

# Progresividad en el aprendizaje de un campo conceptual. Una perspectiva para enseñar física relativista

*Progressivity in learning a conceptual field.  
A perspective for teaching relativistic physics*

**Gladys Gutiérrez**

[gladysg37@gmail.com](mailto:gladysg37@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-0886-2698>  
Teléfono: +598 99596556

**Elsy Urdaneta**

[elsy.urdaneta.d@gmail.com](mailto:elsy.urdaneta.d@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-7457>  
Teléfono: + 58 424 -7201248

**Hebert Lobo**

[hebertlobo.sosa@spart5.net](mailto:hebertlobo.sosa@spart5.net)  
<https://orcid.org/0000-0002-1435-207X>  
Teléfono: +1 (864) 612-3126

**Manuel Villarreal**

[mavu8473@gmail.com](mailto:mavu8473@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-3863-4856>  
Teléfono: + 55 53 9707-0605  
Universidad de Los Andes  
Núcleo Universitario de Trujillo "Rafael Rangel"  
Trujillo edo. Trujillo  
República Bolivariana de Venezuela



Recepción/Received: 18/06/2025  
Arbitraje/Sent to peers: 20/06/2025  
Aprobación/Approved: 22/07/2025  
Publicado/Published: 01/06/2025

## RESUMEN

En esta investigación se examinó la progresividad del aprendizaje en el campo conceptual física relativista para estudiantes en un programa de formación para docentes de educación media general, basado en la Teoría de los Campos Conceptuales. Es una investigación descriptiva explicativa desde la perspectiva cualitativa, que estudió en el aula de clase situaciones didácticas, procesos cognitivos, significados e interacciones y supuso nuevas interpretaciones. Se planeó, elaboró y ejecutó un curso presentado como Curso Libre para estudiantes de la Licenciatura en Educación mención Física y matemáticas. Se desarrolló la primera sesión para recrear los conceptos fundamentales de la física clásica desde la relatividad clásica. El estudio permitió demostrar que la lectura reflexiva, las preguntas y las respuestas acercan a los estudiantes al aprendizaje significativo crítico.

**Palabras clave:** progresividad del aprendizaje, campo conceptual, física relativista

## ABSTRACT

This work examined the progression of learning in the conceptual field of relativistic physics for students in a teacher training program for general secondary education, based on the Theory of Conceptual Fields. This was a descriptive, explanatory, and qualitative study that explored classroom teaching situations, cognitive processes, meanings, and interactions that led to new interpretations. A course was planned, developed, and executed, presented as a Free Course for students in the Bachelor of Education Curriculum. The first session was developed to recreate the fundamental concepts of classical physics from the perspective of classical relativity. It is demonstrated that reflective reading, questions, and answers bring students closer to critical meaningful learning.

**Keywords:** progression of learning, conceptual field, relativistic physics

## INTRODUCCIÓN

**E**ste trabajo forma parte de otro más extenso que promueve nuevos modos para afrontar el trabajo docente, orientados a que la formación inicial docente configure el espacio del futuro profesor para la innovación y la creatividad; significa hurgar en su futuro hacer, procurando apropiarlo de nuevas herramientas que complementen su práctica educativa y que procure resultados óptimos del trabajo en el aula de clase.

Durante mucho tiempo ha prevalecido el paradigma surgido desde las escuelas de ciencias puras, según el cual, basta con conocer el oficio para enseñarlo, haciendo de la práctica docente un oficio artesanal que se aprende por observación e imitación de lo que hacen los profesores de ciencias en ejercicio. La realidad permite observar que la mayoría de los estudiantes en un programa inicial de formación docente, en las escuelas de educación de las universidades, han elaborado a partir de sus experiencias escolares una imagen acerca de lo que significa enseñar ciencia, qué deben hacer los profesores de ciencia, cómo interpretar los problemas que se presentan con su enseñanza y su aprendizaje, en la mayoría de los casos de acuerdo al pensamiento docente de sus profesores.

En Física, el tema que nos ocupa, la práctica cotidiana ha demostrado que su enseñanza y aprendizaje se concibe como un proceso mecánico, identificado por clases en donde se copian definiciones y formulas sin conferirles los significados correspondientes, de modo que al enunciar leyes y principios no se relacionan entre sí y mucho menos se encuentren caminos para que se optimice este proceso. Parece que para los estudiantes el problema es pasar y para los profesores es cumplir con el programa. Flores (1994) explica que los profesores de ciencia enseñan como aprendieron, de modo que resultan repetitivos, transmisores de contenidos ya hechos y acabados, sin apropiarse de las formas del pensamiento científico, sin indagar por la verdad y mucho menos plantearse nuevas ideas para formular nuevos conceptos; esto conduce a preguntarse cómo aprenden los profesores, haciendo necesario revisar el conocimiento de los distintos aspectos de la física, el conocimiento de los procesos de su enseñanza aprendizaje y el conocimiento de la práctica docente en los procesos de formación inicial para docentes.

