

Resultados de la construcción de arquetipos en física basados en indagación



Silvia Tecpan, Carla Hernández

*Departamento de Física, Universidad de Santiago de Chile,
Avenida Ecuador 3493, Estación Central, C.P. 9170124, Chile, Santiago.*

E-mail: silvia.tecpan@usach.cl

(Recibido el 20 de septiembre de 2018, aceptado el 25 de diciembre de 2019)

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados al implementar una propuesta didáctica basada en aprendizaje de la ciencia por indagación, a través de aprendizaje basado en proyectos, para la formación inicial de profesores de física y matemática en una universidad estatal en Chile. Los futuros profesores construyeron arquetipos de bajo costo para generar explicaciones de los fenómenos físicos presentes en el sistema físico elegido, para ello, ejercitaron, entre otros aspectos, la identificación de variables y el diseño de experimentos. Utilizando como herramienta de sistematización la uve de Gowin, confrontaron la teoría y los fenómenos involucrados en el arquetipo, sin embargo, tuvieron dificultades para desarrollar los experimentos que permitieran evidenciar la relación entre ambos. Se encontró la necesidad de incorporar en el curso más aspectos relacionados con la problematización y gestión de proyectos, además de profundizar en la elaboración de explicaciones, dado que las generadas fueron incipientes. Es necesario enfatizar en la apropiación del conocimiento disciplinar y el desarrollo de las explicaciones por parte de los futuros profesores. Se discuten las implicaciones de los resultados en la formación inicial docente.

Palabras clave: Formación inicial docente, indagación, uve de Gowin, experiencia de clase.

Abstract

In this paper, the results are presented when implementing a didactic proposal based on learning of science by inquiry, through project-based learning, for the initial training of physics and mathematics teachers at a state university in Chile. The future professors built low-cost archetypes to generate explanations of the physical phenomena present in the chosen physical system, for which they exercised, among other aspects, the identification of variables and the design of experiments. Using the Gowin's Vee as a systematization tool, they confronted the theory and the phenomena involved in the archetype, however, they had difficulties to develop the experiments that would allow demonstrating the relationship between both. There was a need to incorporate in the course more aspects related to the problematization and management of projects, besides deepening the elaboration of explanations, given that the generated ones were incipient. It is necessary to emphasize the appropriation of disciplinary knowledge and the development of explanations by future teachers. The implications of the results in the initial teacher training are discussed.

Keywords: Pre-service teacher training, inquiry, Gowin's Vee, classroom experience.

PACS: 01.40.jc, 01.40.Di, 01.40.gb

ISSN 1870-909

I. INTRODUCCIÓN

La formación docente en ciencias en Chile avanza hacia una mayor incorporación de herramientas tecnológicas y actividades prácticas [1]. En este contexto, se desarrolló una propuesta didáctica basada en indagación a través de proyectos [2, 3] para la construcción de arquetipos que contribuyan a la enseñanza y aprendizaje de la física en la formación inicial de profesores en la disciplina [4].

La asignatura en la que se desarrolló la propuesta didáctica, descrita en [4] se imparte en el tercer semestre de la carrera y es dictada por distintos profesores, según el número de estudiantes inscritos. En ella se pretende que el estudiante logre el siguiente resultado de aprendizaje: "Elaborar un arquetipo de bajo costo para explicar su funcionamiento a través de los fenómenos físicos presentes,

empleando indagación para determinar causas y efectos que expone con rigor científico apoyándose en TIC [5]".

En el presente trabajo se exponen resultados de la implementación piloto de la propuesta didáctica. En primer término, se describen las características del proceso de construcción de arquetipos junto a las dificultades detectadas, y posteriormente, el uso que en este marco se da a la Uve de Gowin como herramienta para sistematizar ideas en el desarrollo de proyectos [6, 7].

II. DESARROLLO DE PROYECTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ARQUETIPOS

Tal como se explicó previamente [4], la construcción de arquetipos es una actividad consistente con el enfoque de indagación, dado que requiere buscar soluciones a las

dificultades técnicas que surgen del mismo proyecto continuamente, y además, promueve el trabajo colaborativo al ser una actividad realizada en grupos pequeños [2, 3].

