), Universidad de Cantabria.
- [2] Mora F. W., Introducción a los Métodos Numéricos, Escuela de Matemática, Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- [3] Zill, D. G. (2020). Advanced Engineering Mathematics. (9<sup>th</sup> Edition). Cengage Learning.
- [4] Zill, D.G. and Cullen, M.R. (1997), Differential Equations With Boundary-Value Problems, (4<sup>th</sup> Edition), Brooks Cole.

# CAPÍTULO 6

## ANALYZING THE USE OF THE KIRKPATRICK MODEL IN HIGHER EDUCATION: INSIGHTS FROM AN NSF-FUNDED CHEMISTRY CURRICULUM PROJECT

Data de submissão: 10/09/2024

Data de aceite: 30/09/2024

### Dr. James Lipuma

Director of Collaborative for Leadership  
Education, and Assessment Research  
New Jersey Institute of Technology  
New Jersey, USA  
<https://orcid.org/0000-0002-9778-3843>

### Dr. Cristo Leon<sup>1</sup>

Director of Research  
College of Science and Liberal Arts  
New Jersey Institute of Technology  
New Jersey, USA  
<https://orcid.org/0000-0002-0930-0179>

**ABSTRACT:** This article delves into the unique development of a Kirkpatrick 4-Level Model (K4LM) evaluation plan for a groundbreaking National Science Foundation (NSF) project (ID#: EFMA-2203704). This project, conducted at an R1 Polytechnic Research University in the United States, integrated social, economic, environmental,

and governance (SEEG) aspects into a chemistry curriculum. The aim was to promote environmental sustainability and the circular economy, a novel approach in the field. The project focused on the graduate and doctoral programs in the Chemistry department, making a significant contribution to higher education. The article began with an introduction to the project, followed by an analysis of the Kirkpatrick Model's application to program changes in higher education, discussing its benefits and criticisms. A methods section includes a literature review. It emphasized the importance of educational evaluation for course design, curriculum redesign, and student success. The practical case study, a key highlight of this article, illustrated the 4-level model's use in gathering actionable formative data. This data guided administrative decisions in transforming chemistry education, providing a tangible example of the model's practical application. Finally, challenges and solutions for applying this model in a systemic educational context were presented.

**KEYWORDS:** Interdisciplinary Chemistry Education. Kirkpatrick Model. ADDIE Approach. Sustainability Education. Circular Economy. Socio-Economic Governance. Environmental Challenges. Doctoral Pedagogy. Sustainable Development Goal 4 Quality Education (SDG 4). Transdisciplinary Communication.

<sup>1</sup> corresponding author

## ANÁLISIS DEL USO DEL MODELO KIRKPATRICK EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR: PERSPECTIVAS DE UN PROYECTO DE CURRÍCULO DE QUÍMICA FINANCIADO POR LA NSF

**RESUMEN:** Este artículo explora el desarrollo único de un plan de evaluación basado en el Modelo de 4 Niveles de Kirkpatrick para un proyecto innovador de la National Science Foundation (NSF) (ID#: EFMA-2203704). Este proyecto, llevado a cabo en una Universidad Politécnica de Investigación R1 en los Estados Unidos, integró aspectos sociales, económicos, ambientales y de gobernanza en un plan de estudios de química. El objetivo era promover la sostenibilidad ambiental y la economía circular, un enfoque novedoso en el campo. El proyecto se centró en los programas de posgrado y doctorado del departamento de Química, haciendo una contribución significativa a la educación superior. El artículo comenzó con una introducción al proyecto, seguida de un análisis de la aplicación del Modelo de Kirkpatrick a los cambios de programa en la educación superior, discutiendo sus beneficios y críticas. Una sección de métodos incluye una revisión de la literatura. Se enfatizó la importancia de la evaluación educativa para el diseño de cursos, el rediseño del currículo y el éxito estudiantil. El estudio de caso práctico, un aspecto destacado de este artículo, ilustró el uso del modelo de 4 niveles para recopilar datos formativos procesables. Estos datos guiaron las decisiones administrativas en la transformación de la educación en química, proporcionando un ejemplo tangible de la aplicación práctica del modelo. Finalmente, se presentaron desafíos y soluciones para aplicar este modelo en un contexto educativo sistémico.

**PALABRAS CLAVE:** Educación Interdisciplinaria en Química. Modelo Kirkpatrick. Enfoque ADDIE. Educación para la Sostenibilidad. Economía Circular. Gobernanza Socioeconómica. Desafíos Ambientales, Pedagogía Doctoral. Objetivo de Desarrollo Sostenible 4: Educación de Calidad (ODS 4). Comunicación Transdisciplinaria.

### 1 INTRODUCTION

This article, based on experience from a National Science Foundation (NSF) project (ID#: EFMA-2203704), examines elements that integrate social, economic, environmental, and governance (SEEG) aspects into a chemistry context to provide a foundation for understanding environmental sustainability and the circular economy. Integrating these ideas within the chemistry discipline aims to develop students' abilities to formulate new research questions addressing many of society's "grand challenges," particularly in environmental sustainability, climate change, and the circular economy. A two-year pilot study investigated a comprehensive strategy that includes new multidisciplinary courses, mentoring, graduate research proposals, seminars, and dissertation research. The NSF required using Kirkpatrick's 4-level evaluation model as part of the grant to provide data on student learning and program change as part of goal attainment.

The project was designed to measure potential participants' baseline knowledge about sustainability and the circular economy in a chemistry context and evaluate the value and effectiveness of external guest presentations. The findings were used to adjust the programming and inform the development of necessary materials and additional program support.

The research topic is developing an evaluation plan based on the Kirkpatrick Model that integrates social, economic, environmental, and governance aspects into chemistry. This evaluation assessed its impact on curriculum design at an R1 Polytechnic Research University in the USA.

The survey instrument was designed using the Kirkpatrick model of educational program evaluation and the NSF Self-Assessment of Learning Gains (SALG). Both are valid and reliable tools that have been used for many years. The data collection process aimed to gather information about students' baseline knowledge and evaluate the effectiveness of guest presentations and workshops.

The article begins with an overview of the Kirkpatrick Model and some of its benefits and criticisms within scholarly literature. It then discusses the importance of educational evaluation for course design, curriculum redesign, and overall student success in higher education institutions. This is followed by an explanation of why analyzing the application of Kirkpatrick from a system change perspective provides insights into how this training evaluation tool might be more effectively applied to the goals and outcomes sought in the U.S. educational system.

Next, the paper delves into a discussion of the practical case undertaken by the author to utilize the 4-level model to yield formative data that was actionable in informing the choices of the Chemistry department administration as it worked to transform graduate and doctoral education towards a more sustainable view of chemistry and the circular economy. As part of this discussion, the authors provide specific survey questions, along with the contextual factors and thought processes that influenced the development of the evaluation tools. Finally, the article presents challenges and solutions for applying this evaluation model in situations requiring a more systemic and holistic view of education, going beyond training or single courses to identify the interconnected nature of curriculum and instructional design (CID) needed to inform administrative decision-making and programmatic change initiatives. The article concludes with thoughts on the next steps that might be considered.

## 2 BRIEF OVERVIEW OF THE KIRKPATRICK MODEL

The Kirkpatrick Model first appeared in the 1950s and has been refined and reimagined several times, most recently in 2010. It systematically measures training in corporate settings to connect quantitative data to institutional goals and metrics. Over the years, it has been used in many domains, including education and program evaluation. It comprises four levels of investigation designed to gather data about different aspects of program implementation and efficacy to make systemic changes.<sup>2</sup>

The four levels look at varying time frames but are typically tied to an experience delivered to a target population.

- **Level 1 - Reaction:** This level surveys participants through observation and self-reported surveys to determine factors that can be adjusted to improve content delivery and increase knowledge transfer and internalization. In education, this is often seen as course evaluations. Still, Kirkpatrick training surveys are much more granular and intended to provide immediate and detailed feedback on ongoing training to understand its effectiveness and how it might be improved.
- **Level 2 - Learning:** This level assesses the knowledge gained by participants, akin to testing in an educational context.
- **Level 3 - Behavior:** This level examines how the experience changes participants' actions or work execution. In education, this can be seen in skills development, the transfer of training and knowledge to new contexts or scenarios, or the ability to tackle more advanced work based on prior learning. This level often requires more time, data collection, and a clear understanding of environmental and contextual factors that can impact behavioral change. Level three assessments are challenging to translate into specific classes as they typically do not follow students but result in instructional design, content delivery, or curriculum changes at the program level.
- **Level 4 - Results:** This level measures institutional or programmatic outcomes to see whether impacts meet metrics. The specific experiences are no longer as vital as the impacts shown by key performance indicators, metrics of success, or other larger institutional goals. These are typically measured in aggregate and not tied to a single data point or survey response.

Though presented from Level 1 to Level 4, the Kirkpatrick Model can also work backward, similar to what was described in *Understanding by Design* (Wiggins, 2005).

<sup>2</sup> Source: Yale University. (2019, January 10). Kirkpatrick Model. Poorvu Center for Teaching and Learning. <https://poorvucenter.yale.edu/Kirkpatrick>

In this approach, the outcomes are specified, metrics for the organization or program of study are identified, and milestones are built backward to drill down to specific tests of knowledge in the form of assessments and formative feedback based on classroom experiences and observations. This method is more often seen in K-12 education and not as much in higher education in the USA. Still, it works toward more authentic assessments to provide data as part of a portfolio of information about teaching and learning.

### 3 METHODS

The qualitative research approach utilized by the author while serving as the internal evaluator for the NSF project was Action Research for Informed Decision Making (Frey, 2018, p. 37). It was also informed by the ideas of Reflective Practice (Langer & Ghaye, 2012). This method allows him to reflect on his processes, actions, and products to provide insights without disclosing the project's data or other proprietary information that has not been reported publicly. This mixed-method approach leans heavily on qualitative methods for recording and analyzing meetings and deliverables from the project. These are paired with quantitative performance measures and the project outcomes for which the author was engaged as the evaluator.

The author drew heavily from three seminal texts in evaluations and assessment research: "Evaluation: A Systematic Approach" (Rossi et al., 2003), "The Practice of Social Science Research" (Babbie, 2016), and "Research Design: Qualitative and Quantitative Approaches" (Creswell & Creswell, 2018). These texts, along with many others in the author's career, allowed for the design and refinement of the K4LM used in the grant project and this critical analysis of that work to provide the sample instruments, insights, and suggestions below.

The analysis focused on the effectiveness of the curriculum redesign in a chemistry program. A systematic literature review was conducted to contextualize the methodology. The central question for the review was:

How has the application of the Kirkpatrick Model in higher education evolved, and what are its demonstrated strengths and limitations in assessing the effectiveness of educational programs compared to other evaluation frameworks?

#### 3.1 SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

The application of the Kirkpatrick Model in higher education has significantly evolved, expanding its use across diverse educational contexts to assess the effectiveness of various programs. Initially developed for training evaluation in the corporate sector,



the Kirkpatrick Model has been adapted to meet the unique needs of higher education, demonstrating both strengths and limitations in this new context. This section reviews the evolution, strengths, and limitations of the Kirkpatrick Model in higher education compared to other evaluation frameworks.

### 3.2 METHODOLOGY

This systematic literature review (SLR) involved a comprehensive search of relevant databases using specific search terms related to the Kirkpatrick Model and higher education. The search strategy included PubMed, Scopus, and Google Scholar databases. The inclusion criteria focused on studies published in peer-reviewed journals from 2020 to 2024 that applied the Kirkpatrick Model in higher education settings. Exclusion criteria were studies outside this date range or those not directly relevant to higher education. Data extraction involved identifying the selected studies' key themes, strengths, and limitations.

The search string used is presented in Table 1:

Table 1. Bibliometric Search String.

("Kirkpatrick Model" OR "Kirkpatrick Evaluation Model" OR "Kirkpatrick Framework") AND ("higher education" OR "university" OR "college") AND ("evaluation" OR "assessment" OR "effectiveness") AND ("strengths" OR "advantages" OR "benefits") AND ("limitations" OR "challenges" OR "weaknesses" OR "drawbacks")
--

**Results and Study Selection:** The search strategy yielded numerous studies, of which a subset met the inclusion criteria. Fundamental studies included those by Paull, Whitsed, and Girardi (2020), Chang and Chen (2014), Akbar, Darungan, and Rahma (2024), Reio et al. (2017), and Matondang, Sitompul, and Wijaya (2023).

**Study Characteristics:** The selected studies applied the Kirkpatrick Model to various educational interventions, from curriculum frameworks to online learning environments. These studies spanned multiple disciplines, demonstrating the model's adaptability.

### 3.3 SYNTHESIS OF RESULTS

Several studies illustrate the Kirkpatrick Model's evolution in higher education. Paull, Whitsed, and Girardi (2020) used the model to evaluate an "interaction for learning framework" curriculum intervention, showing its utility across multiple levels. Chang and Chen (2014) applied the model to assess an online information literacy class's learning effectiveness, demonstrating its applicability in online settings. Akbar, Darungan, and

Rahma (2024) emphasized the model's comprehensive evaluation across four levels: reaction, learning, behavior, and results, highlighting its structured approach to assessing educational interventions.

### 3.4 STRENGTHS OF THE KIRKPATRICK MODEL

The primary strength of the Kirkpatrick Model lies in its multi-level evaluation framework. By examining reaction, learning, behavior, and results, the model provides a holistic view of educational programs' impact (Akbar et al., 2024). This approach captures immediate feedback and long-term outcomes, facilitating iterative program improvements. Paull et al. (2020) highlighted the model's ability to provide structured and quantifiable data, which is essential for rigorous evaluation and stakeholder reporting, such as to the NSF.

### 3.5 LIMITATIONS OF THE KIRKPATRICK MODEL

Despite its strengths, the Kirkpatrick Model has limitations in higher education. Reio et al. (2017) critiqued the model for its focus on lower levels (reaction and learning), which can neglect the more complex levels of behavior and results, leading to an incomplete picture of long-term program effectiveness. Chang and Chen (2014) noted that while the model evaluates learning quality effectively, it may lack the depth of analysis provided by other frameworks, which better address educational outcomes' nuances. Matondang, Sitompul, and Wijaya (2023) highlighted the challenge of applying the model to measure long-term outcomes, emphasizing the need for more rigorous research designs and standardized evaluation tools.

### 3.6 COMPARISON WITH OTHER EVALUATION FRAMEWORKS

The Kirkpatrick Model stands out for its structured and tiered approach compared to other evaluation frameworks. Alhassan (2022) emphasized the model's ability to assess the holistic impact of educational programs, making it valuable for training initiative evaluations. However, its rigidity and quantitative focus can overlook nuanced educational evaluation aspects that other frameworks might capture more effectively.

### 3.7 DISCUSSION

The Kirkpatrick Model's application in higher education has evolved to provide a comprehensive evaluation framework. Its strengths include a multi-level approach and the ability to generate quantifiable data, which is essential for program assessment and

improvement. However, limitations such as focusing on lower levels and challenges in measuring long-term outcomes suggest that integrating other evaluation frameworks might offer a richer understanding of educational program effectiveness.

### 3.8 IMPLICATIONS FOR PRACTICE AND RESEARCH

While the Kirkpatrick Model benefits from immediate and structured evaluations, a mixed-method approach incorporating qualitative data could enhance the depth of analysis. Future research should explore combining the Kirkpatrick Model with other frameworks to address its limitations and provide a more comprehensive evaluation of educational programs.

The Kirkpatrick Model has proven to be a valuable tool for evaluating educational programs in higher education, offering structured and quantifiable insights. However, a mixed-method approach that integrates other evaluation frameworks is recommended to achieve a more nuanced understanding of program effectiveness.

## 4 PRACTICAL CASE STUDY

### 4.1 SPONSOR AND PROJECT AIMS

The NSF Directorate for Engineering GERMINATION program aims to foster the development of pedagogical frameworks, platforms, and environments to enable participants to formulate research questions and ideas with potentially transformative outcomes (Giarratano, 2022).

The extraordinary response of the STEM research community to the COVID-19 pandemic, exemplified by the record-breaking speed of novel vaccine development, highlights the outstanding capabilities at all levels of the research enterprise. The GERMINATION program seeks to harness the immense capacities of academic researchers to similarly address other critical global challenges by supporting the development of new pedagogical approaches that train researchers to formulate and develop key research questions.<sup>3</sup>

Based on the premise that graduate chemistry education is traditionally highly disciplinary and often disconnected from society's critical challenges, the grant project sought a multifaceted approach to incorporate various perspectives into the doctoral chemistry curriculum. This was to be attained by incorporating guest speakers, presenters, and experts from a wide range of disciplines into the new courses, including a team-taught

<sup>3</sup> Source: GERMINATION: Germination of Research Questions for Addressing Critical Societal Challenges <https://new.nsf.gov/funding/opportunities/germination-germination-research-questions>

course that involves SEEG dimensions, a course in Green Chemistry, and changes to required dissertation research to include substantial SEEG components. The overarching aim was to increase consideration of and appreciation for institutional contexts, policy processes, and innovation opportunities to enable students to use their chemical knowledge more effectively for societal change, particularly with respect to sustainability and the circular economy (Clift et al., 2022). At the heart of this was the need to teach critical thinking skills and ask questions beyond those typically addressed in Chemistry.

This project challenged the traditional, disciplinary-focused pedagogical paradigm by piloting a more holistic approach to education and professional development that is purposefully aligned with the heavily integrated and interdependent world in which we live. Success in this exploratory study could lay the foundations for expansion to disciplines and institutions beyond the pilot base. The project required data on the interventions and formative data about how the implemented elements worked so changes could be made to optimize the work. This led to initial survey instruments focused on levels one and two of the 4KLM being created in conjunction with the researchers to identify the areas of learning and the critical content to be judged. Once in place within the classes and tested for two semesters, the project focused on the identified need for training in critical thinking and asking the right questions. These two efforts led to the series of survey prompts described below in this section. Throughout this process, informal discussions and work sessions were held between the author as an evaluator and the research team to refine and adjust the instruments within the K4LM to allow them to be debugged and optimized for ongoing use in the project.

The significant data gathering and incremental improvement came through arranging and holding the guest speakers and the knowledge baseline survey. New Jersey Institute of Technology's Institutional Review Board (IRB) Protocol number 2208024268 was reviewed and given exempt status. Excerpts of those instruments are provided, but as an ongoing study, the data and tools have not been reported to the sponsor NSF nor made public.

## 4.2 LEVEL 1 AND 2

The project's initial focus was establishing a baseline in two areas requiring different assessment and evaluation instruments. The first would establish student and faculty reactions to guest speakers focused on sustainability and the circular economy. The second would determine students' level of knowledge and sophistication about these content areas.

For the guest speakers, the initial data showed positive attitudes from students in response to the content and delivery. Knowledge was also shown to be effectively transferred. In addition, the speakers and the faculty reported highly positive results, though this was anecdotal. This led to the incorporation of guest-speaker evaluation into the two new courses. To provide more weight and relevance to the tool as it was integrated into the learning management system Canvas, a free-response item was added to request a summary of the content covered. Otherwise, the instrument matched the level-1-type survey items of the K4LM.