Corresponde a las universidades revisar en la realidad y plantearse búsquedas que propendan a cambios; así, debe ser su preocupación la formación inicial de docentes en Física, que logre que estos sean profesionales motivados a enseñar, apropiados de las formas de pensamiento científico, integrados a una perspectiva cultural que propenda a inspirar valores, que supere las actuaciones de una enseñanza rutinaria y reconozca la importancia que tienen los diversos elementos que influyen en todo el proceso. Es en las aulas de los docentes en formación en donde pueden iniciarse cambios sustanciales para ver y hacer ciencia y además enseñar cómo enseñarla.

En este trabajo se examinó y caracterizó la progresividad del aprendizaje en el campo conceptual mecánica relativista en diferentes fases del proceso de conceptualización para estudiantes en un programa de formación para docentes de educación media general, basado en la Teoría de los Campos Conceptuales (TCC) de Gerard Vergnaud. Esto representó acercarse a las concepciones y prácticas de profesores y la enseñabilidad de esos campos del saber, en tanto la capacidad para construir conocimientos de acuerdo a métodos y técnicas específicas, partiendo de preceptos problematizadores acerca de una realidad, sitúa las propuestas de enseñanza de acuerdo a las necesidades de aprender para así empoderar con un aprendizaje a lo largo de la vida.

La progresividad del aprendizaje supone que construir conocimiento es un acto individual, reflexivo y ordenado, que demanda del estudiante conciencia acerca de “qué estudia”, “por qué lo estudia” y “para qué lo estudia”; además de plantear reflexiones y preguntas que conducen a valorar la experiencia, evocando situaciones previas, comparando y captando significados para que inmersos en esa experiencia asuman nuevas conceptualizaciones y relaciones. Esa progresividad toma sentido cuando se ubica al estudiante en una situación de aprendizaje y se le presentan situaciones, tareas y actividades, para que paso a paso pueda ir construyendo los conceptos y sus relaciones. Esos pasos del proceso de construcción del conocimiento evidencian la progresividad del conocimiento expresado en niveles de conceptualización y apropiación del campo conceptual.

Lo anterior orientó a planear, elaborar y ejecutar un curso de mecánica relativista, presentado como Curso Libre de Física Relativista para estudiantes del Plan de Estudios de la Licenciatura en Educación del Núcleo Universitario Rafael Rangel de la Universidad de Los Andes, con una duración de 24 horas académicas. Este curso, en tanto experiencia educativa, pedagógica y didáctica, buscó promover el aprendizaje de los contenidos correspondientes a la evolución de la mecánica clásica a la mecánica relativista. Para ello se diseñaron un conjunto de situaciones de aprendizaje desde la perspectiva de la TCC integrando el desarrollo de habilidades, actitudes y conocimientos, a través de experiencias y tareas para el trabajo en el aula que motivaran a los estudiantes de formación inicial docente de física en la construcción de conceptos y sus relaciones para un aprendizaje significativo y crítico de esta parte de la física.

## LOS FUNDAMENTOS

### La Enseñanza Aprendizaje de la Física Relativista

La Física Relativista propuesta en el Programa de Física Moderna del Plan de Estudios de la Licenciatura en Educación Mención Física y Matemática considera contenidos que explican la evolución de la física clásica a la física relativista, incluye aquellos aspectos que se consideran necesarios para que un docente en formación alcance sus objetivos didácticos, a saber: (1) Interpretar las Transformaciones de Galileo. (2) Explicar el Principio Clásico de la Relatividad. (3) Demostrar la invariancia de los Conceptos de la Mecánica Clásica respecto a las Transformaciones de Galileo. (4) Deducir las Transformaciones de Lorentz. (5) Explicar la Teoría Especial de la Relatividad. (6) Explicar algunas consecuencias de la Teoría Especial de la Relatividad.