Para iniciar, se formaron equipos de cuatro integrantes y se indicaron los criterios para proponer el arquetipo entre ellos: a) que sea transportable, b) de costo aproximado a \$15 USD, c) que incluya contenido disciplinar de asignaturas previamente aprobadas (mecánica clásica, ondas, calorimetría, fluidos y/o electromagnetismo), d) que aborde un problema de aprendizaje conocido, e) que permita mostrar de manera atractiva un fenómeno físico, f) que sea posible utilizar un diseño experimental para verificar su funcionamiento, y g) que sea factible de construir a lo largo del semestre.

Los equipos compuestos por 3 o 4 estudiantes, fueron desarrollando sus proyectos junto a una carta Gantt para gestionar los recursos a utilizar en cada sesión de trabajo presencial.

Las sesiones presenciales se complementaron con el uso de la plataforma Google Drive. En esta plataforma cada equipo desarrolló a largo del semestre una bitácora en la que reportaron avances semanales en los tres ejes del curso: a) construcción del arquetipo, b) explicación de funcionamiento, y c) diseño de página web. De este modo, los estudiantes recibían retroalimentación semanalmente tanto presencial como virtual.

A continuación, se mencionan algunos de los proyectos que fueron desarrollados, en los distintos paralelos del curso, y las páginas de internet en las que pueden consultarse:

- Sistema de poleas y plano inclinado, verito147.wixsite.com/poleas2017
- Calorímetro eléctrico, <https://calorimetroelectri.wixsite.com/prototipoaula>
- Termómetro de Galileo, <https://nicolashidalgo.wixsite.com/termometrogalileo/quienes-somos-1>
- Catapulta de torsión, <https://camilabudin.wixsite.com/catapultadetorsion/proyecto>

Entre las dificultades que enfrentaron los estudiantes con el desarrollo de los proyectos se identificaron:

Determinar la pregunta a resolver con el proyecto. Los futuros docentes tuvieron problemas para determinar las dificultades de aprendizaje que querían confrontar con su arquetipo, posteriormente, una vez determinada la dificultad de aprendizaje o preconcepto a abordar, fue necesario que reformularan la pregunta guía en más de una ocasión, pues en muchos casos, estaba formulada de modo que se respondía con “sí” o “no”, por lo que no ameritaba indagación o comprobación experimental. Los futuros docentes, al igual que profesores con más experiencia, fueron capaces de establecer de manera genérica las dificultades de entendimiento conceptual de algunos contenidos disciplinares [8], sin embargo, convertir dichas dificultades en preguntas investigables no fue sencillo. Para superar esta dificultad fue necesario un mayor acompañamiento del docente, sin caer en formular por ellos la pregunta guía. Existe evidencia de las dificultades de los

profesores de ciencias para formular preguntas [9], por lo que se destaca la utilidad de la estrategia didáctica elegida para evidenciar y trabajar esta necesidad formativa para los futuros docentes.

Pérdida del objetivo del proyecto. Al avanzar en la construcción del arquetipo y comenzar a experimentar dificultades con los materiales y con las técnicas constructivas y de diseño, se observó que algunos equipos comenzaban a orientar el proyecto en otra dirección, tratando de responder a una nueva pregunta, distinta a la original. La mayoría de las veces más ambiciosa y difícil de solucionar en el tiempo establecido para el proyecto. Fue necesario retomar los criterios de selección del arquetipo y las limitaciones y alcances del curso. Al recordar que uno de los propósitos de los arquetipos es su utilidad didáctica en las ferias de ciencias o el aula, fue más sencillo para los estudiantes retomar el proyecto.

Cambio de proyecto a causa de dificultades técnicas y conceptuales. Al inicio del semestre se entregan los criterios para proponer el arquetipo a desarrollar en el curso. El proceso de selección pasa por las siguientes etapas: 1) cada integrante propone dos arquetipos que cumplan con los criterios del curso, 2) se discuten las propuestas al interior de cada equipo, 3) se escogen dos propuestas a presentar en plenario y al docente, 4) el docente evalúa el grado de novedad y factibilidad de las propuestas, para finalmente elegir solo una por equipo, que, además, sean de temas diferentes entre sí. Se encontró que después de las dos semanas dispuestas para definir el proyecto algunos equipos solicitaron un cambio de arquetipo debido, entre otros aspectos, a dificultades técnicas de construcción por carecer de herramientas o materiales específicos o bien por la complejidad de los conceptos involucrados en el funcionamiento.