The instrument had a digital consent and disclosure waiver prior to the questions provided below. To determine the degree of reaction, a five-point Likert scale, using the standard range from 'Strongly Agree' to 'Strongly Disagree', was used. After the K4LM-Level-one-type questions, the open-ended content question was given (See Instrument 1).

#### **Instrument 1.- Speaker Feedback Instrument**

1. Engagement: The presenter did a good job of generating participant interaction.
2. Application: I will be able to apply what I learned during this session in other parts of the program.
3. Relevance: The material was relevant to my needs regarding SEEG and the circular economy in Chemical Sciences.
4. Learning: My learning was enhanced by the knowledge of the presenter.
5. Delivery: The presenter effectively delivered the program material.
6. Free Response: In your own words, please provide a brief summary (3-4 sentences) of the main points of the session. Then explain what the most important social, economic, environmental, and governance (SEEG)-related things tied to Chemistry and the circular economy you learned by attending the presentation.

As seen from the above items, the questions start with the reaction to the experience being examined. These quantitative items provide a sense of the overall value of the experience. In addition, they allow the separation of issues related to the presenter from other aspects tied to content or context. The free-response item was used to verify the speaker's presence and provide insight to the researchers about the content retained and valued by the participants.

For level 2 learning, the researchers started by taking a general baseline. The tool was distributed widely to gather a broad understanding of what type of content was understood and where gaps remained. Over time, the tools were converted into a pre-

posttest of content knowledge and incorporated into classes. Building on the work in year one, the researchers integrated the baseline evaluation into the two courses that were developed and began to gather data over time, both within a single semester and between semesters for students who completed both courses. The instrument designed for the Pre-Post evaluation of knowledge included the following open-ended questions (See Instrument 2):

**Instrument 2.- Open-Ended Questions Instrument**

1. What is Sustainability?
2. What is Green Chemistry?
3. What is the difference between Environmental Chemistry and Green Chemistry?

These content-based questions most closely matched typical assessments within the classroom. However, since they were ungraded and left open, several students made multiple attempts at the pretest as their knowledge grew. The data provided by these types of evaluations allow for course content and additional experiences to be planned and provided to attain the project's goals fully. Once the researchers were confident in the content and context taught to the students, the focus shifted to more Level-3-type concerns. Critical thinking skills, an open mindset, and asking questions could not be assessed with simple tests or evaluated easily with level one or two types of questions. As a result, the project contracted an expert consultant to host a series of workshops concluding in a symposium where examples and best practices would be shared.

#### 4.3 LEVELS 3 AND 4

These sessions provided an opportunity to gather more data about level-one reactions from faculty, staff, and students, along with some level-two data on learning. It also allowed the author to observe the participants in his role as evaluator. These data reinforce and enrich the K4LM data gathered in the isolated context. These experiences also provide longitudinal views of the participants' work, allowing for higher-level Kirkpatrick analysis. Examples of the questions for level three and four instruments are supplied with some sample responses. The Right Question Institute ran a series of workshops and a symposium at NJIT on campus. From February to May 8, 2024, the Right Question Institute (RQI) provided training through a series of workshops for doctoral students and faculty:

- Session #1: All-February 2, 2024.
- Session #2: Faculty and students separated.

- Session #3: Faculty and students separated.
- Symposium: Full group of faculty, staff, administrators, and graduate students.

Ph.D. students were introduced to the Question Formulation Technique as a thinking process (Session 1). In Sessions 2 and 3, they gained expertise in using the Question Formulation Technique for Research (QFT-R) for their research work. Faculty were also introduced to the QFT in Session 1. Then, they had additional training in Sessions 2 and 3 on how to design their use of the Question Formulation Technique (QFT) and facilitate its use in their courses to enhance students' learning. The symposium allowed faculty and students to share their work and concepts related to the training. K4LM questions at level three are used to prompt presentations and gather feedback and input:

- How have you adopted the QFT and QFT for Research?
- How have faculty and students been using the QFT and QFT for Research?
- What value do students and faculty recognize both in learning/teaching and research?
- What changes have you seen in attitude/behavior?
- How has the quality of questions improved?

These series of workshops with a culminating experience allow for the higher level of Kirkpatrick's model to be utilized to produce both quantitative and qualitative data. Beyond that, the data and experiences provide a pathway for the level four reflection and evaluation of attainment by the researchers and program providers.

As an extension of the study evaluation, the team from RQI was surveyed to gather information about their experience with the NJIT team and the workshop participants. Excerpts from their response are provided below:

"The overall purpose of the symposium is to learn from practice and discuss the next steps to encourage further adoption at the institutional level and promote continuous use of QFT/QFT for Research. We have not had this culminating event from a partnership at the university level. We have convened separate RQI events, bringing together people to share what they have done and learned. But, there have not been any evaluations of those sessions."

This feedback from the outside consultant is used to provide evidence to NSF, the sponsor, to support the ongoing work. As the project moves towards a more stable and regular set of experiences, the leads and institutional leaders also need to be investigated. These are essential to completing the picture sought by K4LM.

The final set of prompts was an instrument for the research team. These were meant to gather level-four-type data to determine the degree of attainment. The following items are intended to stimulate reflection and help provide some feedback on the project to help make improvements and adjustments. These questions are meant to be high-level reviews of the work to help generate best practices and program improvement. A more open-ended style was chosen as a formative tool during the project. If the project was at completion or this was meant as a reflective activity, the more quantitative-style questions would be used with the associated Likert scale similar to that used for the speaker's reaction prompts.

1. Generally, what are your impressions of the progress of the project? What milestones or accomplishments are you most satisfied with, and which do you feel still need the most work?
2. Please consider the 'Course Development' aspect of the project. What is your opinion of the courses? What aspects do you feel are highlights to be showcased and/or shared? What aspects of the courses still need work to develop more fully and improve in order to meet the goals of the project?
3. Please consider the 'Expert Guest Speaker' aspect of the project. What is your opinion of the use and integration of expert speakers? What aspects do you feel are highlights to be showcased and/or shared? What aspects of the courses still need work to develop more fully and improve in order to meet the goals of the project?
4. Please consider the 'Question Formulation Technique (QFT) Workshop Series' hosted by the paid consultant. What is your overall opinion of the value provided by this series? Do you feel the project received a good return on its investment? Which aspects, if any, do you feel should be integrated into the program? Are there specific items you feel were of value or that were not worth the investment of time and resources?
5. Overall, what would you like to share about the project so far? What new actions are needed to move the work forward? What resources or additions would improve the outcomes and impacts of the project?

## 5 RESULTS

The most significant result is that the Kirkpatrick 4-Level Model (K4LM) served as a strong foundation for gathering quantitative data. When paired with qualitative data and direct observation, this data provides a compelling picture of the program for



evaluation reporting to the NSF and formative data for iterative curriculum design. The application of the Kirkpatrick Model in higher education has evolved to assess various levels of educational programs' effectiveness, including reaction, learning, behavior, and impact (Alsalamah & Callinan, 2021; Liang, 2023; Matondang et al., 2023). This model has demonstrated strengths in providing a comprehensive evaluation framework that considers immediate reactions and long-term impacts on students' skills and competencies. However, limitations exist, such as challenges in measuring specific intangible outcomes and needing more rigorous research designs and standardized evaluation tools (Smidt et al., 2009).

Compared to other evaluation frameworks, the Kirkpatrick Model stands out for its ability to assess the holistic impact of educational programs on learners, making it a valuable tool for evaluating training initiatives in higher education (Alhassan, 2022). K4LM has become a widely utilized framework for training evaluation across various fields. Numerous evaluators have applied this model to assess the effectiveness of training programs. Aljawharah Alsalamah (2022) presents a comprehensive bibliometric analysis of the Kirkpatrick Model, examining its utility and effectiveness in meeting the needs of training evaluations. This analysis highlights the model's significance by tracking the growth of studies focused on its applications across different contexts and settings. However, a limited number of studies use the K4LM in curriculum redesign projects. An apparent strength is the quantitative data it provides about the learning experience and associated assessments of participant learning related to that experience. This allows for iterative optimization and feedback on the value and effectiveness of the experience. Ludmila Pavlova (2010) provides an in-depth examination of the Kirkpatrick Model's application in assessing educational effectiveness, offering valuable feedback to higher education institutions. Praslova's work underscores the importance of using the model to enhance academic outcomes and institutional practices.

When focusing on the instructional design aspects of teaching within classroom settings, K4LM works well for the reaction to the experience and assessment of learning evaluation tasks. Mosquera et al. (2023) conducted a study involving an experimental group (EG) and a control group (CG) of students, each completing 15 programming tasks to measure the level of knowledge acquired. The evaluation utilized pretest knowledge, grade assessments, activity time, and post-test learning outcomes to determine the effectiveness of the interventions. In this case, K4LM lower-level evaluations were useful.

In the above case study, technology facilitated the use of K4LM tools. Students are accustomed to completing Google surveys, answering tests on computer-mediated platforms, and providing a wealth of personal data and opinions in online forums.

However, this familiarity does not mean the survey instruments or overall evaluation plan are effective. The authors found the resources of the website 'Ed Tech' provided helpful information about utilizing educational technology as part of the Kirkpatrick level one and two type evaluations within classes. It emphasized that learning management systems used to deliver class materials and conduct courses in online formats can facilitate the surveying and assessments designed with K4LM. However, since this model is more rigid and meant for training, just drawing the parallel between training in business and education in higher educational classrooms is not clear and direct. Each use case must be judged, and the desired outcomes and metrics must be matched with the experiences and activities being designed to determine how well Kirkpatrick-style levels of evaluation match the CID of the intended program.

Michael Cahapay (2021, p. 140) notes that the Kirkpatrick Model has limitations in higher education. He points out that the model "presents a propensity towards the use of the lower levels only, rigidity which leaves out other essential aspects of the evaluand, and paucity of evidence on the causal chains among the levels." If the quantitative focus of Kirkpatrick is not paired with other mixed-method approaches, its usefulness may be limited to reporting or benchmarking practices at the higher levels.

Overall, the K4LM was adequate for the redesign project because it was seen as a starting point from which a practical CID project could be evaluated. It was meant as summative measures of attainment nor proof of work being accomplished as part of compliance. As with any evaluation system, the K4LM is an evolving tool to provide data on progress toward desired outcomes and measure participant satisfaction and value. In that role, this model was advantageous to the project and the author as its evaluator.

## 6 CONCLUSION

Educational evaluation is essential for effective teaching and learning. With the advent of technology, data gathering and analysis have become more accessible, but this can also lead to difficulties in understanding the implications of what the data shows. The Kirkpatrick model provides a planning and implementation structure that can leverage technology to ensure an ethical and inclusive picture of the curriculum and instructional design being examined.

This article provides a foundation for evaluators and researchers working to understand and improve CID in higher education. The Model K4LM offers a structure for planning and implementing evaluation but has limitations. K4LM helps create an evaluation plan and ensures clear quantitative measures tied to overall aims and success metrics. However, from literature research and practical experience, a mixed-method approach

applied across in-class and out-of-class experiences provides a more accurate and richer perspective. The closer to the interface between learner, educator, and content, the more easily K4LM can be applied, especially at levels one and two. The more broadly education is examined, such as at the curriculum or program level, the more evaluations must be multifaceted and gather data through a range of means to tell a clearer story of what is happening over time as the participants move through a series of experiences aimed at the overarching goal of that program.

## SOURCES

Akbar, S., Darungan, T. S., & Rahma, D. S. (2024). Instrument Development for Study Programs Excellence Evaluation Based on Kirkpatrick Evaluation Model. *Jurnal Pendidikan Kedokteran Indonesia: The Indonesian Journal of Medical Education*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.22146/jpki.91960>

Alhassan, A. I. (2022). Implementing Faculty Development Programs in Medical Education Utilizing Kirkpatrick's Model. *Advances in Medical Education and Practice*, 13, 945–954. <https://doi.org/10.2147/AMEPS372652>

Alsalamah, A., & Callinan, C. (2021). Adaptation of Kirkpatrick's Four-Level Model of Training Criteria to Evaluate Training Programmes for Head Teachers. *Education Sciences*, 11(3), 116. <https://doi.org/10.3390/educsci11030116>

Babbie, E. R. (2016). *The Practice of Social Research, 14th Edition* (14th ed.). Cengage Learning.

Cahapay, M. (2021). Kirkpatrick Model: Its Limitations as Used in Higher Education Evaluation. *International Journal of Assessment Tools in Education*, 8(1), Article 1.

Chang, N., & Chen, L. (2014). Evaluating the Learning Effectiveness of an Online Information Literacy Class Based on the Kirkpatrick Framework. *Libri*, 64(3), 211–223. <https://doi.org/10.1515/libri-2014-0016>

Clift, R., Martin, G., & Mair, S. (2022). Chapter 3 – Sustainability and the circular economy. In C. Teodosiu, S. Fiore, & A. Hospido (Eds.), *Assessing Progress Towards Sustainability* (pp. 35–56). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85851-9.00001-8>

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, Fifth Edition (5th ed.). SAGE Publications, Inc.

Frey, B. B. (2018). *The SAGE Encyclopedia of Educational Research, Measurement, and Evaluation, First Edition* (1ra Edición). SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781506326139>

Giarratano, J. (2022, July 6). Interdisciplinary Advancement: New Center for Urban Transformations to Bring Innovations in Research and Implementation. *Next Generation Program*. <https://nextgen.gsu.edu/2022/07/06/center-for-urban-transformations/>

Langer, A., & Ghaye, T. (2012). *Reflective Practice*. 13. <https://www.tandfonline.com/journals/crep20>

Liang, H. (2023). Using Kirkpatrick Four Level Evaluation Model to Assess English for Medical Purposes Courses – A Case Study at a Medical School. *The Educational Review, USA*, 7(6), 756–760. <https://doi.org/10.26855/er.2023.06.021>

Matondang, Z., Sitompul, H., & Wijaya, K. (2023). Implementation of Evaluation of Kirkpatrick Model in Statistics Course Based on Case Method at the Department of Building Engineering. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(5), 2677–2685. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i5.3371>

Mosquera, J. M. L., Suarez, C. G. H., & Guerrero, V. A. B. (2023). Effect of Flipped Classroom and Automatic Source Code Evaluation in a CS1 Programming Course According to the Kirkpatrick Evaluation Model. *Education and Information Technologies*, 28(10), 13235–13252. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11678-9>

Paul, M., Whitsed, C., & Girardi, A. (2020). Applying the Kirkpatrick model: Evaluating an “interaction for learning framework” curriculum intervention. *Issues in Educational Research*, 26(3), 490–507. <https://doi.org/10.3316/ielapa.509274814654719>

Praslova, L. (2010). Adaptation of Kirkpatrick’s four level model of training criteria to assessment of learning outcomes and program evaluation in Higher Education. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 22(3), 215–225. <https://doi.org/10.1007/s11092-010-9098-7>

Reio, T. G., Rocco, T. S., Smith, D. H., & Chang, E. (2017). A Critique of Kirkpatrick’s Evaluation Model. *New Horizons in Adult Education and Human Resource Development*, 29(2), 35–53. <https://doi.org/10.1002/nha3.20178>

Rossi, P. H., Lipsey, M. W., & Freeman, H. E. (2003). *Evaluation: A Systematic Approach*, 7th Edition.

Smidt, A., Balandin, S., Sigafos, J., & Reed, V. A. (2009). The Kirkpatrick Model: A Useful Tool for Evaluating Training Outcomes. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 34(3), 266–274. <https://doi.org/10.1080/13668250903093125>

# CAPÍTULO 7

## EL TALLER DE CIENCIAS Y EL USO DEL MÉTODO CIENTÍFICO PARA PROMOVER EL PENSAMIENTO CIENTÍFICO EN PREESCOLARES<sup>1</sup>

Data de submissão: 30/09/2024

Data de aceite: 14/10/2024

**Karina Lisbet Ronzón Rodríguez**

Benemérita Escuela Normal Veracruzana  
“Enrique C. Rébsamen”  
Veracruz, México

**Ana Graciela Cortés Miguel**

Benemérita Escuela Normal Veracruzana  
“Enrique C. Rébsamen”  
Veracruz, México

**Kena Vásquez Suárez**

Benemérita Escuela Normal Veracruzana  
“Enrique C. Rébsamen”  
Veracruz, México

**RESUMEN:** Para innovar el profesor debe percibir la necesidad de transformar su práctica, y con la investigación-acción, cuestionar sus funciones, revisar contenidos y métodos, así como las estrategias que utiliza, regular el trabajo didáctico, evaluar el proceso

<sup>1</sup> Este trabajo fue presentado anteriormente en el Congreso del Consejo Mexicano de Investigación Educativa (COMIE) y es parte de la investigación realizada en una maestría.

y los resultados (Latorre, 2003). Desde esta premisa se presenta la experiencia de una docente del nivel preescolar en la que pretende desarrollar el pensamiento científico de los niños a través de implementar el método científico en actividades experimentales organizadas en la estrategia de taller. Se desarrolló la experiencia con un seguimiento apoyado de instrumentos diseñados exprofeso así como de observadores externos. Los resultados del análisis de la intervención de la profesora arrojaron que la estrategia didáctica permitió a los alumnos involucrarse en cada una de las situaciones experimentales para generar reacciones en los objetos, y al hacer predicciones, y comprobarlas además expresaron el motivo del fenómeno natural producido. La sistematización y el uso constante del método científico generó el interés por parte del estudiantado de llevar un registro sistematizado para después explicar un determinado suceso natural, favoreciendo de este modo el pensamiento científico. Además, se reconoce que el docente como agente innovador antes que nada debe estar dispuesto al cambio y reconocer la importancia de su práctica, comenzando con analizar las problemáticas presentadas en su grupo, así como buscar estrategias adecuadas para generar el cambio y obtener resultados en el aprendizaje del alumnado.

**PALABRAS CLAVE:** Pensamiento científico. Taller. Método científico.

## THE SCIENCE WORKSHOP AND THE USE OF THE SCIENTIFIC METHOD TO PROMOTE SCIENTIFIC THINKING IN PRESCHOOLERS

**ABSTRACT:** In order to innovate, the teacher must perceive the need to transform his practice, and with action research, question his functions, review contents and methods, as well as the strategies he uses, regulate the didactic work, evaluate the process and the results (Latorre, 2003). From this premise, the experience of a preschool teacher is presented in which she intends to develop the scientific thinking of children through the implementation of the scientific method in experimental activities organized in the workshop strategy. The experience was developed with a follow-up supported by specially designed instruments as well as external observers. The results of the analysis of the teacher's intervention showed that the didactic strategy allowed the students to get involved in each of the experimental situations to generate reactions in the objects, and by making predictions and verifying them, they also expressed the reason for the natural phenomenon produced. The systematization and constant use of the scientific method generated the students' interest in keeping a systematized record to later explain a certain natural event, thus favoring scientific thinking. In addition, it is recognized that the teacher as an innovative agent must first of all be willing to change and recognize the importance of his practice, starting with analyzing the problems presented in his group, as well as seeking appropriate strategies to generate change and obtain results in student learning.