Enseñar y aprender física moderna significa abordar consideraciones que indican la poca importancia que se le ha dado a esta parte de la Física en su propio conocimiento y también en la prefiguración de una didáctica que referencie las oportunidades que tiene el cambio de conceptos de Newton a Einstein y que supone un cambio de paradigmas, generando nuevas necesidades en el modo de enseñar. Muchos de quienes enseñan física se ven reflejados en las imágenes que justifican su forma de hacer las cosas pensando que existen unos programas oficiales que están obligados a cumplir y que los alumnos son muy numerosos y poco interesados por los contenidos. Entonces, asumen que la única forma para enseñar es repetir lo que hicieron sus anteriores docentes, creyendo que la sociedad acepta esa cultura como la tarea de enseñar y que el contexto institucional lo favorece (horarios, organización docente, libros de texto, estructura de las aulas), de allí que debe asumirse con normalidad que quienes enseñan hacen lo que se espera que hagan, lo que se viene haciendo desde siempre, lo que han aprendido de otros y lo que el común supone saben hacer (Ventura, 2016).

La enseñanza de la física moderna presenta las mismas dificultades planteadas para la física básica hasta ahora, la circunstancia de la ausencia de intencionalidad curricular como parte efectiva

de los programas que conforman el currículo, plantean un panorama poco prometedor. En los procesos de formación inicial de docentes se observa como los procesos de enseñanza aprendizaje de la física relativista y la física cuántica que constituyen la física moderna plantean la necesidad de cambio de paradigmas, aquí la relación causa-efecto no es lo más importante; se requiere encontrar en la imaginación el soporte preciso para interpretar una situación física referida a varios observadores en distintas condiciones; ello en lugar de motivar a los estudiantes en formación inicial docente proyecta dificultades que deben ser estudiadas para su superación. Además, la abstracción como proceso mental para interpretar una matemática que explica las distintas relaciones entre los conceptos a estudiar exige nuevas formas para la práctica docente, pasar de lo repetitivo memorístico a la indagación, explicación, interpretación y construcción de las nuevas situaciones que se presentan.

En América Latina, por ejemplo, en Colombia, la enseñanza de la física moderna y contemporánea, presenta dificultades, ya que, en los salones de clase de la educación básica y media no se enseña la ciencia moderna (Muñoz, Ramos y Marmolejo, 2019). En relación a la enseñanza de la Teoría Especial de la Relatividad, a pesar de que estos tópicos de física moderna no se contemplan en la escuela media, es necesario en este nivel, no solo desde una perspectiva propedéutica, sino estos temas generan interés en los estudiantes (Salgado, Gavilanes y Muñoz, 2021). En nuestro país y en América Latina se enseña esta ciencia procurando repetir los procesos a partir de los cuales se elaboraron sus conceptos, principios y leyes fundamentales. Según Montañez y Vivas (2016), desde hace varios años el estudio de la Física como asignatura ha sido un obstáculo académico por el índice tan alto de pérdida y deserción en el Primer Semestre de la Universidad; la mayoría de los docentes considera como factor principal de este problema la mala preparación de los estudiantes en el área de matemáticas, la falta de prerrequisitos conceptuales en Física y que no se utilizan metodologías adecuadas para presentar los contenidos.

Un curso de física básica intenta explicar y analizar el comportamiento del mundo que nos rodea, cómo y por qué se mueven los cuerpos, cómo funcionan los distintos aparatos y dispositivos que utilizamos, cómo se enciende la luz al dar al interruptor, etc. Para ello necesita recurrir a representaciones idealizadas y simplificadas, a veces alejadas de la realidad o, por lo menos, de lo que se percibe como realidad; por ejemplo, cuando se habla de cuerpos que pueden moverse eternamente y nunca se paran, los alumnos saben que el cuerpo termina deteniéndose, lo que significa que la familiaridad del alumno con los problemas que trabaja, resulta una ventaja para el profesor por la fuente de ejemplos a utilizar.

De lo anterior se explica que las contradicciones y dudas que se presentan entre el mundo idealizado que presenta la ciencia y el mundo real que vive el estudiante se convierte en un elemento de motivación, más que en una dificultad. No obstante, usando experimentos y ejemplos sencillos han de reconocerse las variables que influyen en un determinado fenómeno físico. Asimismo, la resolución de problemas permite aplicar de manera independiente los distintos procedimientos a nuevos problemas, organizando sus propios procesos de aprendizaje.