Este último aspecto, es de suma relevancia, pues los contenidos disciplinares con los que pueden trabajar los estudiantes en los arquetipos, son aquellos aprendidos en asignaturas previas y aprobadas. La falta de seguridad en sus conocimientos puede ocurrir porque no han tenido la oportunidad de confrontar sus propias dificultades conceptuales [10]. La metodología implementada permite evidenciar las necesidades de formación disciplinar que deben ser reforzadas en los cursos previos. En este sentido, se coincide en que el proceso científico se aprende a través de la experiencia directa [11]. Al enfrentarse a la construcción de arquetipos los futuros docentes se ven forzados a desarrollar modelos conceptuales, pero no solo emanados de la teoría, sino obtenidos y refinados por sus propias observaciones al realizar experimentos del funcionamiento del arquetipo. Para afrontar esta dificultad se propuso dividir el arquetipo en subsistemas que permitieran un análisis más acotado. Cuando a pesar de la sugerencia, el equipo en conjunto decidió cambiar de arquetipo debido a la complejidad conceptual esto se realizó sin modificar el tiempo de entrega y sin disminuir el nivel de dificultad de la propuesta.

Se destaca que la construcción de arquetipos contribuyó a que los futuros docentes comprendieran y distinguieran qué se considera evidencia, qué se entiende por explicación

yla diferencia entre explicar y describir un fenómeno físico [12, 13, 14], aspectos esenciales en la formación docente para lograr una comprensión profunda de la física [11].

III. RESULTADOS Y DESAFÍOS DE INCORPORAR UVE DE GOWIN

Para facilitar la identificación del modelo teórico que permite explicar el funcionamiento del arquetipo, y organizar de manera sistematizada la teoría y evidencia involucrada, se propuso utilizar Uve de Gowin [6, 7]. En la plataforma virtual del curso se incluyeron artículos sobre esta herramienta heurística, posteriormente se trabajaron ejemplos en la clase y finalmente cada equipo inició con la implementación. Los elementos incluidos en la Uve de Gowin se pueden observar en la Figura 1.

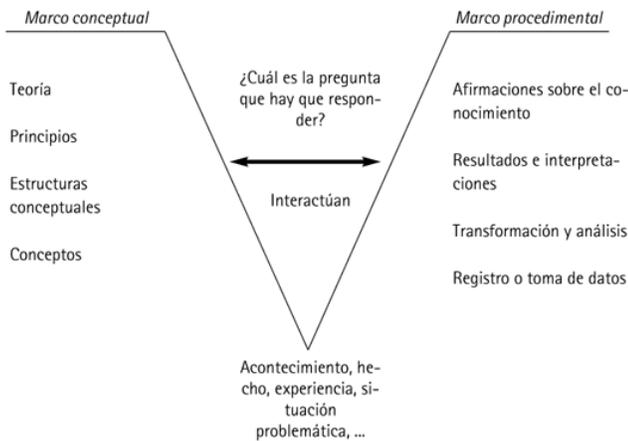


FIGURA 1. Elementos de la Uve de Gowin. Fuente: [15].

A continuación, se describen las principales dificultades que enfrentaron los equipos respecto a la implementación de la Uve de Gowin y las estrategias de solución aplicadas:

Dificultades para establecer la pregunta central. Se encontró que proponer la pregunta central resultó ser el aspecto más complejo del diagrama, pues solían incluir preguntas que no eran posibles de responderse con el trabajo experimental. También, propusieron preguntas muy abiertas que abarcaban el concepto en general, pero no el fenómeno en particular que analizaban con el arquetipo. Fue necesario iterar en sucesivas ocasiones para que lograran definir la pregunta. Por ejemplo, al construir un calorímetro propusieron como pregunta central “¿Por qué es importante estudiar el calor específico de un material?”, si bien es una pregunta interesante, no se responde directamente con el arquetipo construido ya que el registro de datos y los resultados no permiten formular afirmaciones de valor que respondan directamente a la pregunta. Al respecto, se enfatizó la necesidad de comprobar experimentalmente los aspectos teóricos declarados en el marco conceptual. La pregunta central debe destacar, no solo el concepto principal presente en el arquetipo (para el ejemplo, el calor específico), también debe facilitar que empleando el arquetipo se realicen

Resultados de la construcción de arquetipos en física basados en indagación mediciones y registros que establezcan la relación entre variables y con ello el desarrollo de experimentos y explicaciones del funcionamiento [6, 7].