**KEYWORDS:** Scientific thinking. Workshop. Scientific method.

### 1 INTRODUCCIÓN

Fomentar el aprendizaje a través de la ciencia, ofrece la posibilidad de favorecer habilidades en los individuos como la actitud crítica, además al aplicar el método científico, serán capaces de enfrentar y resolver problemas de la vida cotidiana (Rodríguez- Ponce, 2015). Bajo esta premisa, para impulsar el acercamiento a las ciencias, en las escuelas se han realizado diversos proyectos tanto en el ámbito internacional, como nacional y estatal promovidos por CONACYT, la Secretaría de Educación, en el caso del estado de Veracruz, específicamente se ha implementado el Programa de Aplicación de los Sistemas de Enseñanza Vivencial e Indagatoria de las Ciencias (PASEVIC). Aunque los diversos proyectos han tenido como finalidad promover la ciencia en instituciones educativas, así como también proporcionar recursos y materiales para fomentar el interés por el tema, en las escuelas se observa que muchos docentes dejan de lado actividades para favorecer el interés en ella, pues subestiman la capacidad de los niños (esencialmente de los preescolares) para trabajar situaciones experimentales, aunado a lo anterior “las ciencias en planes y programas de estudio, han ocupado un lugar secundario debido a que se han preocupado la mayor parte de la atención, en la formación docente para la lengua y matemáticas” (Flores, 2012, p.5). Trabajar la ciencia en el nivel preescolar potencia la curiosidad de los niños, promueve el interés por indagar lo que sucede a su

alrededor, desarrolla la observación, la investigación, el razonamiento, la resolución de problemas y la comunicación, es decir permite desarrollar un pensamiento científico el cual se caracteriza por ciertas conductas y disposiciones como son la capacidad para elaborar preguntas y sorprenderse, la habilidad para encontrar relaciones entre aspectos aparentemente distantes o distintos, la confianza en los otros, como colectivos e individuos; y, finalmente, la necesidad, de comunicarse con los otros con la intención de compartir una vivencia o de convencer racionalmente a los otros de un planteamiento (Segura, 2011).

La documentación de esta experiencia de intervención parte del supuesto que la estrategia de taller permitirá a los niños preescolares hacer uso del método científico, implementando experimentos, de tal forma que permita desarrollar el pensamiento científico.

## 1.1 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN EDUCATIVA

La estrategia de taller su enfoque pedagógico proviene de la pedagogía activa. De acuerdo con López (2007) esta propuesta educativa contribuyó a la lucha por un cambio en la educación tradicionalista, retomó influencias de pensamiento de pedagogos, en sus inicios ofrecía una concepción natural y experimental, con escuelas abiertas, experimentales, campestres, lugares de movimiento del cuerpo donde el espíritu se abre y dispone para el aprendizaje”. Nació con las obras de Herbart, Decroly, Claparède, Montessori, Dewey, Piaget y otros.

Urrego (2011) afirma que en los talleres de investigación como el de ciencia se incorporan actitudes como la curiosidad, la exploración, la indagación y la resolución de problemas, pero para integrarlas se necesita poner en práctica habilidades del pensamiento, como las mencionadas por Sánchez (1995):

- a) Observación. Proceso mental que implica la identificación de las características de los estímulos (objetos o situaciones) o la integración de estas características en un todo que represente la imagen mental del objeto o situación.
- b) Descripción. Identificación de las características del objeto.
- c) Diferencias. Una extensión de la observación que consiste en identificar las características en que difieren dos o más conceptos o situaciones.
- d) Semejanzas. Se refiere a las características idénticas o similares de objetos o situaciones.
- e) Comparación. Es un proceso básico que constituye el paso previo para establecer relaciones entre pares de características de objetos o situaciones.

- f) Relación: Representa enunciados abstractos alejados de la realidad tangible que contribuyen a facilitar la conexión entre ideas y, por tanto, a lograr la representación mental de éstos.
- g) Características esenciales: Agrupar objetos con base a sus semejanzas y diferencias, posibilita identificar las características compartidas por un conjunto de objetos o situaciones.
- h) Clasificación. Es el proceso mental el cual se organizan los objetos de un conjunto en clases de acuerdo a un criterio previamente definido.
- i) Planteamiento y verificación de hipótesis. La hipótesis es una suposición de posible verificación, se aceptan o rechazan. Para verificar las hipótesis se deben de realizar experimentos u observar sistemáticamente ejemplo y contraejemplos de los fenómenos u hechos estudiados.
- j) Definición de conceptos. Se refiere a explicar a partir de sus posibles características esenciales.

Con la implementación del taller de ciencias se crearía un espacio donde los niños tuvieran una colaboración activa con experiencias vivenciales al manipular y experimentar con los objetos provocándoles asombro ante las reacciones producidas, siguiendo un proceso en su aprendizaje con el empleo del método científico, Otzen, Manterola, Rodríguez-Núñez, García-Rodríguez (2017) mencionan que “el método científico, constituye la columna vertebral de cualquier proceso de investigación, caracterizándose por una serie de etapas que, observadas y seguidas de forma acuciosa y sistematizada; permiten conducir y concluir cualquier protocolo de investigación” (p. 1031), cuyas fases son:

1. Observar.
2. Plantear preguntas.
3. Generar una hipótesis.
4. Conducir el experimento.
5. Buscar una conclusión
6. Reportar resultados.

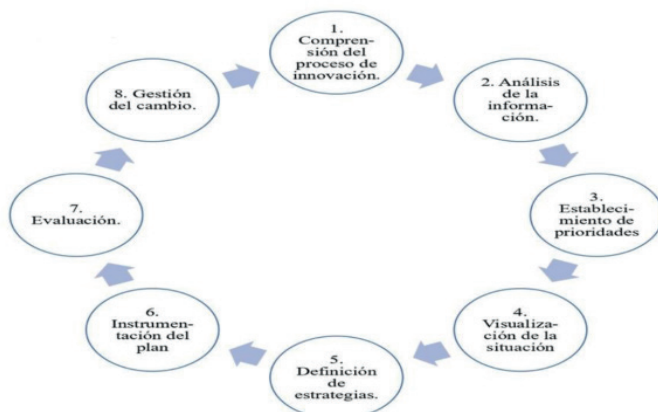
Por su parte, Frade (2009) define al pensamiento científico como “la capacidad de generar hipótesis y su comprobación, de manera que se explique la casualidad de un fenómeno determinado, supone el potencial para identificar causas y explicaciones con una fuerte capacidad cuestionada” (p.196). De esta forma se considera que al emplear la estrategia didáctica de taller para organizar actividades para favorecer el pensamiento científico en los alumnos promovería una actitud autónoma, de colaboración y trabajo



en equipo asimismo con el uso del método científico se desarrollaron habilidades del pensamiento científico.

La propuesta de intervención que se documenta en este trabajo se desprende de un Proyecto de Innovación centrado en favorecer el pensamiento científico en niños del nivel preescolar con la intención de que den explicaciones sobre la causa de un fenómeno o suceso natural al trabajar ciencia y la forma de intervenir de la docente para organizar y guiar las actividades al hacer uso de la estrategia didáctica de taller. El diseño y seguimiento de esta propuesta se realizó desde la metodología de investigación-acción, específicamente considerando las fases del Modelo de Innovación de Ortega et al. (2007), como se observa en la figura 1.

Figura 1. Fases del Modelo de Innovación.



Fuente: Ortega et al. (2007).

Estas fases permitieron a la docente detectar la problemática del grupo con un diagnóstico con la evidencia obtenida implementó una estrategia didáctica para dar solución al trabajo con ciencias para así favorecer en el alumnado el pensamiento científico, de esta forma se seleccionaron los instrumentos de evaluación dando seguimiento a la propuesta para que al final se valoraran los resultados para transformar su práctica docente. Al identificar la problemática en el grupo establece los siguientes objetivos que guiaron el diseño e implementación del Proyecto Innovador.

## 1.2 OBJETIVOS DE LA PROPUESTA GENERAL

Valorar la implementación de las etapas del método científico en actividades experimentales organizadas en un taller de ciencia para favorecer el pensamiento científico en alumnos de preescolar.

## Específicos

1. Valorar la pertinencia del taller como estrategia didáctica para propiciar la formulación de preguntas, inferencia e hipótesis en los niños.
2. Identificar la importancia que tiene el uso del método científico en las explicaciones que logran realizar los niños.
3. Comprender la incidencia de las situaciones experimentales en el desarrollo de las habilidades del pensamiento.

Para el desarrollo del proyecto, la educadora planeó un taller de ciencias con ocho situaciones experimentales, con duración de cincuenta minutos, enfocadas en temas de física como densidad, volumen, fuerza, magnetismo, percepción y electricidad. La decisión de la profesora de encaminar las actividades con la física, fue con el motivo de generar curiosidad, permitir la experimentación para producir el fenómeno, y dar una explicación del porqué del suceso natural y reportar un resultado. Según Gutiérrez (2007), la física representa a la ciencia, es fundamental porque estudia las leyes que rigen los fenómenos más básicos de la naturaleza y la relación entre ellos.

En las actividades del taller, en cada una utilizó el método científico donde los niños llevaron un registro sistemático de sus predicciones, conclusiones y resultados. Dado que en la ciencia se pone en práctica el método científico para prever, describir, explicar hechos o acontecimientos del entorno.

En el desarrollo de los experimentos trabajaron por binas y en equipos organizando su intervención al momento de experimentar, encontraron relaciones entre los objetos y sus reacciones, y ante las preguntas expresaron suposiciones y respuestas del por qué del evento natural. Así mismo para propiciar el interés y la curiosidad de los alumnos, se utilizaron fichas de trabajo, para que por medio de dibujos identificaran los materiales y el procedimiento a seguir en cada una de las actividades.

Para dar seguimiento y evaluación a la intervención se hizo uso de un diario de trabajo, una guía de observación empleada por un Apoyo Técnico Pedagógico (ATP), una rúbrica, el registro sistemático de predicciones, conclusiones y resultados para que dieran explicaciones y de esta manera favorecer el pensamiento científico.

Con el diario se hizo un registro de cada uno de los talleres implementados, anotando una descripción de lo realizado con el alumnado, la interacción y diálogo de la educadora para propiciar las predicciones y explicaciones del fenómeno natural producido, e identificó cómo modificar la práctica docente.

En la guía de observación con apoyo de indicadores el ATP y la docente registraron la manera de realizar el taller, organizar los materiales y el horario en el cual se llevó a

cabo, describió cómo el estudiantado experimentó y comprobó sus predicciones. Con la rúbrica se valoraron las habilidades y actitudes del alumnado para hacer predicciones y comprobarlas al momento de experimentar.

El formato del método científico permitió que los alumnos hicieran un registro sistemático en cada uno de los talleres, anotaron predicciones y una conclusión, explicando por qué se había generado el suceso natural para que después, con apoyo de los padres de familia, efectuaran una investigación para ampliar dicha explicación.

El uso del diario de trabajo y el registro del método científico ayudaron a reconocer las habilidades del pensamiento desarrolladas en los alumnos como: la observación, la descripción, comparación, relación y planteamiento de hipótesis en cada una de las situaciones experimentales.

Para efectuar el análisis se hizo una triangulación de la información, Cisterna (2005), la denomina como el proceso de reunión y cruce dialéctico de los datos recogidos, surgida de la investigación. Dicha triangulación sirvió para identificar los resultados obtenidos al implementar la estrategia didáctica del taller para trabajar ciencia, el uso del método científico como recurso al alumnado para predecir, comprobar y dar explicaciones de sucesos naturales para así desarrollar el pensamiento científico. A continuación, se presentan los resultados identificados con esta experiencia.

### 1.3 RESULTADOS DE LA INTERVENCIÓN

Se identifica en cuanto a la intervención de la docente en la actividad “El disco de Newton” que permitió a los alumnos la manipulación y experimentación de los recursos para comprobar sus predicciones y llegar a dar una explicación, es decir, el alumnado fue partícipe en su aprendizaje, de acuerdo a los que nos dice Urrego (2011) “en el taller se vincula el aprendizaje desarrollador y autónomo, y a cuyo proceso se incorporan actitudes como la curiosidad, la exploración y la indagación” (p.26).

El ATP expresa:

“Una vez con los materiales planteó cuestionamientos, preguntas abiertas a los alumnos, escuchando las respuestas de aquellos que pedían la palabra” (GDOATP171019E5). “Los alumnos comentaron acerca de lo que observaban en la tarjeta materiales, procedimiento y posteriormente sus predicciones, cuando algún alumno hacía un comentario igual al otro compañero, lo cuestionaba para que propusiera otra predicción distinta a las ya mencionadas. Orientó a los alumnos para registrar su predicción en el cuadernillo... Apoyó a los alumnos a girar el disco y preguntó ¿qué pasa con el disco se está rompiendo?... al terminar de experimentar acomodaron las mesas y sillas a

continuaron con el registro de lo que sucedió al girar el disco...” (GDOATP171019E5). “Con las respuestas de los alumnos, la educadora unifica y propone una conclusión del sucedido con el experimento” (GDOATP171019E5).

Por su parte la docente del grupo manifiesta:

“les pregunté ¿qué creen que vamos a hacer? y la respuesta de los niños fue girar el disco. Retomando las etapas del método científico les realicé la pregunta ¿qué creen que pase si giramos el disco?, las respuestas fueron, “se va a salir”, “se va ver de muchos colores”, “se va romper”, “se va a romper el hilo”, “se va ir moviendo de un lado a otro”, anotando sus respuestas en el paso número tres de hacer una predicción. Para experimentar se tuvieron que mover las sillas y mesas para ampliar el espacio y pudieran rotar el material y comprobar sus predicciones, a algunos niños los apoyé mostrándoles la manera de girar el disco, además los cuestioné a partir de sus predicciones ¿se está rompiendo?, ¿se ve de colores?” (DDT171019E5).

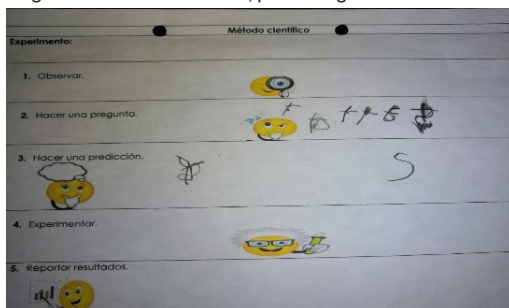
Los registros anteriores hacen evidente que los cuestionamientos de la maestra son fundamentales para propiciar la experimentación y predicción en los niños, así mismo la disposición del mobiliario y uso de los materiales jugaron un papel importante para la experimentación.

En el taller de ciencias en cada una de las actividades experimentales implementadas, los cuestionamientos a los alumnos dieron pie a la realización de predicciones e hipótesis y experimentaron con los materiales para comprobarlas.

Para evaluar los resultados obtenidos con el uso del método científico se seleccionaron dos registros: uno es del alumno A con un trastorno de déficit de atención (TDA) y, el segundo es del alumno B el cual mostró al inicio, dificultad para hacer las anotaciones; se tomaron en cuenta el primer experimento el pañuelo dentro del vaso y el último registro de la situación experimental ¿giro el vaso y qué pasa?

Alumno A

Figura 2. Método Científico, primer registro del alumno A.

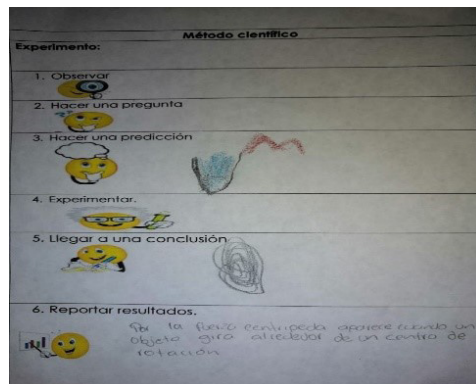


Fuente: Alumna de 3° C, Jardín de Niños “María Montessori”.

En la Figura 2 con el registro de la situación experimental el pañuelo dentro del vaso, se observa la dificultad por parte del alumno por hacer registros, hizo algunas anotaciones en algunos pasos, pero no concluye en anotar una explicación del fenómeno producido.

#### Alumno A. Último registro

Figura 3. Método Científico, último registro del alumno A.

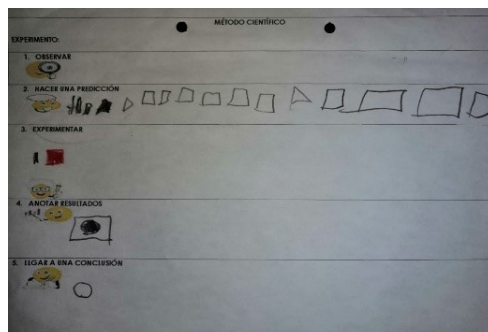


Fuente: Alumna de 3° C, Jardín de Niños "María Montessori".

En la Figura 3, el alumno A registró la predicción y el resultado en el espacio solicitado, la actividad experimental fue ¿giro el vaso y que pasa?, en su predicción plasmó que el agua se iba a regar y en la conclusión que no se regó, para investigar en casa explicó lo ocurrido y cómo se llevó a cabo, con ayuda de sus familiares indagó cual era la causa de que no se regara el agua, y fue por una fuerza llamada centrípeta, ampliando y verificando las explicaciones del día anterior. El método científico como nos dicen Asensi y Parra (2002) permite buscar la verdad y crear modelos para aumentar nuestro conocimiento científico del mundo.

#### Alumno B. Primer registro

Figura 4. Método Científico, primer registro del alumno B.

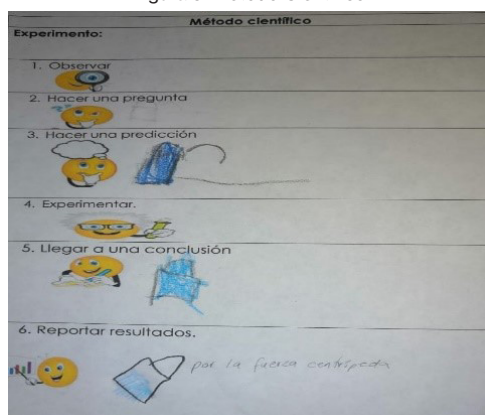


Fuente: Alumno de 3° C, Jardín de Niños "María Montessori".

En la Figura 4, el alumno B, realizó un registro utilizando diversos dibujos y algunos no relacionados con el experimento pues hizo figuras geométricas, en los siguientes pasos retomó los materiales empleados, y en la conclusión y el resultado en su registro no plasmó lo sucedido con los objetos.

#### Alumno B. Último registro

Figura 5. Método Científico.



Fuente: Alumno de 3° C, Jardín de Niños "María Montessori".

En la Figura 5, el alumno B en el paso de hacer una predicción, comentó y anotó que se iba a regar, después en la conclusión dibujó la reacción del objeto, en casa con apoyo de los padres de familia investigó y explicó la razón del hecho natural, el cual fue la fuerza centrípeta.

En los anteriores casos al compararlos se observó un avance en la utilización del método científico, pues en cada experimento el alumnado se habituó a llevar un registro sistemático, en un principio fue difícil, pues no estaban acostumbrados a anotar sus ideas o predicciones.

En el último registro se identificó el dominio de los pasos del método científico, tanto por experimentar como de escribir predicciones, resultados y conclusiones. De acuerdo a Torres, Mora, Garzón y Ceballos (2013) es necesario que los docentes proporcionen recursos y herramientas que permitan profundizar el análisis de los problemas planteados, con el método científico los niños siguieron un proceso para explorar e investigar con una guía de trabajo y con un acompañamiento por parte de la docente.