Los estudios acerca de la práctica docente y la existencia de dificultades conceptuales en el aprendizaje de la física se han centrado en el estudio de las concepciones de los estudiantes sobre las fuerzas y el movimiento de los cuerpos, la electricidad y el calor, las ideas erróneas acerca del concepto energía y su uso deficiente, no diferenciar entre fuerza y energía, asociar la idea de fuerza a la de movimiento y no al cambio de movimiento, no interpretar la corriente eléctrica como un fluido material, no interpretar los fenómenos de la naturaleza como la interacción entre cuerpos o sistemas y no asumir la idea de conservación entre sistemas. Asimismo, la labor de los docentes en las escuelas, observados durante varios años en diversos grupos poblacionales de educadores, permite definir su pensamiento como tradicionalista, autoritario en la relación maestro-alumno,



repetitivo, memorístico, formalista en la metodología de enseñar y transmitir contenidos ya hechos y acabados que el alumno debe almacenar pasivamente, que no se han apropiado de las formas de pensamiento científico y ni siquiera dominan la ciencia que enseñan, principalmente porque no aprenden ciencia y mucho menos como enseñarla (Correa y Pérez, 2022).

Lo anterior orienta a pensar en un docente formado como un depósito de datos, como un almacén para transmitir desde su memoria contenidos procesados sin crear e innovar, ni integrarse a otras situaciones escolares y mucho menos a la vida cotidiana; los profesores deben comportarse como un intermediario facilitador socio pedagógico y dar clases conectados con su misión principal: la preparación de futuros profesores para la innovación, la crítica y la incorporación a un mundo cambiante obliga a repensarse.

## La Teoría de los Campos Conceptuales (TCC)

Esta investigación utilizó como referente teórico la TCC en tanto que hace posible moldear situaciones y problemas previamente presentados, diferenciar niveles de conceptualización de los estudiantes destacando como se integra el conocimiento con el que traen, pasando de la mención de elementos a la explicación de las relaciones entre ellos y sus posibles transformaciones. Se considera al profesor como un facilitador que provee oportunidades a los estudiantes para que desarrollen sus propios esquemas de acuerdo a situaciones que se presentan (Melean, Arrieta y Escalona, 2010; Catalán, Caballero y Moreira, 2010).

Gerard Vergnaud (1990) elaboró su TCC según la cual el conocimiento que posee todo individuo está organizado en campos cuyo dominio por parte del sujeto se logra en un extenso período de tiempo mediante la experiencia, la madurez y el aprendizaje, definiendo un campo conceptual como el conjunto formal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones conectadas unas a otras. Esta teoría provee los principios de base para el estudio de competencias complejas y permite conocer filiaciones y rupturas en la evolución del conocimiento, colocando la actividad del sujeto como eje central del aprendizaje y el desarrollo cognitivo (Moreira, 2002).

Vergnaud (2007) procura integrar dos propuestas que explican el desarrollo intelectual del individuo y los procesos cognitivos correspondientes; a partir de ellas y buscando que se complementen las propuestas presentadas por Piaget y Vygotsky se planteó nuevos desarrollos. Así plantea que el primer acto de mediación en la enseñanza es la elección de la situación a proponer a los alumnos; en la zona de desarrollo próximo existen filiaciones y rupturas, el profesor puede encontrar oportuno poner en juego la filiación y promover que el alumno pase de una situación a otra, próximas entre sí. Sin embargo, el profesor puede también considerar oportuno poner en juego la ruptura, de manera que provoque desequilibrio entre la situación a tratar y la competencia de los alumnos. El principio de adaptación de Piaget funciona muy bien aquí mientras que las ideas de desarrollo próximo de Vygotsky le orientan, delineando nuevos caminos para acoplar estos conceptos a la didáctica de modo de establecer las condiciones en las que el sujeto comprende los objetos y los fenómenos que le son nuevos.

Igualmente, explica Vergnaud (op. cit.) que un campo conceptual es un conjunto de situaciones, entendiendo las situaciones como una tarea, actividad en situación de aprendizaje o combinación de tareas, las que por su naturaleza y dificultades propias define el conjunto de sub tareas que se le corresponden; de ese modo, la dificultad de una tarea no es ni la suma ni el producto de la dificultad de las diferentes sub tareas, pero el fracaso de una sub tarea implica el fracaso global. Esta teoría es considerada como una psicología de los conceptos, así la primera entrada de un campo conceptual es la de las situaciones y la segunda entrada la de los conceptos y los teoremas. Vergnaud (1990) desarrolla la TCC privilegiando los modelos de conceptos matemáticos, particularmente: (1) De

las estructuras aditivas, conjunto de situaciones que requieren una o varias adiciones o sustracciones o una combinación de ellas; (2) De las estructuras multiplicativas que requieren una o varias multiplicaciones o divisiones o la combinación de ellas y, (3) De la lógica de clases que establece la comprensión de los conceptos de propiedad, característica, la inclusión, intersección, unión, complementario sobre las clases y las operaciones de conjunción, disyunción y de negación sobre las propiedades.