Confusión para ubicar elementos en el diagrama. Otra dificultad fue definir y establecer el fenómeno o situación que se ubica en la base de la Uve, pues más que describir la situación bajo análisis, los futuros docentes incluyeron elementos conceptuales que debieran ubicarse en el marco teórico. Esta situación fue abordada a través de las continuas revisiones entre pares y con apoyo del docente. La construcción de la Uve es una tarea compleja y toma tiempo desarrollar las habilidades de pensamiento necesarias para su construcción, por lo que es necesario el acompañamiento de manera cercana. Esta experiencia coincide con lo reportado en otros contextos en donde se indica que las propuestas de Uve de los alumnos pueden tener distintas falencias al inicio, pero que estas van evolucionando a través de la discusión y análisis colectivo de los errores [15].

Afirmaciones de conocimiento y explicación de fenómenos incipiente. Los futuros profesores tenían dificultades para distinguir las variables involucradas y su rol dentro del funcionamiento del arquetipo [4]. Para solucionar este problema se propuso incluir en el análisis de los arquetipos una distinción clara de los datos *medibles*, datos *calculables* y datos *conocidos*, además de establecer cuáles eran las variables dependientes e independientes. Esta distinción junto con las definiciones de evidencia, experimento y explicación [12, 13, 14] contribuyeron a una mejor comprensión del resultado esperado en el eje de explicación del funcionamiento del arquetipo. En la tabla 1 se ejemplifica el análisis inicial realizado en el proyecto “Poleas y plano inclinado”.

TABLA I. Ejemplo del análisis inicial del proyecto “Poleas y plano inclinado”.

Datos medibles	Datos calculables	Datos conocidos
- Masa de cada esfera - Masa del cubo metálico - Ángulo de inclinación - Ángulo crítico	- Coeficiente de roce estático - Fuerza	- Aceleración de la gravedad

Se reconoce que el uso de la Uve de Gowin contribuyó a mejorar la calidad de las explicaciones del funcionamiento del arquetipo, sin embargo, estas aún son incipientes. Los futuros profesores fueron capaces de observar el carácter tentativo y provisional de las explicaciones que fueron generando[11, 12, 15], ya que semana a semana, conforme avanzaron en la construcción del arquetipo y en la correspondiente experimentación, agregaron más elementos en su análisis. En la figura 2 se presenta la Uve de Gowin elaborada para el proyecto titulado “Poleas y plano inclinado”, cuyo arquetipo final se muestra en la figura 3.