Cabe mencionar, en el formato del método científico los pasos fueron guiados por dibujos, esto apoyó al alumno con TDA, el estudiante con esta condición necesita una organización de las actividades y esto se hace a través de imágenes para centrar su atención.

Con el método científico los alumnos llevaron a cabo una actividad de investigación, y con los pasos a seguir favorecieron el pensamiento científico ya que a partir de los cuestionamientos realizados a los alumnos dieron a conocer qué podría pasar expresándolo de forma verbal y escrita; con la experimentación los niños comprobaron sus predicciones, dando una explicación de por qué se había generado la reacción, verificaron y ampliaron con la investigación que hicieron, según Diego-Rasilla (2004) “la utilización del método científico implica necesariamente la puesta en práctica del pensamiento científico” (p. 112).

En la Tabla 1 se muestra la triangulación de la información empleando el diario de trabajo para identificar habilidades del pensamiento favorecidas en las situaciones experimentales.

Tabla 1. Habilidades del pensamiento en situaciones experimentales.

<b>Situación experimental</b> <b>Magnetismo</b>	<b>Situación experimental</b> <b>El huevo que flota</b>	<b>Situación experimental</b> <b>Pon la plastilina a flotar</b>
Los cuestioné qué pasará si acercamos un imán a los objetos, sus predicciones fueron “unos se van a pegar y otros no”, “los de metal se pegarán al metal y los de plástico se caerán”. Los niños en forma individual experimentaron y clasificaron los materiales, cuál se pegaban en el imán y aquellos no atraídos por este material. Los niños reportaron como resultado, los objetos de metal se pegan al imán y los de plástico no.	Cuestioné ¿qué pasa si colocó un huevo en un vaso con agua?, retomaron el experimento anterior: se hunde porque pesa, pero ¿qué pasa si a un vaso con agua le coloco poca sal y al otro mucha y después sumerjo un huevo en cada recipiente? Sus predicciones fueron, “se va a hundir también”, “va a explotar”, “el vaso con mucha sal, el huevo se volverá Slim”, “se van a romper”. Posteriormente hicieron su registro y llevaron a cabo su comprobación, en el vaso con mucha sal el huevo flotó, los cuestioné por qué sucedió y sus participaciones fueron las siguientes, “porque el huevo se ve más chiquito”, “el agua se puso blanca”, “el huevo pesa poco”. Con su investigación se llegó a la conclusión que el agua con sal se vuelve densa y el huevo pesa menos.	Se desarrolló por parejas entregándole a cada una la ficha de trabajo, por la experiencia del experimento del huevo que flota y mezcla de sustancias, la mayoría predijo el hundimiento del material en el agua, sin embargo, al observar la plastilina en forma de canoa sin hundirse los cuestioné ¿por qué no se hunde? contestando: pesa menos, retomando esta respuesta, los volví a interrogar, pero ¿por qué pesa menos? y una alumna respondió por su forma de canoa, lo cual pedí investigar si esta conclusión era correcta, al siguiente día contrastaron la respuesta y efectivamente al tener la plastilina forma cóncava se llena de aire y la hace más liviana y flota.

Fuente: Elaboración propia.

Al triangular la información de las tres actividades experimentales sobre la forma en como actuó la docente para favorecer habilidades del pensamiento, se visualiza que

en todas cuestionó y el alumnado planteó predicciones que comprobó, observaron las reacciones de los objetos y relacionaron o compararon lo ocurrido con otros fenómenos naturales, clasificaron los materiales de acuerdo a sus propiedades y dieron una descripción al dar una razón del porqué del suceso producido. Sánchez (2017) refiere que al hacer preguntas involucra a los alumnos a realizar inferencias, relacionar, interpretar, opinar, plantear hipótesis, transformar, construir y en la búsqueda de la respuesta a los cuestionamientos permite al estudiante explorar sus ideas previas, transferir los conocimientos adquiridos a situaciones nuevas, favoreciendo la interacción entre estas ideas y los nuevos conocimientos, condición necesaria para el aprendizaje significativo.

## 2 CONCLUSIONES

Para llevar a cabo trabajo con la ciencia en el preescolar se recomienda el uso de materiales que permitan a los alumnos experimentar con ellos y organizarlos en un espacio específico, de igual modo emplear fichas y en ellas plasmar a través de dibujos los materiales y el procedimiento con la finalidad de generar curiosidad en los niños.

En el taller de ciencias los principales actores de su aprendizaje son los alumnos, al involucrarse en cada una de las situaciones experimentales al manipular y experimentar para producir reacciones en los objetos.

El orientar a los alumnos en el uso del método científico es muy importante puesto que con ellos se va identificando cada una de las etapas antes de llevar a cabo el registro, en el nivel preescolar es necesario organizar la información a través de imágenes y de esta manera captar la atención de los alumnos.

Con el empleo del método científico con un registro sistemático los alumnos llevan a cabo predicciones y dan explicaciones de los sucesos naturales generando un pensamiento científico. Al utilizar el método científico desde el preescolar se empieza a desarrollar las competencias científicas como son las de interpretar datos, valorar sus investigaciones contrastándolas con sus predicciones iniciales para explicar fenómenos. Al desarrollarlas a lo largo de la Educación Básica propiciará en el alumnado habilidades para entender registros y responder a las situaciones con el tema de ciencias.

## REFERENCIAS

Asensi, V. y Parra A. (2002). El método científico y la nueva filosofía de la ciencia. *Anales de documentación*, (Núm. 5), pp. 9-19.

Cisterna, F. (2005). Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria, Volumen 4* (Núm. 1). p. 68



- Diego-Rasilla, F. (2004). El método científico como recurso pedagógico en el bachillerato: Haciendo ciencia en clase de Biología. *Revista Pulso*, (Número 27), pp. 111-118.
- Flores, F. (2012). *La enseñanza de la ciencia en la educación básica en México*. Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación. <https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/01/P1C227.pdf>
- Frade, L. (2009). *Desarrollo de competencias en educación: desde preescolar hasta el bachillerato: inteligencia educativa*.
- Gutiérrez, J. (2007). La Física, ciencia y teoría experimental. *Vivet Academia*, num.89. pp. 24-41.
- Latorre, A., (2003). *La investigación-acción. Conocer y cambiar la práctica Educativa*. (3a. Edición) España: Graó.
- López, M. (2007). Aportes de la Pedagogía activa a la educación. *Plumilla Educativa, Facultad de Educación*. Vol. 4. Pp. 33-44.
- Ortega, et. al. (2007). Modelo de innovación educativa. un marco para la formación y el desarrollo de una cultura de la innovación, *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, vol. 10, (número 1), pp. 145-173.
- Otzen T., Manterola C., Rodríguez-Núñez I., García Domínguez M. (2017). La Necesidad de Aplicar el Método Científico en Investigación Clínica: *Problemas, Beneficios y Factibilidad del Desarrollo de Protocolos de Investigación*. *Int. J. Morphol.*, 35 (3), pp. 1031-1036.
- Rodríguez-Ponce, E. (septiembre, 2015). La ciencia en la sociedad del conocimiento. *Interciencia*, vol. 40 (Número. 9), pp. 585.
- Sánchez, I. (5-8 de septiembre de 2017). Aprendizaje basado en preguntas y su impacto en las estrategias de aprendizaje. *Congreso Internacional sobre la investigación en didáctica de las ciencias*, Congreso llevado a cabo en Sevilla, España.
- Sánchez, M. (1995). *Desarrollo de Habilidades del Pensamiento: Procesos Básicos del Pensamiento*. Trillas: México.
- Segura, D. (2011). El pensamiento científico y la formación temprana: una aproximación a las prácticas escolares en los primeros años vistas desde las ciencias y la tecnología. *Universidad Pedagógica de Colombia*, Volumen 3 (Número31), pp. 4-15.
- Torres, A., Mora, E., Garzón, F. y Ceballos, N. (2013). Desarrollo de competencias científicas a través de la aplicación de estrategias didácticas alternativas: un enfoque a través de la enseñanza de las ciencias naturales. *Tendencias Vol.15* (Número. 1), pp. 187-215.
- Urrego, A. (enero-junio de 2011). El taller como estrategia para estudiantes de licenciatura en Educación Básica. *Revista Politécnica* (Número, 12), pp. 25-34.

## CAPÍTULO 8

### POTENCIALIDADE DA PARTICIPAÇÃO DOS ALUNOS DO 1.º CICLO DO ENSINO BÁSICO NAS ATIVIDADES PRÁTICAS DE CIÊNCIAS

Data de submissão: 24/09/2024

Data de aceite: 11/10/2024

**Daniel Rui de Brito Geraldo**

Escola Superior de  
Educação e Comunicação  
Universidade do Algarve  
Faro, Algarve - Portugal

<https://orcid.org/0009-0005-0783-0757>

**RESUMO:** O saber científico assume um papel imprescindível na formação do cidadão. É importante que, no contexto escolar, o aluno assuma um papel participativo e, para tal, se privilegiem as atividades práticas, sendo consideradas como um recurso didático pelos professores no processo de ensino e aprendizagem. Este estudo centra-se numa investigação desenvolvidas no âmbito do Relatório da Prática de Ensino Supervisionada do Mestrado em Ensino do 1.º Ciclo do Ensino Básico (CEB) e de Matemática e Ciências da Natureza no 2.º CEB, e pretende avaliar a potencialidade da participação dos alunos durante o ensino do estudo do meio, bem como, evidenciar a importância das atividades práticas no desenvolvimento de competências. O estudo insere-se numa metodologia de base qualitativa, tendo como objetivo descrever, interpretar e analisar o trabalho desenvolvido

em quatro turmas do 1.º CEB (duas do 1.º ano e duas do 2.º ano de escolaridade), discutindo-se as potencialidades da participação na aprendizagem cooperativa de conteúdos científicos, através de vários processos de recolha de dados. A análise dos resultados obtidos permite encarar com otimismo o reconhecimento das potencialidades da participação na utilização de atividades práticas de ciências. Os alunos apresentaram uma maior participação, interesse e motivação nestas atividades, o que parece facilitar aprendizagens mais significativas e científicas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Atividades práticas. Participação. Educação em ciências. Cultura científica. 1.º Ciclo do Ensino Básico.

#### POTENTIALITY FOR PARTICIPATION IN PRACTICAL SCIENCE ACTIVITIES: STUDENTS OF PRIMARY SCHOOL

**ABSTRACT:** Scientific knowledge plays an essential role in the education of citizens. It is important that, in the school context, students take on a participatory role and, to this end, practical activities are prioritized, which are considered as a didactic resource by teachers in the teaching and learning process. This study focuses on research developed within the scope of the Supervised Teaching Practice Report of the Master's Degree in Teaching on Primary School (CEB), Mathematics and Natural Sciences in the 2nd Cycle of Basic Education, and aims to evaluate the potential

for student participation during the teaching of environmental studies, as well as highlight the importance of practical activities in the development of skills. The study is part of a qualitative methodology, aiming to describe, interpret and analyze the work developed in four classes of CEB (two in the 1st year and two in the 2nd year of schooling), discussing the potential of participation in cooperative learning of scientific content, through various data collection processes. The analysis of the results obtained allows us to view with optimism the recognition of the potential of participation in the use of practical science activities. The students showed greater participation, interest and motivation in these activities, which seems to facilitate more significant and scientific learning.

**KEYWORDS:** Practical activities. Participation. Science education. Scientific culture. 1st Cycle of Basic Education.

## 1 INTRODUÇÃO

A sociedade tem sofrido grandes desenvolvimentos científicos e tecnológicos, tornando-se, assim, imprescindível uma educação científica precoce, enquanto parte integrante da formação dos indivíduos (Sá & Carvalho, 1997).

Muitos estabelecimentos de ensino ainda se regem por uma cultura individualista que dá ênfase à aprendizagem individual e competitiva, sendo que o êxito de cada aluno é relativo ou depende, em parte, do fracasso dos outros (DíazAguado, 2000). De acordo com diversos autores (e.g. Díaz-Aguado, 2000, Sá, 1994), a aprendizagem inserida num ambiente cooperativo, fomentando o trabalho de grupo, a autonomia, a responsabilidade, a iniciativa e o espírito crítico, possui inúmeras vantagens comparativamente com outras metodologias centradas no professor e que valorizam, maioritariamente, os conteúdos.

As atuais Aprendizagens Essenciais do Estudo do Meio (2018), em articulação com o Perfil do Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória (Despacho n.º 6478/2017), apelam a uma cultura científica desde cedo, preconizada pela utilização de atividades práticas. Estas atividades assumem, um papel fundamental no ensino das ciências (e noutras disciplinas), sendo que, atualmente, há uma preocupação crescente com a forma como estas atividades são traduzidas em aprendizagens significativas.

## 2 OPÇÕES METODOLÓGICAS

Por se considerar relevante a participação e a aprendizagem dos alunos através do ensino prático, considerou-se importante perceber em que medida potenciam a participação dos alunos levando, assim, a aprendizagens significativas.

De modo a atender a esta problemática foram formuladas duas questões de investigação:

- (i) Serão as atividades de cariz prático, na educação em ciências, indutoras de uma maior participação dos alunos do 1.º CEB?
- (ii) Serão este tipo de atividades potenciadoras de aprendizagens significativas, especialmente na área do estudo do meio?

No sentido de se obter respostas para estas questões, optou-se por uma metodologia qualitativa, de acordo com o defendido por Bogdan e Biklen (1999).

## 2.1 PARTICIPANTES

O estudo foi realizado em dois agrupamentos de escolas do Algarve, englobando quatro turmas, abrangendo 96 alunos. No 1.º ano foram realizadas atividades relacionadas com a fluabilidade dos materiais e no 2.º ano com a temática do ar.

## 2.2 INSTRUMENTOS DE RECOLHA DE DADOS

No estudo foram utilizados diversos instrumentos para recolher informação relativa à avaliação da participação dos alunos. Contudo, destacam-se, somente, os resultados inerentes à observação dos alunos e aos inquéritos por questionário efetuados aos mesmos.

Para o registo de observação, procedeu-se a anotações no caderno de campo e desenvolveram-se grelhas de observação com vários parâmetros, com quatro menções de avaliação (*Insuficiente, Melhorável, Bom e Desejável*), sendo que no parâmetro da participação as menções foram diferentes: *Não revela, Revela pouco, Revela e Revela completamente*. O questionário aplicado aos alunos, possuía nove questões e com quatro menções de avaliação: *Nada, Pouco, Muito ou MUITÍSSIMO*.

## 3 RESULTADOS

### 3.1 OBSERVAÇÃO DIRETA

De acordo com Adler e Adler (1994), a técnica de observação é usada há largos anos, como técnica de recolha de dados. Esta técnica é bastante utilizada, pois ela é efetuada no contexto natural a investigar e onde existe interação com os participantes. Alguns autores, como Serrano (1994), referem que a observação pode ser classificada tendo por base a de um observador. Desta forma, existe a observação externa ou não participante e em observação interna ou participante. No presente estudo, o investigador, realizou as suas observações utilizando a técnica de observação participante.

Relativamente ao 1.º ano de escolaridade, podem-se tirar as seguintes ilações da observação direta em sala de aula:

Quanto às aprendizagens dos alunos após as atividades, dez dos doze parâmetros em análise (tabela 1), foram muito bem classificados pelos alunos (menção *Bom* ou *Desejável*).

Tabela 1 – Parâmetros usados na grelha de registo da participação referente às atividades de fluuabilidade dos materiais em líquidos.

<b>Parâmetros relativos à participação dos alunos nas atividades referentes à temática fluuabilidade dos materiais e objetos em líquidos</b>
Número de participantes
Participou com intervenção relativas à atividade
Questionou mais do que noutras aulas
Questionou antes da atividade
Questionou durante a atividade
Questionou após a atividade
Comentou com pertinência os conteúdos abordados
Relaciona a atividade prática com os conteúdos científicos
Intervém apenas quando é questionado
Manipula corretamente os materiais e questiona a sua utilidade
Faz questões de ligação entre a atividade e o quotidiano
Utiliza vocabulário científico adequado ao tema e à situação

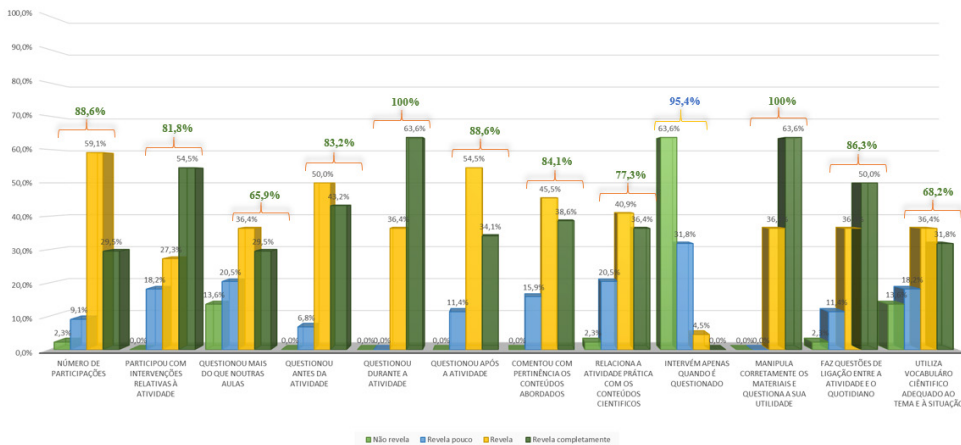
Quanto ao trabalho cooperativo (tabela 2), somente dois indicadores apresentaram percentagens inferiores a 80%, na soma das menções *Bom* e *Desejável*.

Tabela 2 – Indicadores relativos ao trabalho cooperativo.

<b>Indicadores relativos ao trabalho cooperativo</b>
Participou nas atividades solicitadas
Pediu ajuda aos colegas quando precisou
Aceitou ajuda
Pediu ajuda
Aceitou a ajuda do/a professor/a
Foi autónomo na realização das atividades
Empenhou-se nas atividades propostas

No que concerne à participação observada, a maioria dos alunos participou quando lhe foi solicitado, por iniciativa própria e intervindo com questões pertinentes. O único indicador que se considera menos desejado corresponde à forma como os alunos se expressaram. Quanto à participação, foram avaliados mais indicadores, e a maioria encontra-se entre a menção *Revela* e *Revela completamente*, existindo somente dois dos doze indicadores que apresentam valores inferiores a 80% na soma das duas menções supramencionadas (figura 1).

Figura 1- Gráfico da grelha de registo quanto à participação dos alunos de 1.º ano.