Además, la TCC desarrolla otras nociones fundamentales para su aplicación y desarrollo, estas son concepto y esquemas. Un concepto es, para esta teoría, una definición. Sin embargo, si se quiere su enseñanza y aprendizaje es necesario considerar la forma como ese concepto adquiere sentido, proceso que es esencial para la psicología, la didáctica y la historia de las ciencias. Todo concepto nuevo proporciona una respuesta teórica y/o práctica, dejando un papel determinante al lenguaje y al simbolismo en la conceptualización. Así, todo conocimiento racional es operatorio y distingue dos clases de situaciones: (1) Aquellas para las cuales el sujeto dispone en su repertorio de competencias necesarias para el tratamiento de una situación en un momento dado bajo ciertas circunstancias; (2) Aquellas para las cuales el sujeto no dispone de todas las competencias necesarias obligándolo, a un tiempo de reflexión y de exploración que lo conduce eventualmente al éxito o al fracaso.

Esquema es la organización invariante de la conducta para una clase de situación dada (Vergnaud, 1990); es en los esquemas en donde se encuentran los distintos elementos cognitivos que permiten a la acción del sujeto ser operatoria, estos se designan con la expresión concepto-en-acto y/o teorema-en-acto y a los conocimientos contenidos en los esquemas se les llama invariantes operatorias. Cuando el sujeto dispone de las competencias necesarias se observan, para una misma clase de situaciones, conductas automatizadas y organizadas por un esquema único. Cuando el sujeto no dispone de todas las competencias se observa una muestra sucesiva de esquemas, los cuales, para llegar a una solución buscada, deben ser acomodados, separados y re combinados en un proceso de descubrimientos. La significación de esquema se aplica más generalmente en aquellas situaciones en las que un sujeto tiene las competencias necesarias y menos en las que no las tiene y requiere intentar varias aproximaciones. Así que las conductas son estructuradas por los esquemas, tomados del repertorio de esquemas disponibles asociados a esa situación por la semejanza. A veces varios esquemas parecen posibles de solución a la situación, hasta que surge la solución más pertinente.

Entonces, los esquemas son la totalidad organizadora de la acción del sujeto para una clase de situaciones específicas que no se reconoce con frecuencia, compuesto de reglas de acción u anticipaciones que generan acciones con el fin de lograr un cierto objetivo, compuesto de invariantes operatorios (conceptos-en-acto, conocimientos-en-acto, teoremas-en-acto) y de inferencias. Los invariantes operatorios en tanto conocimientos de un esquema se presentan en tres tipos: (a) Del tipo “proposiciones” susceptibles de ser verdaderas o falsas, las teorías-en-acto son este tipo de proposiciones. (b) Del tipo “función proposicional” indispensables para la construcción de proposiciones, no son explicitados por los estudiantes, aunque son contruidos por ellos en la acción, son los conceptos-en-acto o las categorías-en-acto distinto de los teoremas-en-acto. (c) Del tipo “argumento” pueden ser objetos materiales, personajes, números, relaciones y proposiciones.

Los procesos cognitivos y las respuestas del sujeto son función de las situaciones a las cuales son confrontados. Las situaciones consideran dos ideas: (1) La variedad de situaciones en un campo conceptual dado, para generar un conjunto de clases posibles se estiman variables de situación, entonces exigen el análisis, la descomposición en elementos simples y la combinatoria de los posibles. (2) La historia, porque los conocimientos de los alumnos son modelados por las situaciones que han encontrado y dominado progresivamente, comenzando por aquellas que conducen a dar sentido a los conceptos y a los procedimientos que se les quiere enseñar. Buscar situaciones compuestas de

varias relaciones es reconocer que toda situación puede ser reducida a una combinación de relaciones con datos conocidos y desconocidos que corresponden a otras tantas situaciones posibles.