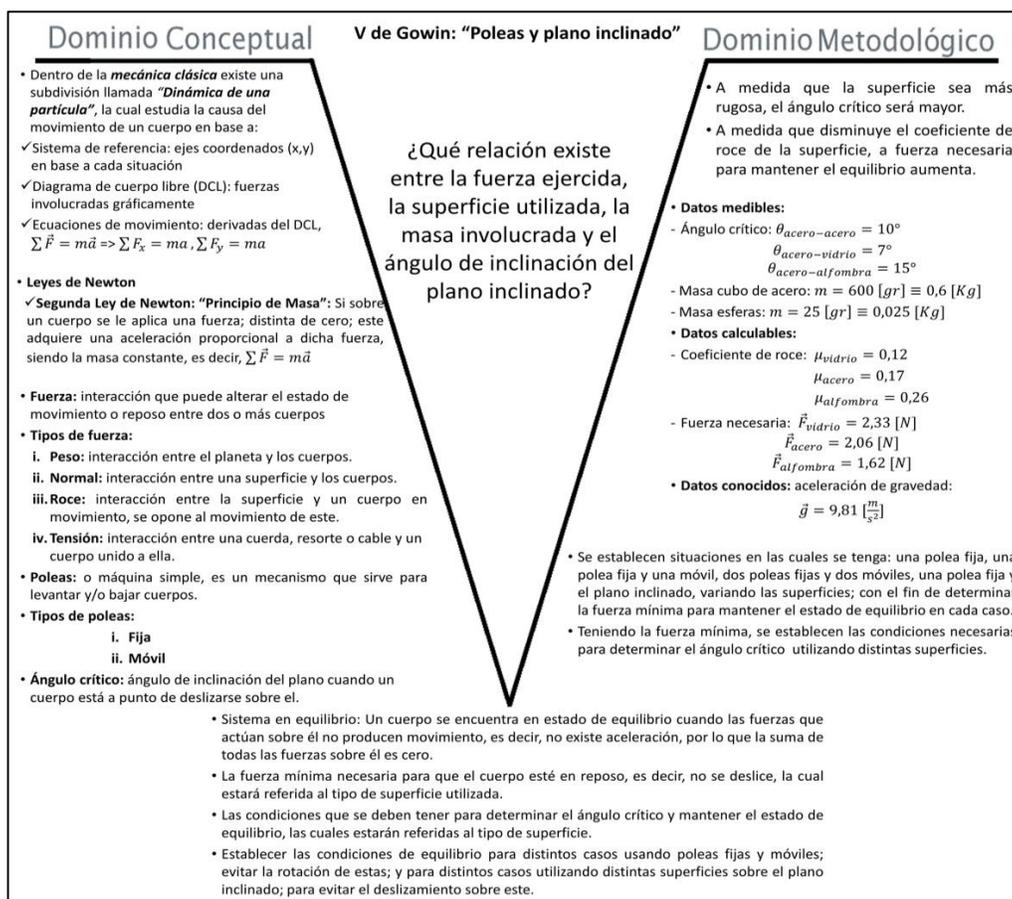


FIGURA 2. Uve de Gowin desarrollada para el proyecto "poleas y plano inclinado" (versión final).

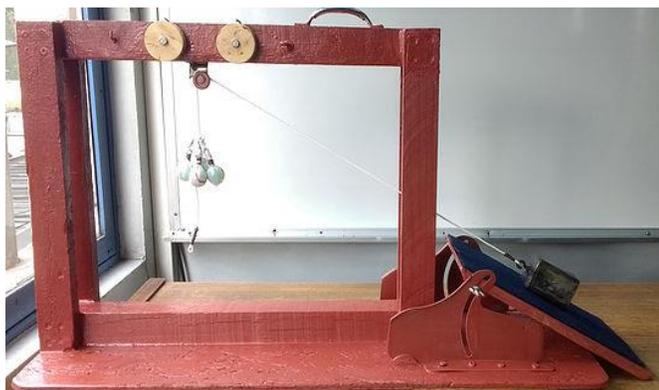


FIGURA 3. Arquetipo del proyecto "poleas y plano inclinado" (versión final).

Confrontar continuamente el marco teórico y el marco metodológico facilitó la elaboración de la explicación de los fenómenos, sin embargo, se hizo evidente que es necesario reforzar el conocimiento disciplinar de los futuros docentes pues reconocieron que, en algunos casos, habían estudiado de manera superficial los contenidos de las asignaturas de física precedentes y no contaban con los conocimientos necesarios para explicar en profundidad ciertos fenómenos físicos. Este resultado sugiere que la Uve de Gowin como herramienta vinculada a la construcción de arquetipos

contribuye a la descripción y explicación de fenómenos naturales y procesos tecnológicos en términos de conceptos, teorías y principios físicos.

V. ANALISIS Y DISCUSIÓN

La experiencia obtenida con la implementación de las estrategias propuestas significó aprendizajes para los futuros docentes y abrió nuevas áreas de oportunidad que deberán ser consideradas en futuras implementaciones.

Respecto al desarrollo de los proyectos se encontró que los futuros docentes tuvieron limitaciones para generar la pregunta central del proyecto, pues en el tercer semestre aún no han recibido instrucción en la formulación de preguntas investigables [16]. Tampoco han cursado la asignatura llamada "Metodología de la investigación" que se imparte en séptimo semestre, por lo que las preguntas iniciales carecían de rigurosidad y difícilmente podían responderse por medio de la experimentación. La guía del docente y el trabajo con los pares fue fundamental para superar esta dificultad. Cabe recordar que en las metodologías de aprendizaje activo el docente actúa como facilitador, por lo que no propone desde su experticia la pregunta central, sino que guía a los equipos para que logren formularla ellos mismos. En dichas metodologías el alumno tiene un rol central en la

construcción de su propio conocimiento [17], por tanto, recae en ellos la responsabilidad de plantear la pregunta central.