No que respeita ao 2.º ano de escolaridade, podem-se retirar as seguintes ilações:

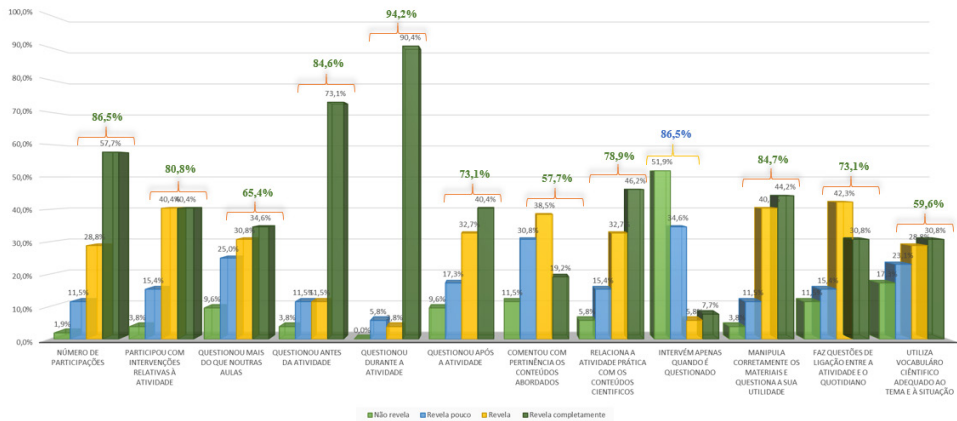
Todas as questões propostas, relativamente às aprendizagens dos alunos, foram consideradas com a menção *Desejável*. O que apresenta um ótimo indicador, proveniente do público-alvo, quanto às atividades propostas e quando ao seu objetivo.

Tabela 3 – Indicadores relativos às atividades relacionadas com as características do ar, após a intervenção.

Indicadores relativos às atividades relacionadas com as características do ar, após a intervenção
Compreende as regras de segurança
Aplica as regras de segurança na atividade
Sabe que o ar existe
Sabe que o ar tem massa
Enumera situações sobre a existência do ar
Enumera situações que provam a existência da massa do ar
Faz analogias com situações do dia-a-dia
Compreende a importância da qualidade do ar
Compreende o que se deve fazer para preservar a qualidade do ar

Quanto ao trabalho cooperativo (tabela 2), os resultados são motivadores face à metodologia utilizada, dado que é na menção *Desejável* que se encontrou a maior percentagem de indicadores. Relativamente à participação (tabela 1), constatou-se que a maioria dos alunos participou quando solicitado e por iniciativa própria (figura 2).

Figura 2 - Gráfico da grelha de registo quanto à participação dos alunos de 2.º ano.



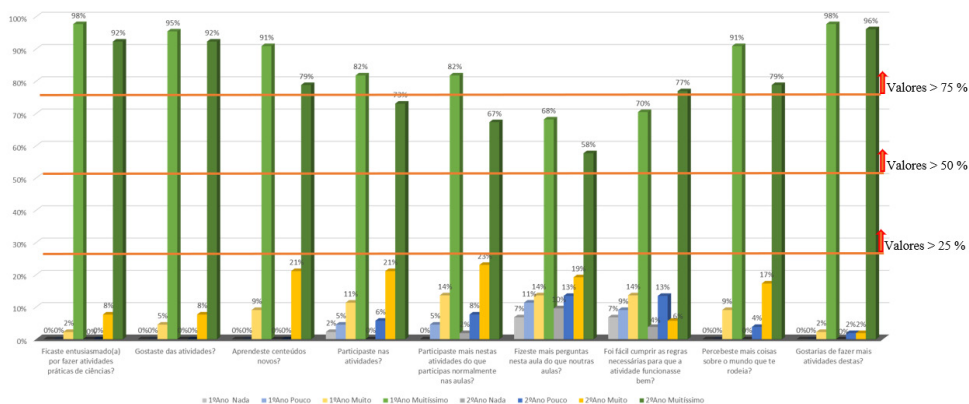
Considera-se que, os alunos são muito mais participativos quando realizam atividades práticas, pois os resultados mostraram-se reveladores ao nível do questionamento o que se parece coadunar com os resultados obtidos quando se aferiu a comparação da atividade com o mundo que os rodeia, as questões que colocaram e quanto à utilização do vocabulário científico.

### 3.2 INQUÉRITO AOS ALUNOS

Uma das metodologias utilizadas no presente estudo foi o inquérito por questionário. Em consonância com Quivy e Van Campenhoudt (1998), este permite conhecer de uma forma quantitativa um determinado público-alvo e obter uma melhor informação sobre um determinado facto, recorrendo às opiniões dos indivíduos que nele intervêm. Estes autores mencionam, ainda, que o inquérito por questionário consiste em colocar a um conjunto de inquiridos uma série de questões relativas às suas opiniões, relativas à sua atitude em relação a opções ou a questões humanas e sociais, às suas expectativas, ao seu nível de conhecimento ou de consciência de um acontecimento ou de um problema, ou ainda sobre qualquer outro ponto que interessa aos inquiridores.

Para que fosse mais fácil a análise comparativa entre os dois anos de escolaridade, compararam-se os resultados médios de cada ano (figura 3). Estes dados são indicativos das potencialidades destas atividades, segundo a opinião dos alunos.

Figura 3 – Relação entre as respostas do 1.º e 2.º ano aos inquéritos por questionário.



Os resultados expressam bem como este tipo de atividades pode ser potenciadora de aprendizagens (elevada percentagem em todas as respostas) e parecem corroborar o que alguns autores defendem (e.g. Millar & Abrahams, 2009) quando referem as potencialidades das atividades deste cariz.

Estas atividades, aumentam a motivação e interesse pelos conteúdos a abordar, pois as respostas referentes ao indicador “ficaste entusiasmado(a) por fazer atividades práticas de ciências?” foram superiores a 90% na menção *Muitíssimo*. Estes resultados, vão ao encontro do que refere Sá (1994), quando expressa que as atividades práticas podem ser um grande contributo para tornar a escola um espaço mais prazeroso e motivador.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta investigação permitiu desenvolver aprendizagens significativas nos alunos, possibilitando aprofundar e adquirir noções, através do experienciado nas atividades práticas acerca da flutuação de materiais (1.º ano) ou sobre as características do ar (2.º ano), propiciando aos alunos o questionamento e o conseguirem chegar às respostas por si (em grupo) de forma colaborativa.

Conclui-se que as atividades práticas, no 1.º CEB, incentivam à participação. Quanto ao potencial da participação no aumento de conhecimentos e de aprendizagens significativas e de entendimento do mundo, pode concluir-se, que desempenha um elevado potencial, positivo, no aumento das aprendizagens dos alunos.

Estas atividades são, na realidade, indutoras de uma maior participação dos alunos, potenciando aprendizagens significativas, especialmente no que concerne à área do estudo do meio. Seria importante alargar este estudo no tempo, utilizando-se mais turmas e incluindo os quatro anos de escolaridade do 1.º Ciclo do Ensino Básico.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adler, P. A., & Adler, P. (1994). **Observational techniques**. In N. Denzin & Lincoln, Y. (Eds.), *Handbook of Qualitative Research* (pp. 377-392). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

**Aprendizagens Essenciais do Estudo do Meio** (2018). Acedido através de [http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens\\_Essenciais/1\\_ciclo/1\\_estudo\\_do\\_meio.pdf](http://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/1_ciclo/1_estudo_do_meio.pdf)

Bogdan, R., & Biklen, S. (1999). **Investigação qualitativa em educação: Uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto, Portugal: Porto Editora.

Despacho n.º 6478/2017, 26 de julho – homologa a **O Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória**. Acedido através de <https://dre.pt/application/conteudo/107752620>

Díaz-Aguado, M. (2000). **Educação Intercultural e Aprendizagem Cooperativa**. Porto, Portugal: Porto Editora.

Millar, R., & Abrahams, I. (2009). **Practical work: Making it more effective**. *School Science Review*, 91(334), 59-64.

Quivy, R., & Van Campenhoudt, L. (1998). **Manual de investigação em Ciências Sociais** (2ª ed.). Lisboa: Gradiva

Sá, J. (1994). **Renovar as Práticas no 1º Ciclo pela via das Ciências da Natureza**. Porto, Portugal: Porto Editora.

Sá, J., & Carvalho, G. S. (1997). **Ensino experimental das ciências: Definir uma estratégia para o 1.º ciclo**. Braga, Portugal: Bezerra Editora.

# CAPÍTULO 9

## DEVELOPING LEARNERS' ALGEBRAIC MANIPULATION ABILITY: A MATHEMATICS TEACHER EDUCATOR REFLECTS ON PRE-SERVICE TEACHERS' INITIAL THOUGHTS

Data de submissão: 15/09/2024

Data de aceite: 02/10/2024

**Barbara Kinach, Ed.D.**

Arizona State University

Tempe, Arizona, USA

<https://orcid.org/0000-0003-0253-9213>

**ABSTRACT:** This design research study applies the cognitive strategy IACTS (Identify Assess Challenge Transform Sustain) previously developed for integer subtraction and multiple meanings of the “-” symbol to the context of symbolic transformation of algebraic expressions involving the “-” symbol. Qualitative data for this exploratory study conducted during Fall 2022 in the author’s secondary mathematics methods course include preservice teachers’ written explanations for how to teach  $-(x+y)$ ,  $2 - (x + 3)$ , and  $2 - (x - 5)$  “from scratch” and their post-course reflections on this experience. Preliminary results reported by the mathematics teacher educator indicate PSTs’ understanding of subtraction as adding the opposite did not fully transfer initially from the integer arithmetic to the algebraic context thus creating a need for PCK-development related to methods of teaching simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol.

**KEYWORDS:** PCK for Simplifying Algebraic Expressions.

### 1 INTRODUCTION

Passion by one definition is a strong enthusiasm or desire for anything (as in a passion for music). It has been my passion as a mathematics teacher educator for the past three decades to develop preservice teachers’ passion and motivation to teach mathematics conceptually for all learners. Accomplishing this goal in the secondary mathematics methods courses that I teach can be challenging as often my secondary mathematics preservice teachers (PSTs) are very confident in their current understanding of mathematics and may not appreciate the conceptual hurdles novice learners confront in learning complex mathematics topics such as algebraic manipulation. Thus, as their mathematics methods-course instructor, I cannot launch our study of mathematics learning and teaching by simply saying, “In this course, I will be asking you to teach algebra in reasoned ways that are perhaps different from the ones you’ve likely experienced and learned in your own education.” A bit more nuanced of an approach is required to first spark pre-service teachers’ perception of the

need for conceptual understanding in algebra, and subsequently build both their inner motivation to teach algebra conceptually and their belief in the ability to teach algebra meaningfully in schools where students and teachers immersed in the direct instruction approach foster the learning and teaching of algebra through memorized tricks and rules without reasoned mathematical support. This study shares one exemplar of mathematics teacher educator practice in the secondary mathematics methods course that I teach (hereafter called “methods”) that aims to stimulate and develop novice teachers’ passion for, understanding of the need for, skill, and belief in their ability to teach mathematics, and specifically algebraic manipulation when simplifying algebraic expressions, in a reasoned way that promotes conceptual (instead of mindless procedural) understanding of algebraic expressions.

## 2. PURPOSE OF THE STUDY

The purpose of the study was to investigate the effectiveness of a hypothesized learning trajectory (LT) (Simon, 1993) for the development of prospective teachers’ PCK related to simplifying algebraic expressions through algebraic manipulation. The proposed LT began with a unit on integer subtraction and interpreting the meaning of the “-” symbol according to the syntax of numerical expressions involving integers and integer operations. Re-contextualizing concepts learned within the integer unit for the algebraic context, the mathematics teacher educator (MTE) hypothesized a learning sequence designed for use in the methods course to guide pre-service teachers in learning-to-teach simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol. To launch prospective teachers’ thinking about how they would teach middle grades 6 through 9 algebra students to simplify expressions involving the “-” symbol, the MTE posed a prompt containing three algebraic expressions drawn from the literature on the PCK of expressions and equations (DE ARAUJO, DOUGHERTY & ZENIGAMI, 2018). Specifically, the prompt asked prospective middle and early secondary mathematics teachers to reflect on the question: *How would you teach students to simplify these expressions:  $-(x-y)$ ,  $2-(x+3)$ ,  $2-(x-3)$ ? Write a detailed step-by-step explanation of what you would say and write symbolically* (Figure 1).

Figure 1. Study Prompt.

**Preservice teacher's** *teaching challenge*

With this assignment, we are exploring ...  
our first thoughts on how to explain  
**simplifying algebraic expressions "from scratch"**  
**to novice algebra learners in & 7<sup>th</sup> & 8<sup>th</sup> grade.**

**How would you teach students to simplify these expressions?**  
Write a detailed step-by-step explanation of what you would  
say and write symbolically.

**$-(x-y)$                        $2-(x+3)$                        $2-(x-3)$**

The MTE hypothesized that prospective teachers' prior reasoning about syntax and the multiple meanings of the “-” symbol (i. e., subtract, negative or opposite) within the integer subtraction unit previously completed within the methods course would transfer to reasoning syntactically about the multiple meanings of the “-” symbol when learning-to-teach algebraic manipulation when simplifying algebraic expressions. Specifically, for the three algebraic expressions examined in this study, the MTE anticipated that in thinking about how to teach simplifying algebraic expressions from scratch, PSTs would envision teaching their novice algebra learners to apply the definition of integer subtraction previously learned from the (National Governors Council, 2010) State Standards for Mathematics during a unit on integer operations to each subtraction symbol in the study's three algebraic expressions. To apply the definition of integer subtraction as adding the opposite (e.g.,  $p - q = p + -q$ ), the MTE anticipated PSTs would encourage their students to change each of the subtraction symbols in an algebraic expression to “adding the opposite” and subsequently lead a whole class discussion to help their students syntactically determine the meaning of the remaining “-” symbols in the expressions as either negative or opposite (Figure 2). The overall aim was to 1) determine whether transfer of the multiple meanings of the “-” symbol occur naturally when moving from learning to teach the “-” concept within the integer-arithmetic context to learning to teach the “-” concept within the algebraic context and 2) perfect the design of an effective LT for the methods course for developing PSTs' mathematics content and pedagogical content knowledge related to symbolic transformation of algebraic expressions involving the “-” symbol prior to learning to teach the equation concept.

Figure 2. MTE Expects PSTs to Teach Simplifying Algebraic Expressions by Applying the Definition of Subtraction as “Adding the Opposite” to all Subtraction Symbols in Algebraic Expressions.

*MTE's expectation for learning transfer*

How would you teach students to simplify these expressions?  
Write a detailed step-by-step explanation of what you would say and write symbolically.

$-(x - y)$	$2 - (x + 3)$	$2 - (x - 3)$
$-(x + -y)$	$2 + -(x + 3)$	$2 + -(x + -3)$

$p - q = p + -q$   
*subtracting a number = adding the opposite of the number*

### 3. PERSPECTIVES AND THEORETICAL BACKGROUND

As the study focuses on the development of pedagogical content knowledge for pre-service teachers, a review of the relevant PCK literature related to simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol is warranted.

Pedagogical content knowledge (PCK) is the understanding of content, learners, pedagogy, and curriculum that mathematics teacher educators foster in teacher preparation programs to encourage pre-service teachers to teach mathematics conceptually instead of by memorizing (Shulman, 1986). In teacher preparation programs, the methods course is the primary site for development of prospective mathematics teachers’ PCK. Kinach (2002) proposed a cognitive strategy for developing prospective teachers’ PCK in the methods course. The five-part cognitive strategy, called IACTS, aims to Identify, Assess, Challenge, Transform, and Sustain conceptual changes in the procedural understanding preservice teachers’ often hold about the mathematics they are preparing to teach by focusing on prospective teachers’ notions of a “good” instructional explanation. For example, by applying the IACTS cognitive strategy to investigate PSTs’ understanding of integer subtraction, the prior study by Kinach (2002) identified common misconceptions and lack of awareness among pre-service secondary mathematics teachers about the multiple meanings of the “-” symbol. Results demonstrated pre-service teachers’ computation practices for integer addition and subtraction to be largely procedural based on tricks such as “minus a minus is a plus.” The current study builds on these prior findings.

The cognitive strategy Kinach (2002) proposed for unearthing prospective secondary teachers' procedural understanding of the mathematics content they are preparing to teach begins by investigating prospective teachers' untutored ideas about "good" instructional explanations for a given topic. The approach involves 5 phases: I:Identify, A:Assess, C:Challenge, T:Transform, S:Sustain. For example, the first step in applying IACTS to build strong mathematics content and pedagogical content knowledge for prospective teachers for a specific concept (e.g., integer subtraction) involves asking pre-service teachers to explain the targeted concept or procedure (e.g., integer subtraction  $5 - -3$ ) in whatever way comes naturally. This is the I:Identify phase.

During the next A:Assess phase, the adequacy of the instructional explanations is determined in light of current depth-of-knowledge frameworks (e.g., Perkins & Simmons, 1988) and standards directives (NGA & CCSO, 2010). Do, for example, the proposed instructional explanations foster thinking at the concept, problem-solving, and justification levels of understanding? Do the instructional explanations foster analysis, contextualization, production of examples and patterns for generalization? The answers to questions such as these reveal the need for revision (or not).

During the next C:Challenge phase Socratic questioning by the methods instructor may challenge prospective teachers' notions of a "good" instructional explanation. Are the proposed instructional explanations likely to lead to meaningful understanding of the concept? Do they promote depth of knowledge or only superficial understanding of information and skills?

During the T:Transform phase, prospective teachers begin to transform their instructional explanations into forms more likely to lead to conceptual understanding. To do this, the methods instructor quietly orchestrates a step backwards. To create a bit of cognitive conflict, the methods instructor asks PSTs to explain X again but this time in a context A less likely to lead to easy representation of the mathematical concept or process. By holding any logical tension that develops through Socratic questioning, the methods instructor sows doubt about the adequacy of the instructional explanations until prospective teachers are convinced the cognitive conflict must be resolved and changes made to the instructional explanations to make the concept more accessible for their future student.

During the S:Sustain phase the methods instructor asks prospective teachers to explain the concept again but this time in a new context B that lends itself to clear and precise representation of the targeted concept. Using Socratic questioning again, the methods instructor encourages PSTs to use the Depth of Knowledge frameworks explored

during the A:Assess phase to determine the adequacy of their initial explanation along with the explanations produced in contexts A and B. Inevitably, the three explanations are fuel for debate over the meaning and the most effective way to represent and explain the concept to novice learners.

Documenting the mathematics content knowledge for expressions and equations that teachers require, Lloyd, Eisenmann, and Star (2011) detail the essential understanding of symbolic transformations teachers need to know to teach students how to generate equivalent expressions algebraically through symbolic transformations. Among the transformations cited by Lloyd et al. applicable to this study are the distributive property of multiplication over addition, expressed for all Real numbers as  $a(b + c) = ab + ac$ , and the opposite of a sum property, which asserts that *the opposite of a sum equals the sum of the opposites* which is represented symbolically as  $-(a + b) = -a + -b$ .

De Araujo, Dougherty, and Zenigami (2018) put the essential ideas laid out by Lloyd et al. into practice for teachers of grades 6-8. These researchers aim to articulate the PCK that prospective and all teachers require to represent and explain expressions and equations in meaningful ways for the population of students in grades 6 through 8. De Araujo et al. elaborate the typical misconceptions and error patterns that middle grades 6-8 students often display while learning to simplify algebraic expressions when reasoning with mathematical definitions and symbolic transformations to generate equivalent algebraic expressions. As will be detailed later in this study, several of the misconceptions involving the “-” symbol that middle grades and early secondary students display are identical to the ones my pre-service teachers displayed as we worked on developing PCK for teaching simplifying algebraic expressions through algebraic manipulation.

The De Araujo et al. research inspired the current study. The algebraic expressions  $-(x-y)$ ,  $2-(x+3)$ , and  $2-(x-3)$  reported by De Araujo, Dougherty, and Zenigami in their study of the misconceptions and error patterns of early algebra learners are the focus of this study. The examples of learner misconceptions reported by De Araujo et al. include consistent misinterpretation of the “-” symbol as negative regardless of syntax. Specifically, for example, for the expression  $-(x-y)$ , students in grades 6-8 misinterpret the first “-” symbol as negative (instead of “opposite”) while for the expressions  $2-(x+3)$  and  $2-(x-3)$  middle grades students interpret all of the “-” symbols as negative (instead of “subtract”). These examples of misinterpretation of the “-” symbol extend the prior findings of Kinach (2002) regarding misinterpretation of the “-” symbol in the integer arithmetic context to the algebraic context for expressions involving the “-” symbol (Figure 3).

Figure 3. Research on Algebra Learner Misconceptions about the “-” Symbol.

**Grounding *literature* inspiring prompt**

**Putting essential understanding of expressions & equations into practice in grades 6 – 8.**  
(De Araujo, Dougherty & Zenigami, 2018).

**Common Misconceptions of Novice Algebra Learners**

- $-(x-y)$**  First “-” symbol means negative
- $2-(x+3)$**  “-” means negative (instead of subtract)
- $2-(x-3)$** . “-3” means negative 3 (instead of the difference of two terms,  $x$  & 3)

## 4. PARTICIPANTS, CONTEXT, DATA COLLECTION, ANALYSIS, METHODS

### 4.1 PARTICIPANTS & CONTEXT

Participants are a convenience sample of the 17 undergraduate pre-service teachers (13 females and 5 males) enrolled in the author’s Fall 2022 methods course, *Methods of Teaching Standards-Based Middle Grades and Early Secondary Mathematics*. Qualitative data for this exploratory design study include pre-service teachers’ written explanations for how to teach novice algebra learners to simplify the algebraic expressions  $-(x + y)$ ,  $2 - (x + 3)$ , and  $2 - (x - 5)$  “from scratch” along with their post-course reflections on this experience.

### 4.2 DATA COLLECTION & ANALYSIS

Data was collected in class. PSTs each completed three google slides, one for each of the three algebraic expressions, by responding to the previously cited prompt (Figure 1) inviting them to explore first thoughts on how they would teach students to simplify each of the three expressions:  $-(x + y)$ ,  $2 - (x + 3)$ , and  $2 - (x - 5)$ . The prompt, which was given with the expectation that PSTs would teach their students to simplify the algebraic expressions by applying the previously learned definition of subtraction by changing each subtraction symbol in the algebraic expressions to “adding the opposite” and then reasoning syntactically to determine the meaning of the remaining “-” symbols as negative or opposite, yielded unexpected results.

Data analysis consisted of a review of the 51 google slides and enumeration of PSTs’ approaches to simplifying and interpreting the “-” symbol within each of the three



algebraic expressions. PST approaches are reported later in the study along with the mathematics teacher educators' reflection on PSTs' approaches to simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol. The MTE's notes on a hypothetical learning trajectory for developing pre-service teachers' PCK on simplifying algebraic expressions completes data collection for the study.

#### 4.3 PCK DEVELOPMENT TEACHING METHOD

As previously described, the PCK development teaching method called IACTS (Identify Assess Challenge Transform Sustain) is a cognitive strategy Kinach (2002) proposed for probing, assessing, and if necessary, transforming prospective teachers' instructional explanations from a procedural to a more meaningful conceptual understanding.

In this design research study, the MTE applied two cycles of the IACTS cognitive strategy to develop PSTs' PCK for simplifying algebraic expressions. During the first cycle, the MTE applied IACTS to develop PCK for integer subtraction and the multiple meanings of the “-” symbol within the integer subtraction context. During the second cycle, the MTE applied IACTS to develop PCK for simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol based on the multiple meanings of the “-” symbol learned during the first IACTS cycle for integers.

Additionally, for this study, there was a unique overlap of the two cycles in that the end of the first IACTS (integer subtraction) cycle served as the beginning of the second IACTS (simplifying algebraic expressions) cycle. Specifically, after guiding PSTs through the first four phases of the (integer subtraction) IACTS cycle (I:Identify, A:Assess, C:Challenge, and T:Transform) to establish PST ability to determine the meaning of the “-” symbol syntactically for numerical integer expressions, the MTE simultaneously launched the S:Sustain cycle for integer subtraction and the I:Identify cycle for simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol. One activity served both purposes. By asking pre-service teachers to do what comes naturally to simplify the three algebraic expressions:  $-(x+y)$ ,  $2 - (x + 3)$ , and  $2 - (x - 5)$ , the MTE determined whether PSTs could S:Sustain their understanding of the syntax of the “-” symbol for integers in the new algebraic context while also I:Identifying PSTs' starting point for reasoning about how to teach simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol to novice algebra learners.

Continuing the second IACTS cycle of PCK development for the algebraic context, the MTE then chose to A:Assess the adequacy of PSTs' instructional explanations for simplifying each of the three algebraic expressions against the criterion of syntactic

knowledge about the multiple meanings of the “-” symbol learned during the integer IACTS cycle and context.

As it was necessary, the MTE then chose to C:Challenge prospective teachers’ notion of “good” ways to explain and teach simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol by asking PSTs whether their method was likely to lead to meaningful understanding of how to reason with and apply mathematical definitions and principles in order to manipulate algebraic symbols when simplifying algebraic expressions or whether their method was likely to yield mathematically unsupported memorized rules and tricks for simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol. The C:Challenge discussion is an opportunity for PSTs to create a carefully sequenced accessible learning path for novice algebra students who are learning to simplify algebraic expressions involving the “-” symbol for the first time.

During the T: Transform phase of the (simplifying algebraic expressions) IACTS cycle, PSTs create ways for middle schoolers to identify the syntax of the “-” symbol. When does the “-” symbol mean subtract? When does the “-” symbol mean negative? When does the “-” symbol mean opposite? Preservice teachers will need to solidify their ideas on this point before finalizing their views on “good” instructional explanations for teaching “simplifying algebraic expressions involving the “-” symbol.”

To close the IACTS cycle of PCK development for simplifying algebraic expressions, the S:Sustain cycle asks PSTs to re-consider their initial approach by converting all subtraction symbols for the study’s three algebraic expressions to “adding-the-opposite” and then reason syntactically to determine the meaning of the remaining “-” symbols as either negative or opposite. Once accomplished, a final “clinching” algebraic expression is posed for prospective teachers to try out their simplified pedagogy for teaching students in grades 6-9 to simplify algebraic expression involving multiple meanings of the “-” symbol.

## 5 RESULTS/FINDINGS

How would you teach students to simplify these expressions? Write a detailed step-by-step explanation of what you would say and write symbolically

1.  $-(x - y)$
2.  $2 - (x + 3)$
3.  $2 - (x - 3)$

Interpretation of the “-” symbol in PSTs’ responses to the above prompt varied widely both within and across the three expressions. PSTs’ responses differed from the

mathematics teacher educator’s expectation that they would apply the multiple meanings of the “-” symbol learned in the integer context to the algebraic setting. Specifically, the mathematics teacher educator (MTE) expected PSTs to change every subtraction symbol in the three prompt expressions to adding the opposite following the definition of rational number subtraction in the Common Core State Standards for Mathematics (NGA & CCSO, 2010), specifically,  $p - q = p + -q$  (Figure 2). Brief analyses of PSTs’ approaches to simplifying the three expressions listed above follows.

### 5.1 INTERPRETATION OF THE “-” SYMBOL FOR THE EXPRESSION $-(x - y)$

The MTE anticipated PSTs would apply the “opposite of a sum” transformation property that states: *The opposite of a sum equals the sum of the opposites, or  $-(a + b) = -a + -b$ .* (Figure 4).

Figure 4. MTE Expects PSTs to Apply “Opposite of a Sum” Transformation Property to  $-(a + b)$ .

## Anticipated Results

### $-(x - y)$

1. Distinguish meanings of “-” symbol (opposite, negative, subtract)
2. Apply opposite of sum/difference property
3. Apply Field Axioms (distributive, commutative, etc)

**Opposite of a sum equals the sum of the opposites.**

**Opposite of a difference equals the difference of the opposites.**

$$-(x - y) = -x - (-y)$$

For the expression  $-(x - y)$ , PSTs misinterpreted the “-” symbol outside the parentheses as either negative or subtract, but not opposite (Figure 5).

Figure 5. PST Misinterpret the “Opposite” Symbol as “Negative” or “Subtract”.

## Preservice Teacher Results

### $\text{—} (x - y)$

Interpret opposite as

**Negative**

$\text{—} (x - y)$

**Distribute negative**

$\text{—} (x - y) = -x - (-y)$

**Apply definition of subtraction**

$\text{—} (x - y) = -x - (-y) = -x + y$

When misinterpreted as a negative sign, PSTs incorrectly talked about “distributing the negative” to the parentheses. This was done in two ways. Either the “negative sign” was distributed to the  $x$  and the misinterpreted “negative  $y$ ” in the parentheses, or the “negative sign” was distributed to the minuend and subtrahend, yielding  $-x - -y$  or  $-x + y$  (Figure 5).

When misinterpreted as a subtraction symbol, PSTs reasoned about subtracting the  $x$  and  $(-y)$  to yield  $-x - (-y)$ . While not incorrect mathematically, the symbol outside the parentheses does not indicate subtraction as the binary operation of subtraction requires two elements (minuend and subtrahend) to execute the operation.

Another approach to simplifying  $-(x - y)$ , inserts a zero before the expression  $-(x - y)$  to create  $0 - (x - y)$ . This approach inadvertently changes the opposite symbol to subtraction without mathematical reason (Figure 6).

Figure 6. Inserting Zero Before Opposite Symbol Changes Symbol Meaning to “Subtract”.

## Preservice Teacher Results

- (x - y)

Interpret opposite as

Insert zero thereby changing meaning of “-”  
from opposite to **subtract**

-(x - y) => 0 - (x - y)  
Now subtract each term in ( )

-(x - y) => 0 - x - - y => 0 - x + y = -x + y

Yet another approach PSTs proposed to simplify the expression  $-(x - y)$  involves inserting “negative one” just outside the parentheses which inadvertently changes the meaning of the “-” symbol from “opposite” to “negative.” PSTs proceed by multiplying the terms inside the parentheses by negative one (-1). Difficulties of interpretation additionally arise inside the parentheses when the subtrahend is interpreted correctly as  $y$  or incorrectly as  $(-y)$  (Figure 7).

Figure 7. PSTs Change Meaning of “Opposite” Sign to “Negative” by Inserting “1” before the Parentheses.

## Preservice Teacher Results

- (x - y)

**Interpret opposite as**

**Negative 1**

- (x - y) = -1(x - y)

Distribute negative 1

-1(x - y) = -1x - (-1y)

OR

Distribute negative 1, but misinterpret difference (x-y) as two terms x and -y / lose operation

-1(x - y) = -1x (-1)(-y)

## 5.2 INTERPRETATION OF THE “-” SYMBOL FOR THE EXPRESSION 2 - (X + 3)

For the second expression  $2 - (x + 3)$  and its counterpart,  $2 - (x - 3)$ , similar issues arise concerning interpretation of the first “-” symbol as negative. But when correctly interpreted as “subtract” PSTs wither subtract both minuend and subtrahend separately ( $2 - x - 3$ ) or apply the definition of subtraction as adding the opposite:  $2 + -(x + 3) = 2 + -x + -3$ . The latter interpretation is the one expected by the MTE based on prior methods course discussions.

Another approach to simplifying  $2 - (x + 3)$  involved inserting a “1” before the parentheses. Inserting the “1” does not change the meaning of the “-” symbol as there is a term before and after the “-” symbol indicating “-” to be a binary operation. As soon as PSTs insert the 1, however, they interpret the “-” symbol as “negative” and distribute the “negative one” to the parentheses. In so doing, PSTs “lose” the operation between the terms “2” and  $(x+3)$ , making it unclear how the two terms are to be related operationally (Figure 8).

Figure 8. PSTs “Lose” Operation by Interpreting the 1 as “Negative One”.

### Losing the Operation

BUT PSTs lose operation when insert -1 into

$$2 - (x + 3) =>$$

$$2 - 1(x + 3) => 2 \text{ } \text{ } -1(x + 3)$$

### 5.3 INTERPRETATION OF THE “-” SYMBOL FOR THE EXPRESSION $2 - (x - 3)$

For the expression  $2 - (x - 3)$ , PSTs interpreted the first “-” symbol in three ways: negative, negative one, and remove-the-bracket rule. At no time did PSTs interpret the first “-” symbol as the operation of subtraction.

Figure 9 displays the algebraic manipulation linked to interpretation of the first “-” symbol as negative. PSTs display a misunderstanding of the transformation property “distributive property of multiplication over addition/subtraction” by distributing the “negative” to each term in the parentheses. Notice how the operation between the two terms “2” and  $(x-3)$  is lost (Figure 9) when the subtraction symbol is misinterpreted as negative.

Figure 9. PST “Distribute” the “Negative” thereby Misapplying the Distributive Property.

**Preservice Teacher Results**

$$2 - (x - 3)$$

Interpret Subtraction symbol as...

negative

$$2 - (x - 3) =$$

distribute the negative/lose operation

$$2 - x - (-3)$$

In Figure 9, misunderstanding of the distributive property of multiplication over subtraction,  $a \times (b + c) = a \times b + a \times c$ , for all real numbers is evident. PSTs need to recognize that the element being distributed when using the distributive property to transform an expression into an equivalent one, must be a *Real* number (and not a negative symbol). Although the procedure used by PSTs results in an accurate mathematical expression this approach is not one recommended to teach to novice algebra learners tackling algebraic manipulation for the first time. Note the reason the procedure works is because it essentially converts subtracting “2” and  $(x-3)$  into adding the opposite of  $(x-3)$  to 2, which is the formal definition of rational number subtraction.

Another approach to simplifying  $2 - (x-3)$  was the “remove the bracket” rule (Figure 10). This is not a recognized transformation property according to Lloyd, Eisenmann, and Star (2011). The rule proposed by the pre-service teacher was “to remove the bracket, and then change the signs in the parentheses;” for example  $2 - (x - 3)$  becomes  $2 - x + 3$ .

Figure 10. MTE Expectation PSTs Would Apply Integer.

**Preservice Teacher Results**

$2 - (x - 3)$

Apply RULE without interpreting “-” symbol conceptually...

**Remove-the-Bracket Rule:**  
**To remove bracket, change signs inside bracket when sign outside bracket is “-”**

$2 - (x - 3) = 2 - x + 3$

PSTs interpreted the second “-” symbol in the parentheses for  $2 - (x - 3)$  in two ways. On the one hand, they interpreted the second “-” symbol correctly as subtraction, but on the other hand they misinterpret the second “-” symbol as negative when they attach the “-” symbol to the subtrahend thereby changing “x minus positive three” into “x” and “negative three” without an operation between them (Figure 11).

Figure 11. PSTs Attach Subtraction Symbol to Subtrahend and “Lose” the Operation.

**Preservice Teacher Results**

$2 - (x - 3)$

Interpret subtraction symbol as ...

**negative & attach to constant/  
lose operation:**

$2 - (x - 3) = 2 - (x - 3)$

## 6 QUANTITATIVE RESULTS & DISCUSSION

As the table in Figure 12 shows, PSTs interpreted the “-” symbol correctly as subtraction in only 26 of 68 cases, or about thirty-eight percent ( $26/68 = .382$ ) of the time. By contrast, PSTs misinterpreted the subtraction symbol as negative 54% ( $37/68 = .544$ ) of the time. On two occasions (in about 3% of cases or  $2/68 = .029$ ) the subtraction symbol was interpreted as “opposite” while in 7 instances (about 10% of cases or  $7/68 = .102$ ) the subtraction symbol triggered a procedure that was not supported by any mathematical rationale or principle. Additionally, on two occasions two students interpreted a single “-” symbol in two ways (as both negative and subtract).

Figure 12. PST Accurate & Inaccurate Interpretation of the Subtraction Symbol.

**PSTs' Accurate Interpretation of "-" Symbol as Subtract: Results Overview**

	$-(x-y)$	$-(x-y)$	$2-(x+3)$	$2-(x-3)$	$2-(x-3)$
Subtract 26/68 = 38%		7	6	7	6
Negative 37/68 = 54%		8	11	9	9
Opposite 2/68 = 3%		0	1	1	0
Rule w/o Concept 7/68 = 10%		2	1	2	2
		17	19*	19*	17
* 2 students choose both negative & subtract					

The table in Figure 13 shows PST success with interpreting the meaning of the “-” symbol in situations where it means “opposite.” PST interpreted the “-” symbol accurately as “opposite” in only two of 17 total occasions. Thus, PSTs accurately interpreted the “opposite” symbol only 12% of the time. By contrast, PSTs mostly interpreted the “opposite” symbol to mean “negative.” This occurred in 12 of 17 instances, or approximately 71% (12/17 = .705) of the time. Additionally, on 3 occasions, PSTs inaccurately interpreted the “opposite” symbol to mean “subtract” which is about 18% (3/17 = .176) of the time.

Figure 13. PST Accurate & Inaccurate Interpretation of the Opposite Symbol.

**PSTs' Accurate Interpretation of "-" Symbol as Opposite: Results Overview**

	$-(x-y)$	$-(x-y)$	$2-(x+3)$	$2-(x-3)$	$2-(x-3)$
Subtract 3/17 = 18%	3				
Negative 12/17 = 70%	12				
Opposite 2/17 = 12%	2				
Rule w/o Concept 0/17 = 0%	0				
	17				



In this class of 17 pre-service mathematics teachers, what was most surprising to the MTE is that very few transferred prior understanding of the syntax of a subtraction symbol from the integer to algebraic context. If PSTs had recognized the syntax in the new algebraic setting, they would have applied the definition of subtraction learned for integers ( $p - q = p + \neg q$ ) to the expressions  $2 - (x + 3)$  and  $2 - (x - 3)$  (Figure 1). Mostly, PSTs did not interpret the “-” symbol as subtraction but as a negative sign or invisible “negative one.”

And while each PST approach interestingly yielded an accurate mathematical result, as we have seen in the prior section, not all approaches were motivated by a legitimate mathematical principle. “Distributing the negative,” for example, was a misconception that required clarification of the meaning of the distributive property of multiplication over addition for all *Real* numbers. Since the distributive property  $a(b + c) = ab + ac$  involves distributing the *Real* number ( $a$ ), it is technically incorrect to think of  $-(a + b)$  as an opportunity to “distribute” the symbol outside the parentheses as it is not a *Real* number. Most PSTs interpreted the “-” *symbol* outside the parentheses as meaning “negative” and then transformed  $-(a + b)$  to an equivalent expression by “distributing the negative” which technically is not a legitimate mathematical action/principle. Applying the transformation property called “opposite of a sum” is the more mathematically accurate way to reason about transforming  $-(a + b)$  to its equivalent expression,  $\neg a + \neg b$ . As a result of the ‘simplifying algebraic expressions’ activity, PSTs learned what (surprisingly) turned out to be for them a transformation property about which they were previously unaware, namely that: *the opposite of a sum equals the sum of the opposites*, or symbolically represented as  $-(a + b) = \neg a + \neg b$ .