Se utilizó la carta Gantt como herramienta para la gestión de los recursos del proyecto con la intención de contribuir a la competencia del perfil de egreso que indica que los futuros docentes deben organizar y planificar actividades propias de un proyecto de investigación [5]. Utilizar una carta Gantt junto con la Uve de Gowin, permitió que los equipos avanzaran, en su mayoría, de acuerdo con lo planeado y además lograran confrontar continuamente teoría y evidencia, con lo que se evidenció la forma en que se construye el conocimiento científico [7].

Un aspecto central del curso en el que se realizó la implementación es la necesidad de formular explicaciones científicas de fenómenos físicos. Esta es una habilidad compleja que no se desarrolla de manera espontánea [12, 14].

En el desarrollo de proyectos se reconoce el importante avance que significó el uso de la Uve de Gowin para que los futuros docentes mejoren las explicaciones que pueden formular. Si bien las explicaciones fueron incipientes, si facilitaron la comprensión del funcionamiento de los arquetipos desarrollados. En trabajos similares se ha resaltado la utilidad de esta herramienta para vincular teoría y práctica en el caso de clases experimentales de física [18] y para la resolución de problemas vinculando el pensamiento y la actuación [19]. En coherencia con los trabajos mencionados, el presentado en este artículo aporta evidencia de cómo el uso de la Uve de Gowin para la construcción de arquetipos contribuye también en la construcción de conocimiento.

Los resultados obtenidos con esta implementación sugieren que se debe continuar en esta línea de trabajo brindando más oportunidades para los futuros docentes en las que sean ellos quienes generen las explicaciones y no sus profesores.

VI. IMPLICANCIAS Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la implementación piloto de la estrategia didáctica sugieren que tanto el desarrollo de proyectos como el uso de Uve de Gowin efectivamente contribuyen al logro del resultado de aprendizaje propuesto para la asignatura.

A partir de los resultados se sugieren consideraciones para mejorar la propuesta didáctica descrita, entre ellas: a) incorporar recursos didácticos adicionales en la plataforma del curso para la formulación de preguntas investigables, b) realizar una aproximación a la estrategia de aprendizaje basado en proyectos, de al menos una sesión de duración, para ejemplificar los aspectos claves del desarrollo de arquetipos, c) analizar ejemplos de la construcción de Uve de Gowin para arquetipos, d) incluir recursos didácticos para la construcción de explicaciones.

A partir de lo mencionado, se puede concluir que los proyectos ayudaron a los estudiantes a confrontar dificultades conceptuales que no habían sido evidenciadas en cursos disciplinares aprobados previamente. La construcción

Resultados de la construcción de arquetipos en física basados en indagación de los arquetipos favoreció la profundización en el estudio de los contenidos relacionados con cada proyecto.

Dado que la asignatura intervenida se imparte al término del primer año de carrera, se evidencia la dificultad que supone para los estudiantes formular explicaciones científicas dado que es una habilidad cognitiva compleja [20]. Al respecto, se considera que utilizar la Uve de Gowin ha contribuido a desarrollar esta habilidad indispensable para enseñar física, pues se apreciaron cambios sustanciales en las explicaciones al compararlas con las generadas en cursos previos.

Si bien, este curso corresponde al eje disciplinar de la carrera y no al eje de formación profesional [5], el uso de metodologías de aprendizaje activo como la indagación y el desarrollo de proyectos puede aportar en la construcción de conocimiento sobre la disciplina y cómo enseñarla. Por un lado, se refuerza el conocimiento disciplinar por medio de la experimentación directa con los fenómenos y por otro, se incorporan aspectos metodológicos que posteriormente podrán emplear los futuros profesores con sus propios alumnos en su ejercicio profesional.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen el apoyo recibido de la Universidad de Santiago a través del proyecto PID 066-2015.