## 7 CONCLUSION: MATHEMATICS TEACHER EDUCATOR REFLECTION

PSTs’ responses were surprising to the methods instructor, the mathematics teacher educator who is also the author of this paper. For the most part, extensive prior discussion of the multiple meanings of the “-” symbol in the integer subtraction context did not transfer to reasoning about the “-” symbol in the algebraic context. Why did this occur? What changes might prevent this from happening? Do we *want* to prevent this from happening? Or are the insights gained from the multiple approaches to simplifying the three algebraic expressions involving the “-” symbol more instructive for prospective algebra teachers and their mathematics methods instructor? Are the debates over method, over misinterpretations of the “-” symbol, and missing information about transformation

properties an integral part of the emerging PCK information library and learning process for “simplifying algebraic expressions involving the “–” symbol”?

The variety of meanings and approaches PSTs proffered for the “–” symbol is interesting to think about from the perspective of the task. The purpose of the task was to create a pedagogy suitable for teaching novice algebra learners to *simplify algebraic expressions involving the “–” symbol* for the very first time. When one thinks about the mission of algebra teachers whose charge it is to induct young algebraists into the syntax of algebraic manipulation through precise reasoning and skillful application of mathematical definitions, principles, and symbolic transformations, one is led to consider the advisability of teaching a range of approaches at the beginning of a unit on algebraic manipulation, equivalent expressions, and transformation properties. This is a conversation that the methods instructor had with her prospective algebra teachers. Without taking a formal count, the class generally agreed that early instruction related to simplifying algebraic expressions ought to be “reasoned” and governed by application of accessible mathematical definitions, principles, and transformation properties for the middle/early secondary grade population of students.

Imagining these pre-service teachers instructing their future students 17 different ways to solve each of the three expressions is a daunting vision, especially as the reasoning underlying the manipulation of the algebraic symbols was often mathematically inaccurate albeit computationally successful. The debates that the PSTs had with their MTE over the reasoning employed to simplify these expressions was rich, eye-opening motivation for everyone to be more conceptually precise. Next steps will involve duplicating the design experiment, expanding complexity of algebraic expressions involving the “–” symbol, and developing a methods-course tested learning trajectory and instructional sequence for teaching pre-service teachers to teach simplification of algebraic expressions “from scratch” through reasoned application of mathematical definitions, transformation properties, and mathematically accurate algebraic manipulation.

## REFERENCES

De Araujo, Z., Dougherty, B. J., & Zenigami, F. (2018). *Putting essential understanding of expressions and equations into practice in grades 6 – 8*. The National Council of Teachers of Mathematics, Inc.

Kinach, B. M. (2002). A cognitive strategy for developing prospective teachers' pedagogical content knowledge in the secondary mathematics methods course: Toward a model of effective practice. *Teaching and Teacher Education* 18(1): 51-71. DOI:10.1016/S0742-051X(01)00050-6

Lloyd, G., Herbel-Eisenmann, B., & Star, J. R. (2011). *Developing essential understanding of expressions, equations & functions for teaching Mathematics in Grades 6-8*. National Council of Teachers of Mathematics.

National Governors Association Center for Best Practices, & Council of Chief State School Officers. (2010). *Common Core State Standards for mathematics*. Retrieved from <http://www.thecorestandards.org/>

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <http://dx.doi.org/10.3102/0013189X015002004>

Simon, M. A. (1993). *Reconstructing mathematics pedagogy from a constructivist perspective*. *Technical Research Report*. National Science Foundation. DOI:10.2307/749205.

# CAPÍTULO 10

## ENSEÑANZA DE LAS FRACCIONES EN PRIMER CICLO BÁSICO. UNA EXPERIENCIA DE INTERVENCIÓN CON DOCENTES<sup>1</sup>

Data de submissão: 03/09/2024

Data de aceite: 11/10/2024

### Ana Luisa Alvarado Pinto

Magister en Didáctica de la  
Matemática en el Aula  
Universidad Católica de la  
Santísima Concepción  
<https://orcid.org/0009-0005-6288-4950>

### Carmen Cecilia Espinoza Melo

Departamento de Didáctica  
Universidad Católica de la  
Santísima Concepción  
<https://orcid.org/0000-0002-4734-9563>

### Erich Leighton Vallejos

Programa de Formación Pedagógica  
para Licenciados y/o Profesionales  
Universidad San Sebastián  
Facultad de Educación  
<https://orcid.org/0000-0001-7319-9469>

**RESUMEN:** Se presenta un plan de intervención realizado con profesoras que enseñan matemática en el primer ciclo básico. Se analizó el proceso de enseñanza de las

fracciones en un contexto escolar, utilizando una metodología cualitativa para el análisis de los datos a través de cuestionarios, entrevistas y observaciones de clases. Se identificó que las docentes tienen un manejo claro del currículo y de la progresión del contenido, pero se detectó una mecanización en la enseñanza, donde los estudiantes representan las fracciones mediante dibujos en la pizarra y los errores son corregidos de inmediato sin utilizarse como oportunidades de aprendizaje. Además, se evidenció que las docentes comienzan trabajando el concepto de fracción de manera concreta solo para introducir el concepto de parte-todo, pero no continúan con esta metodología, lo cual podría estar relacionado con una falta de conocimiento profundo del objeto matemático. Se concluyó que es necesario que los estudiantes transiten por etapas concretas antes de llegar al trabajo abstracto, para evitar la mecanización de los procesos y asegurar una comprensión profunda del contenido. Las docentes reconocen la necesidad de que los estudiantes descubran la matemática para aprender, pero no aplican esta metodología en el aula, lo que evidencia una falta de enseñanza por descubrimiento y un conocimiento insuficiente de los objetos matemáticos para contextualizar el contenido.

**PALABRAS CLAVES:** Fracciones. Metodología de enseñanza. Enseñanza de las fracciones. Formación del profesorado.

<sup>1</sup> Artículo derivado del Trabajo Final de Intervención realizado en el Magister de Didáctica en el Aula de la Universidad Católica de la Santísima Concepción.

## TEACHING FRACTIONS IN FIRST BASIC CYCLE. AN INTERVENTION EXPERIENCE WITH TEACHERS

**ABSTRACT:** The article summarizes an intervention plan carried out with teachers who teach mathematics in the first cycle of elementary education. The teaching process of fractions in a school context was analyzed using a qualitative methodology for data analysis through questionnaires, interviews, and class observations. It was identified that the teachers have a clear understanding of the curriculum and the progression of content, but a mechanization of teaching was detected, where students represent fractions by drawing on the board, and mistakes are immediately corrected without being used as learning opportunities. Additionally, it was noted that the teachers begin by working on the concept of fractions in a concrete way, only to introduce the part-whole concept, but do not continue with this methodology, which could be related to a lack of deep knowledge of the mathematical object. It was concluded that students need to go through concrete stages before reaching abstract work to avoid the mechanization of processes and ensure a deep understanding of the content. The teachers recognize the need for students to discover mathematics to learn, but they do not apply this methodology in the classroom, highlighting a lack of discovery-based teaching and insufficient knowledge of mathematical objects to contextualize the content.

**KEYWORDS:** Fractions. Teaching methodology. Teaching of fractions. Teacher training.

### 1 INTRODUCCIÓN

Según Fazio y Siegler (2013) plantean que estudiantes alrededor del mundo presentan dificultades al enfrentarse al aprendizaje de las fracciones. En muchos países el estudiante promedio jamás llega a obtener un conocimiento conceptual de las fracciones, inclusive en países como Japón o China donde la comprensión conceptual es considerada buena, las fracciones son consideradas un tema complejo. Dentro de las razones de su dificultad es que muchas propiedades que son verdaderas para los números enteros no lo son para los números racionales, pero aun así los estudiantes tienen a traspasarlas por lo cual son muchos los errores comunes que podemos encontrar en torno a la comprensión y aplicación de este contenido matemático (Gómez et al., 2015).

Lo antes mencionado, provocaría que los estudiantes no estén aprendiendo nociones curriculares que son consideradas básicas para los cursos siguientes, por lo cual desde la didáctica debe tomarse el reto de analizar las responsabilidades que tiene el docente en la enseñanza y la falta de aprendizaje que se tiene por parte de los estudiantes (Hamdan y Guderson, 2017).

Se podría considerar como una clave para lograr la comprensión profunda de las fracciones por parte de los estudiantes está en cómo la enseñan los docentes, es por esto, que se espera que la formación del profesorado de educación básica debe prepararlos

para la enseñanza de las matemáticas, ya que muchas investigaciones muestran que los docentes presentan similitudes en las dificultades que evidencian los estudiantes en su comprensión de las fracciones. Según Rodríguez & Navarrete (2020) se puede concluir que el poco o insuficiente conocimiento matemático que tienen los docentes de enseñanza general básica puede afectar su capacidad de discernir entre buenos y malos problemas, en sus críticas a los textos escolares y la selección de material para trabajar determinado contenido en sus clases.

En Rodríguez & Olfos (2018) utilizando la investigación de Hill et al. (2008) se caracteriza el saber que debe poseer un profesor en cuanto al conocimiento de base de sus estudiantes con respecto a las fracciones, destacándose el conocimiento de los errores comunes en torno a este contenido, así como sus dificultades, sus conocimientos previos y estar familiarizado con las posibles respuestas de sus estudiantes al enfrentarse a una tarea matemática.

En Arteaga-Martínez & Arnal-Palacián (2022) expone que la enseñanza de las matemáticas debe transitar entre 5 tipos de representaciones (imágenes, símbolos escritos, lenguaje natural, situaciones de contexto y materiales manipulativos) y las diversas conexiones que existen entre ellas. Y que en torno al trabajo de las fracciones se debiese abordar como mínimo con cuatro de estas, pudiendo trasladarse entre ellas e interconectarse durante su trabajo.

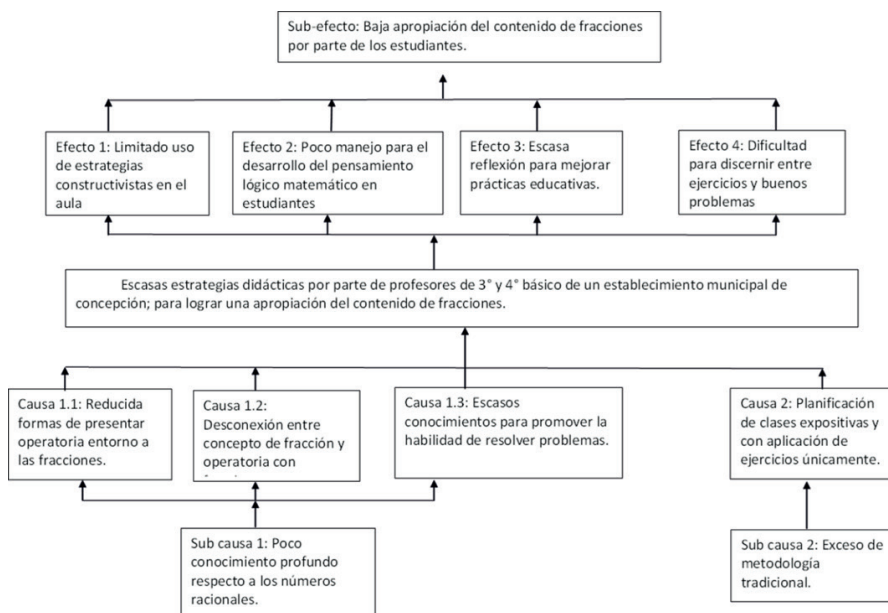
Según Li & Kulm (2008) citado en Arteaga-Martínez & Arnal-Palacián (2022) “los estudiantes a maestros tienen un conocimiento limitado para la enseñanza conceptual de la división de fracciones” (p. 113). Lo cual se reafirma en Buforn et al (2018) ya que los futuros profesores al enfrentarse a la resolución de problemas muestran una alta comprensión del concepto parte-todo, medida-recta numérica y cociente, situación proporcional del valor perdido y comparación de razones, pero los presentan cuando deben reconstruir una unidad, trabajar con situaciones no proporcionales, lo cual reafirma la falta de un conocimiento profundo en torno al concepto matemático.

Por su parte, Duval (2004) la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas si bien requiere de la utilización del lenguaje natural y las imágenes, la utilización de diversos registros de representaciones y expresiones lograría una mayor comprensión del objeto matemático. Dentro de los hallazgos que encontraron Arteaga-Martínez & Arnal-Palacián (2022) los futuros profesores presentan dificultades para representar pictóricamente la división de fracciones ya que suelen ver estos como números enteros independientes, y solo se limitan a la explicación de algoritmos, pero no a su comprensión, como ellos mismos indicaron en el estudio esto se debe a que no ha existido reflexión por su parte en el aprendizaje, solo centrándose en los procedimientos.

Como parte de un proyecto de intervención se estudio el tema de la enseñanza de las fracciones en un establecimiento de la comuna de Concepción, perteneciente al Servicio Local de Educación Pública de la región del BíoBío, Chile. La problemática del proyecto estuvo centrada en el hecho de que los docentes notaban que sus estudiantes no lograban tener una apropiación del objeto matemático y al revisar el currículo la investigadora pudo apreciar que esto se enseñaba desde tercero básico partiendo con la definición de fracción, pero aun así los estudiantes no lograban ver esta como un solo número, sino que mantenían su percepción de que eran dos números enteros independientes.

Es por todo ello y que tras revisar investigaciones entorno al tema y las posibles causas se construyó un árbol de problema que diese respuesta a los hallazgos encontrados tras el diagnóstico, el cual tiene como foco las escasas estrategias didácticas que presentan los y las docentes de tercero y cuarto básico para enseñar el concepto de fracción, lo que por termina siendo producto de la falta de un conocimiento profundo del objeto matemático para poder conectar el concepto con la operatoria, tener diferentes formas de presentar el concepto y llegar a trabajar la habilidad de resolución de problemas, lo que conlleva a planificar clases expositivas y con aplicación de ejercicios. Lo anteriormente planteado se organiza en el árbol de problema que se presenta en la Figura 1.

Figura 1. Árbol de problema para abordar la intervención.



Nota: elaboración propia.

## 2 METODOLOGÍA

Este proyecto de intervención se llevó a cabo bajo un enfoque cualitativo, el que Cueto (2020) citando a Taylor y Bogdan (1986) lo definen como una investigación que se orienta a la producción de datos descriptivos y los discursos de las personas, lo cual puede ser de forma hablada, escrita y también la conducta se puede observar. Se utilizaron tres instrumentos para la recolección de datos para el diagnóstico de las causas: cuestionario, entrevista y observación de clase.

El cuestionario aplicado fue con preguntas abiertas, de acuerdo con García (2005) “El cuestionario permite la recolección de datos provenientes de fuentes primarias, es decir, de personas que poseen la información que resulta de interés.” (p.30). La observación de clase es de carácter científica y directa, ya que esta es con la intención de saber cómo las docentes están realizando sus clases, como indicó Gutiérrez (2007) en el contexto de la enseñanza, esta se refiere a un técnica que implica examinar un fenómeno, evento o situación, recopilando información y documentándola para su posterior análisis.

El análisis de las respuestas del cuestionario se hizo utilizando algunos de los subdominios del Conocimiento Matemático para la Enseñanza (en su sigla en inglés MKT) de Ball et al, 2008. Conocimiento del contenido común (en su sigla en inglés CCK), que en este caso consiste principalmente en saber resolver dos problemas utilizando fracciones. Conocimiento especializado del contenido (en su sigla en inglés SCK), relacionado con la demostración gráfica de la operatoria con fracciones y la demostración de teoremas. Conocimiento del contenido y la enseñanza (en su sigla en inglés KCT), ligado a las estrategias utilizadas para introducir la suma de fracción de igual denominador en estudiantes. Conocimiento del contenido y el estudiante (en su sigla en inglés KCS), que en este caso consiste en analizar los errores y creencias que tienen los estudiantes al resolver un ejercicio de fracciones.

Por último, se utilizó una entrevista semiestructurada, lo que permite la flexibilidad de acuerdo a la fluidez en la conversación con las docentes. Vélez Restrepo (2003) describe esta técnica como un evento dialógico que facilita la interacción entre subjetividades, las cuales se conectan o relacionan mediante el lenguaje, permitiendo que emerjan representaciones o recuerdos que forman parte de la memoria personal o colectiva. Para el análisis de la entrevista, se utilizaron los Criterios de Idoneidad Didáctica (CID), extrayendo aquellos factores que se ven presente en el discurso de las docentes a la hora de participar en la entrevista.



En relación con el análisis de la clase grabada se utilizaron tres dimensiones de la gestión de la enseñanza del manual PROMATE (CIAE, INEE y Mineduc; 2018), ya que al ser una sesión de cierre de año, esta fue una clase de repaso.

Para entender las dimensiones utilizadas veremos la descripción expuesta en el manual PROMATE:

6. Diversidad de procedimientos o estrategias: Se observa si el profesor o los estudiantes utilizan distintos procedimientos o estrategias para resolver un ejercicio, un problema matemático, abordar una tarea o desafío, etc., y si son socializados y compartidos con otros. Tanto los procedimientos y estrategias, como su socialización, pueden ser propuestas por el profesor o los estudiantes.

7. Promoción del pensamiento en torno a las matemáticas: Se observa si el profesor promueve en sus estudiantes el pensamiento en torno a las matemáticas.

8. Uso de los errores y dificultades como instancia de aprendizaje: Se observa si el profesor usa los errores y dificultades de los estudiantes como instancia de aprendizaje o bien, se limita a corregirlos o los deja pasar. (p.10)

Las profesoras que participaron de la intervención, se desempeñan en la educación general básica, nivel que cuenta con 4 docentes las cuales se dividían en dos grupos; las que enseñan en primero y segundo básico, y quienes enseñan desde tercero a quinto básico.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respecto de las entrevistas realizadas, uno de los hallazgos fue que ellas resaltan la poca o casi nula apropiación del contenido por parte de los estudiantes. A su vez, cuestionan esta situación, ya que tienen un manejo claro del currículo y conocen la progresión de este, incluyendo desde qué año se comienza a trabajar con las fracciones. En sus diálogos se evidenció información sobre su metodología en el proceso de enseñanza, el cual favorece el trabajo mecánico al utilizar la operatoria con algoritmos como una receta y los problemas solo como fin. Aunque comienzan trabajando el concepto de fracciones de manera concreta, esto lo hacen únicamente para introducir el concepto como parte-todo y luego es dejado de lado. Aun así, las docentes son conscientes de que los estudiantes deberían descubrir el nuevo contenido por sí mismos, pero esto no se aplica en el aula. Esto podría estar relacionado con la falta de un conocimiento profundo del objeto matemático.

Por otra parte las docentes son conscientes de la ausencia de aprendizaje en los estudiantes y, para ello se trabaja con material concreto, a fin de acercar el objeto matemático al medio del estudiante, puesto que reconocen la necesidad de que los estudiantes deben descubrir la matemática para aprender.

Respecto del cuestionario aplicado, se pudo evidenciar que las docentes de enseñanza básica poseen una falta de conocimiento profundo del objeto matemático y la desconexión hasta cierto punto de trabajar la operatoria a partir del concepto de fracción, ya que en las preguntas de como enseñarían la operatoria todas se centraron directamente en el algoritmo, lo que suele ser enseñado como una receta que carece de sentido para los estudiantes.

Lo anterior, se evidenció en que los resultados, en la mayoría de las preguntas eran respondidos de manera correcta por  $\frac{1}{3}$  de las docentes, todos ellos asociados a la resolución de problemas, su representación gráfica o explicaciones referidas al concepto de fracción (Tabla 1).

Tabla 1. Análisis del cuestionario del diagnóstico.

Indicador	Pregunta	Respuestas
CCK	En un festival los $\frac{2}{3}$ son adultos y de ellos los $\frac{3}{5}$ son hombres. Hay 20 niños y niñas más que mujeres ¿Cuántos hombres, mujeres y niños hay en el festival?	1 de las 3 docentes respondió parcialmente la pregunta realizando los cálculos aritméticos, pero no llegó a obtener la cantidad de hombres, mujeres y niños que había en el festival. Ya que hubo un error al obtener la fracción que representaba a las mujeres.  Las otras docentes dejaron está en blanco.
	En una planta depuradora de aguas residuales, el tratamiento del agua se realiza en tres etapas. En una primera se quitan los $\frac{9}{10}$ de los fosfatos. En la segunda se quitan los $\frac{3}{4}$ de los que quedan. Y en la tercera etapa, se quitan $\frac{1}{2}$ de los que aún lleva el agua. ¿Qué fracción de fosfatos se quitaron en total del agua?	1 de las 3 profesoras respondió la pregunta realizando los cálculos aritméticos, llegando a la respuesta correcta.  Las otras docentes dejaron está en blanco.
SCK	Explica porque $\frac{0}{5} = 0$ .	Solo 1 de las 3 profesoras respondió parcialmente esta pregunta indicando "porque todo número dividido por cero es cero"
	Explica porque $\frac{0}{0}$ no está definido.	
	Ilustra las siguientes sumas y diferencias de fracciones usando el método de áreas:	P.1 No me acuerdo del modelo de área.  P.2 realiza la representación de cada fracción por separado.  P.3 realiza la operación dentro utilizando el método de áreas.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\frac{2}{5} + \frac{3}{8}</math></li> <li>• <math>\frac{4}{7} - \frac{2}{11}</math></li> </ul>	

KCT Supón que tienes que explicar a un niño los pasos a dar para sumar dos fracciones. Escribe una lista de todos estos pasos.

P.1 para sumar 2 fracciones de igual denominador deben sumar los numeradores y el denominador se conserva.

P.2 Identifica el numerador y el denominador. Suma los numeradores. Mantiene el denominador. Ejemplo:

$$\frac{3}{5} + \frac{2}{5} = \frac{5}{5}$$

(sin representación gráfica)

P.3 Adición de fracciones propias de igual denominador

- si los denominadores son iguales deben conservar el denominador y adicionar los numeradores.

$\frac{1}{2} + \frac{2}{6} = \frac{1+2}{6} = \frac{3}{6}$  (junto a ello realiza la representación con el método de áreas) adición de fracciones con distinto denominador

-Los denominadores debe igualarlos por medio de la amplificación de fracciones y luego adicionarlos.

$$\frac{1}{2} + \frac{2}{3} = \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{3}\right) + \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{2}{2}\right) = \frac{3}{6} + \frac{4}{6} = \frac{7}{6}$$

(sin representación gráfica)

KCS Aquí hay dos segmentos de recta numérica de 2 unidades de longitud cada una. En cada segmento las distancias entre las marcas son iguales. La profesora solicitó escribir la fracción representada por la letra B. Algunos alumnos escribieron  $\frac{3}{4}$ . Ello puede deberse principalmente a que:



- A)  $\frac{3}{4}$  de 2 es  $\frac{3}{2}$
- B) La ubicación de A corresponde a 1.
- C) B está ubicado en las tres cuartas partes del segmento de recta dibujado.**
- D) No me parece clara la pregunta.

P.1 y P.2 respondieron la alternativa C

P.3 respondió alternativa A

Nota: Elaboración propia.

Cabe indicar que, la observación de clase con una de las docentes participantes del proyecto de intervención se pudo apreciar la mecanización del trabajo, ya que todos los estudiantes representaban las fracciones mediante un rectángulo dibujado previamente por la docente en la pizarra. Los errores cometidos eran corregidos inmediatamente por ella, sin aprovechar estos momentos como instancias de aprendizaje, lo cual podría haber sido útil para otros estudiantes con la misma confusión. Durante el diálogo en la clase, se observó cómo se llegaba a interpretar una fracción como dos números independientes, lo que sería una de las principales causas de los errores comunes al trabajar con fracciones, ya que los estudiantes terminan aplicando propiedades de los números enteros a las fracciones que se presenta en Tabla 2.

Tabla 2. Análisis de clase grabada del diagnóstico.

Dimensiones de la gestión de la enseñanza	Nivel	Descripción de observación.
Diversidad de procedimientos o estrategias.	Incipiente (1)	<p>Los estudiantes pasan al pizarrón a representar fracciones con un rectángulo que les dibujo la profesora.</p> <p>Profesora comunica a los estudiantes que pasan a la pizarra que su desarrollo está correcto o incorrecto “mira ahí te equivocaste porque dice dos quintos... el número de arriba dice cuántos hay que pintar...”</p> <p>Una estudiante realiza la representación pictórica de su fracción con cuadrados creando una figura de seis lados “ya igual está bien, pero con el rectángulo queda más ordenado y lo pueden entender todos los compañeros”.</p>
Promoción del pensamiento en torno a las matemáticas.	Medio (2)	<p>La profesora invita a los estudiantes a realizar fichas en cartulinas, la mitad con la fracción propia escrita y la otra con la representación pictórica de esta. Para esto solicita a los estudiantes reunirse en parejas y entre ellos decidir qué fracciones poner.</p> <p>Estudiantes comienzan a dialogar respecto de qué fracciones poner en sus fichas “pero que sean números chicos porque el papel no es muy grande para el dibujo...”</p> <p>La mayor parte del tiempo se dedica a la confección de las tarjetas y tres grupos alcanzan a jugar al memorice con sus tarjetas.</p>
Uso de los errores y dificultades como instancia de aprendizaje.	Incipiente (1)	<p>Profesora se acerca a un grupo que estaba haciendo las fichas y le corrige “esta fracción no es propia, porque el numerador es mayor y nosotros no hemos visto eso aun”</p> <p>Un estudiante realiza incorrectamente la representación pictórica de una fracción y la profesora le corrige “mira ahí te equivocaste porque dice dos quintos... el número de arriba dice cuántos hay que pintar...”</p>

Nota: Indicadores extraídos del manual Promate (2018). Tabla de elaboración propia.

Posterior al análisis de los instrumentos de diagnóstico y la contrastación de esto con el árbol de causas se obtienen ideas importantes. Una de ellas es que los docentes en su discurso indican que la operatoria con fracciones al ser de igual numerador es más sencillo de enseñar utilizando el algoritmo, por lo cual dejan de lado lo concreto para centrar el trabajo en lo abstracto, respaldando esta decisión es que es necesario que los estudiantes piensen de manera abstracta y que la matemática se va volviendo más compleja por lo cual se vuelve más complicado el continuar el trabajo con material concreto, lo cual reflejaba el hecho de que en 5° año básico cuando se comienza a trabajar con la operatoria con fracciones de distinto denominador se recurra directamente al algoritmo; además el cuestionario evidencia falta del conocimiento especializado para la enseñanza de la operatoria con fracciones.

Lo anteriormente planteado, está ligado con las causas 1.1 y 1.2; ya que pudiera trabajarse la operatoria desde la definición entregada para comprender el concepto, si bien este es trabajado solo desde el concepto parte – todo, puede ser útil para mantener una conexión con el medio del estudiante, ya que es necesario que los estudiantes puedan llegar a un trabajo más abstracto con la materia pero para ello debe transitar por etapas, dentro de las cuales se vuelve muy costoso o arduo tener que realizar las representaciones o el material se vuelva insuficiente, de manera que pueda producir una acomodación en sus procesos mentales para tener una asimilación y apropiación del contenido. Pues si no terminamos cayendo en una mecanización de los procesos y volvemos a la enseñanza tradicional en la cual el docente entrega el contenido y los estudiantes deben replicar resolviendo listas de ejercicios. La desconexión se hace evidente al no poder responder los problemas de cálculo con fracciones, ya que podrían haber utilizado la representación pictórica para tratar de responder estas.

Esto último, nos lleva a la causa 2; si bien las docentes explicitan que al comienzo del contenido parten con un descubrir en el cual realizan una actividad concreta para llegar a comprender el concepto de fracción, esto se pierde a medida que se comienza a avanzar con el contenido, la desconexión de las fracciones con el concepto de medida puede ser una de las causantes, ya que aquí se pierde una herramienta valiosa para hacer que los estudiantes le encuentren sentido a las matemáticas y además puedan relacionarlo con su medio.

Otro elemento fundamental es el Conocimiento Matemático para la Enseñanza (MKT) ya que como menciona Ball, Thames & Phelos (2008) citado en González & Muñoz (2018) “los maestros necesitan un conocimiento matemático que les permita resolver los problemas y ejercicios que se proponen en el nivel educativo donde trabajan”(p. 134).; lo

cual se reafirma con las ideas expuestas por Ávila & García (2008) citado en González & Muñoz (2018) que mencionan que los profesores tienden únicamente a trabajar las fracciones desde el concepto parte-todo y hacer un manejo de los números racionales como si fuesen enteros, lo cual podría ser considerado como una gran deficiencia en su práctica pedagógica (p. 109). Todo esto nos lleva a la causa 1.3, lo que se evidencia en el diagnóstico ya que se ve en los docentes una falta de enseñanza por descubrimiento y a su vez ligado una falta de conocimiento profundo respecto al objeto matemático.

## 4 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de la intervención realizada indican que el tiempo es un factor importante que considerar, ya que el proyecto de intervención se llevará a cabo durante el segundo semestre, periodo que cuenta con varios interferidos, semanas de receso y labores administrativas que complican coordinar tiempo con las docentes participantes. Y, por otro lado, como la teoría a enseñar es bastante extensa, se tomarán puntos claves o características que son consideradas por la investigadora como aquellas que es necesario utilizar en la práctica pedagógica.

En la observación de una clase, se apreció que los estudiantes interpretan las fracciones como dos números independientes, lo que causa errores comunes. Durante el análisis de los datos, se identificó que las docentes favorecen el uso de algoritmos y recetas en la operatoria con fracciones, dejando de lado el trabajo concreto y promoviendo un aprendizaje abstracto desde etapas tempranas.

Se espera que luego de la implementación del proyecto de intervención se generen capacitaciones en el área de didáctica de la aritmética para el contenido de fracciones y otros temas con profesores que imparten la asignatura de matemática en primer ciclo de manera sistemática, para que puedan estructurar clases no tradicionales y a su vez diseñar actividades en torno a las fracciones que desarrollen la habilidad de resolver problemas.

Respecto a la enseñanza mecanizada que se observó, es coincidente con lo planteado por Arteaga-Martínez y Arnal-Palacian (2022) quienes sugieren que muchos docentes tienden a centrarse únicamente en los procedimientos algorítmicos, dejando de lado la comprensión conceptual y el uso de múltiples representaciones de fracciones. Asimismo, se destaca que es fundamental trabajar con una multiplicidad de símbolos e imágenes para evitar la mecanización y facilitar la comprensión profunda.

Finalmente, se concluye la necesidad de una mayor formación en didáctica de la matemática en la formación de profesores quienes necesitan un conocimiento

matemático y didáctico sólido que permitan enseñar no solo conceptos, sino también utilizar estrategias didácticas que promuevan la comprensión conceptual y la resolución de problemas, coincidiendo con las ideas de González y Muñoz (2018) y Ball et al. (2008) quienes indican que los profesores que la falta de conocimiento profundo del contenido limita la efectividad de la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes.

## BIBLIOGRAFÍA

Arteaga-Martínez, B. y Arnal-Palacian, M. (2022). Análisis del conocimiento especializado en matemáticas con maestros en formación: una experiencia con la representación de fracciones. *Educatio Siglo XXI*, 40(1), 107-130. <https://doi.org/10.6018/educatio.436461>

Ball, D. L., Thames, M. H., & Phelps, G. (2008). Content knowledge for teaching: What makes it special? *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389-407. <https://doi.org/10.1177/0022487108324554>

Bufo, A., Llinares, S. y Fernández, C. (2018). Características del conocimiento de los estudiantes para maestros españoles en relación con la fracción, razón y proporción. *Revista mexicana de investigación educativa*, 23(76), 229-251. [https://www.researchgate.net/publication/323486568\\_Caracteristicas\\_del\\_conocimiento\\_de\\_los\\_estudiantes\\_para\\_maestro\\_espanoles\\_en\\_relacion\\_con\\_la\\_fraccion\\_razon\\_y\\_proporcion](https://www.researchgate.net/publication/323486568_Caracteristicas_del_conocimiento_de_los_estudiantes_para_maestro_espanoles_en_relacion_con_la_fraccion_razon_y_proporcion)

CIAE, INEE y Mineduc (2018). Manual Promate. Pauta de observación de clases de matemáticas impartidas por profesores principiantes. México: autor.

Cueto, E. (2020). Investigación cualitativa. *Applied Sciences in Dentistry*, 3(1). <https://doi.org/10.22370/asd.2020.1.3.2574>

Fazio, L. y Siegler, R. (2010). Enseñanza de las fracciones. *Internacional Academy Of Education*, 22. <http://www.iaoed.org/index.php/ed-practices-series>

García, F. (2005). *El cuestionario: recomendaciones metodológicas para el diseño de cuestionarios*. Editorial Limusa. [https://books.google.es/books?id=-JPW5SWuWOUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=-JPW5SWuWOUC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

González, J. y Muñoz, D. (2018). Conocimiento común del contenido del estudiante para profesor sobre fracciones y decimales. *Educación matemática*, 30(2), 106-139. <https://www.scielo.org.mx/pdf/ed/v30n2/1665-5826-ed-30-02-106.pdf>

Gutiérrez, E. (2007, del 19 al 22 de septiembre). Técnicas e instrumentos de observación de clases y su aplicación en el desarrollo de proyectos de investigación reflexiva en el aula y de autoevaluación del proceso docente [conferencia]. In *La evaluación en el aprendizaje y la enseñanza del español como lengua extranjera/segunda lengua: XVIII Congreso Internacional de la Asociación para la Enseñanza del Español como lengua Extranjera (ASELE)*, Alicante. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3189672.pdf>

Gómez, D. M., Jiménez, A., Bobadilla, R., Reyes, C., & Dartnell, P. (2015). "The effect of inhibitory control on general mathematics achievement and fraction comparison in middle school children." *ZDM Mathematics Education*, 47, 801-811. <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0685-4>

Hamdan, N., & Gunderson, E. A. (2017). "The number line is a critical spatial-numerical representation: Evidence from a fraction intervention." *Developmental Psychology*, 53, 587-596. <https://doi.org/10.1037/dev0000252>

Navarrete, C. y Rodríguez, P. (2020). Influencia del conocimiento profundo del profesor sobre fracciones en el aprendizaje de alumnos de 4° grado. *Revista electrónica de investigación educativa*, 22(10), 1-18. <https://doi.org/10.24320/redie.2020.22.e10.2285>

Rodríguez, P. y Olfos, R. (2018). Instrumentos consistentes para la enseñanza de fracciones en 4o. grado. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, 20(1), 48-58. <https://www.redalyc.org/journal/155/15557149005/html/>

Tonon, G. (2009). *Reflexiones latinoamericanas sobre investigación cualitativa*. Universidad nacional de la Matanza, Prometeo.



## SOBRE O ORGANIZADOR

**Dr. José Luis Escamilla Reyes-** Profesor del Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México desde 1998. Doctor en Física por la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Cuenta con una experiencia docente de 32 años. Es coautor de Manuales de Física II y Física III, así como de dos ebooks, uno sobre Física General y otro sobre Óptica y Física Moderna. Está certificado en el Programa de Desarrollo de Habilidades Docentes del Tecnológico de Monterrey. Ha participado con varios trabajos en Congresos Nacionales e Internacionales relacionados con la Física de Semiconductores de los grupos IV y III-V. Sus áreas de interés son: fuentes alternativas de energía, Física del Estado Sólido, diseño y aplicaciones de los MEMS y modelación matemática de Sistemas Complejos. Ha publicado más de 15 trabajos arbitrados y memorias en congresos. Colaboró en el diseño y construcción de láseres pulsados de N<sub>2</sub> en el Laboratorio de Óptica Cuántica de la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa (UAMI). En el Tecnológico de Monterrey Campus Ciudad de México, participó en el desarrollo de un prototipo de Celda de Combustible con membrana de intercambio protónico (PEMFC) de alta eficiencia. Obtuvo la Medalla al Mérito Académico por el mejor promedio de Maestría otorgada por la UAMI. Fue líder de la Cátedra de Investigación “Micro Sistemas Electromecánicos: Diseño y aplicaciones” del Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México y miembro del SNI.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

ADDIE Approach 51

Atividades práticas 81, 82, 86, 87

### C

Circular economy 51, 52, 53, 59, 60, 66

Coefficient of static friction 1, 6, 9

Competencias 14, 32, 33, 34, 35, 40, 79, 80, 81

Comunicación oral 33

Cultura científica 81, 82

### D

Doctoral pedagogy 51

### E

Educação em ciências 81, 83

Educación 11, 12, 13, 20, 23, 24, 25, 31, 32, 33, 40, 52, 70, 79, 80, 107, 108, 110, 112, 118

Educación superior 11, 12, 52

Enseñanza 11, 13, 14, 15, 21, 23, 24, 31, 32, 36, 37, 69, 80, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 116, 117, 118, 119

Enseñanza de las fracciones 107, 110, 118

Enseñanza de química 23

Environmental challenges 51

Experiment 1, 3, 4, 5, 6, 7, 105

### F

Formación del profesorado 107, 108

Fracciones 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119

Funciones definidas a trozos 41

### I

Interdisciplinary chemistry education 51

Interpolación Lagrangiana de funciones 41

Investigación formativa 11, 12, 13, 14, 15, 17, 20, 21, 22

## K

Kirkpatrick Model 51, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 64, 65, 66, 67

## L

Linear motion 1, 2, 3, 4, 9, 10

## M

Método científico 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80

Metodología de enseñanza 36, 107

## P

Participação 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87

PCK for Simplifying Algebraic Expressions 89, 96

Pensamiento científico 68, 70, 71, 72, 73, 74, 78, 79, 80

Personalización del aprendizaje 23, 27, 28, 31

## Q

Química analítica 11, 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21

## R

Registros semióticos 33, 35, 38, 39, 40

## S

Series de Fourier 41, 42, 45, 46, 48, 49

Socio-economic governance 51

STEM resource 1

Sustainability education 51

Sustainable Development Goal 4 Quality Education (SDG 4) 51

## T

Taller 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 79, 80

Tecnologías educativasal 23

Transdisciplinary communication 51

1.º Ciclo do Ensino Básico 81, 87