REFERENCIAS

- [1] Cofré, H., Vergara, C., *La formación de profesores de ciencia en Chile: desarrollo, estado actual y futuros desafíos en Como Mejor La Enseñanza Las Ciencias En Chile*, (Ediciones Universidad Cardenal Silva Henríquez, Santiago, Chile, 2010).
- [2] Couso, D., *De la moda de aprender indagando a la indagación para modelizar: una reflexión crítica*, 26EDCE. Investigación y transferencia para una educación en ciencias: Un reto emocionante, 1-28 (2014).
- [3] Kolmos, A., *Estrategias para desarrollar currículos basados en la formulación de problemas y organizados en base a proyectos*, *Educación* **33**, 77-96 (2004).
- [4] Tecpan, S., Hernández, C., *Aprendizaje por indagación para la construcción de arquetipos en física; el caso de un curso para formación de profesores en Chile*, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **11**, 2320 (2017).
- [5] Licenciatura en Educación en Física y Matemática. *Perfil de Egreso* <<http://www.fisica.usach.cl>> Consultado el 8 de marzo de 2016.
- [6] Castro Chávez, M., Gutiérrez Rodríguez, E., Marín Pérez, M., Ramos Morales, P., *Impacto de la uve de Gowin en el desarrollo de conocimientos, razonamientos e inteligencias múltiples*, *Perspect. Docentes Espectros*. pp. 19-30 (2015).
- [7] Moreira, M. A., *Diagramas V y aprendizaje significativo*, *Rev. Chil. Educ. Científica* **6**, 1-13 (2012).
- [8] Tecpan, S., Benegas, J., Zavala, G., *Entendimiento*

conceptual y dificultades de aprendizaje de Electricidad y Magnetismo identificadas por profesores, Lat. Am. J. Phys. Educ. **9**, (2015).

[9] Joglar, C., Quintanilla, M., *Aprendiendo a promover competencias científicas escolares mediante el diseño de preguntas con sentido* en Las competencias pensam científico desde las emociones y voces del aula, editado por M. Quintanilla (Bellaterra, Santiago, Chile, 2014), pp. 121–152.

[10] Hernández, C., López, L., González, A., Tecpan, S., *Impacto de estrategias de aprendizaje activo sobre el conocimiento disciplinar de futuros profesores de física en un curso de didáctica*, Pensam. Educativo Rev. Investig. Educ. Latinoam. **55**, 1-12 (2018).

[11] McDermott, L., Shaffer, P., Constantinou, C., *Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry*, Phys. Educ. **35**, 411-416 (2000).

[12] Timmerman, B., Strickland, D., Johnson, R., Payne, J., *Development of a universal rubric for assessing undergraduates scientific reasoning skills using scientific writing*, Assess Eval. High. Educ. **36**, 09-547 (2011).

[13] Zimmerman, C., Raghavan, K., Sartoris, M., *The impact of the MARS curriculum on students' ability to coordinate theory and evidence*, Int. J. Sci. Educ. **25**, 1247-1271 (2003).

[14] Lawson, A. E., *Teaching Inquiry Science in Middle and*

Secondary Schools (Sage, Washington, DC, 2009).

[15] Izquierdo Aymerich, M., *La V de Gowin , un instrumento para aprender a aprender (y a pensar)*, Rev. Alambique **1**, 114-124 (1994).

[16] Sanmartí, N., Márquez Bargalló, C., *Enseñar a plantear preguntas investigables*, Alambique Didáctica las Ciencias Exp. 27-36 (2012).

[17] Flores, J. S., Benegas, J., *Aprendizaje de circuitos eléctricos en el nivel polimodal: Resultados de distintas aproximaciones didácticas*, Enseñanza las Ciencias **26**, 245-256 (2008).

[18] Hilger, T. R. , Medeiros de Oliveira, A. M., Moreira, M. A., *Relación de los estudiantes en las clases experimentales de Física General con la Uve epistemológica de Gowin, en contraposición al informe tradicional*, Latin-American J. Phys. Educ. **5**, 256 (2011).

[19] Escudero, C., Moreira, M. A., *La V epistemológica aplicada a algunos enfoques en resolución de problemas*, Enseñanza las Ciencias. Rev. Investig. y Exp. Didácticas **17**, 61 (1999).

[20] Teodorescu, R., Bennhold, C., Feldman, G., *Enhancing cognitive development through physics problem solving: A taxonomy of introductory physics problems*, AIP Conf. Proc. **1064**, 203-206 (2008).