Otro fundamento importante para la TCC son los significantes y significados. Vergnaud (1990) explica que la operacionalidad de un concepto se refiere a la forma en que un concepto se manifiesta y se aplica en la resolución de situaciones y problemas, examinando la variedad de conductas y de esquemas para comprender lo cognitivo de tal concepto; además la definición pragmática de un concepto pone en juego el conjunto de situaciones que constituyen la referencia de sus propiedades y el conjunto de los esquemas presentados por los sujetos en esas situaciones. En la conceptualización de lo real, la acción operatoria no lo es todo, el uso de significantes explícitos es indispensable para la conceptualización, se dice entonces que un concepto es una triplete de conjuntos  $C(S, I, \Gamma)$  siendo  $S$  el conjunto de situaciones que dan sentido al concepto, representa la referencia;  $I$  el conjunto de invariantes sobre las cuales reposa la operacionalidad de los esquemas, representa el significado;  $\Gamma$  es el significante o conjunto de las formas lingüísticas que permiten representar simbólicamente el concepto, sus propiedades, las situaciones y los procedimientos. Así, considerar estos tres planos simultáneamente es estudiar un concepto.

Sigue Vergnaud (1990) explicando que son las situaciones las que dan sentido a los conceptos matemáticos, pero el sentido no está en las situaciones mismas, ni en las palabras y los símbolos; el sentido es una relación del sujeto con las situaciones y con los significantes, por ejemplo, el sentido de la adición para un sujeto individual es el conjunto de esquemas que puede poner en obra para tratar las situaciones a las cuales el sujeto confronta e implican la idea de adición. Por otra parte, una situación dada o un simbolismo no evoca en un individuo todos los esquemas disponibles, cuando se dice que una palabra tiene tal sentido se reenvía a un subconjunto de esquemas, operando de este modo una restricción en el conjunto de los esquemas posibles. La función de los significantes en el pensamiento y la naturaleza de los esquemas obligan a un trabajo teórico y empírico indispensable para clarificar la función del lenguaje y de los restantes significantes; así, el lenguaje ayuda a la designación y a la identificación de los invariantes, ya sean objetos, propiedades, relaciones, teoremas, así como al razonamiento, la inferencia y a la anticipación de los efectos y de los fines en la planificación y control de la acción.

## Elementos importantes para la aplicación de la TCC

La TCC para su aplicación se asocia a algunos conceptos fundamentales. En primer lugar, los conceptos del aprendizaje significativo, en tanto proceso según el cual se relaciona un nuevo conocimiento o información con la estructura cognitiva del que aprende de forma no arbitraria y sustantiva o no literal (Ausubel, 1976). Explica el autor, que el aprendizaje significativo se da cuando los nuevos conocimientos se incorporan en forma sustantiva en la estructura cognitiva del aprendiz, en tanto el estudiante relaciona los nuevos conocimientos con los anteriormente adquiridos y se interesa por aprender lo que se le está mostrando. Este aprendizaje produce una retención más duradera de la información, facilita el adquirir nuevos conocimientos relacionados con los anteriormente adquiridos, guarda en la memoria a largo plazo la nueva información y la relaciona con la anterior, haciendo uso de los recursos cognitivos del estudiante. Así, para su logro es necesario tender un puente cognitivo entre un nuevo concepto y alguna idea ya existente en la mente del estudiante, este puente cognitivo o esquema previo reside en una o varias ideas que se presentan antes que los materiales de aprendizaje se presenten para facilitar su asimilación.

En segundo lugar, se recurrió a la visión humanista del aprendizaje significativo de Joseph Novak (1998) que explica que el aprendizaje significativo es subyacente a la integración constructiva

de pensamientos, sentimientos y acciones conduciendo al engrandecimiento humano. Desarrolla principios fundamentales como: (a) Todo evento implica cinco elementos: aprendiz, profesor, conocimiento, contexto y evaluación. (b) Pensamientos, sentimientos y acciones están interrelacionados positiva o negativamente. (c) El aprendizaje significativo requiere disposición para aprender, materiales potencialmente significativos y algún conocimiento relevante; la enseñanza debe ser planeada propiciando experiencias afectivas positivas. (d) La evaluación del aprendizaje debe buscar evidencias del aprendizaje significativo. (e) Los mapas conceptuales pueden ser representaciones válidas de la estructura conceptual/proposicional del conocimiento de un individuo y pueden ser instrumentos de meta aprendizaje.

En tercer lugar, se asoció la TCC al modelo de Gowin, la visión interaccionista-social del aprendizaje significativo fundado en el intercambio y captación de significados estableciendo una relación triádica profesor-materiales educativos-alumno de tal modo que una situación de aprendizaje se caracteriza por compartir significados entre alumno y profesor respecto de conocimientos vehiculados por los materiales educativos del currículo, resumiendo que “la enseñanza se consume cuando el significado del material que el alumno capta es el significado que el profesor pretende que ese material tenga para el alumno” (Gowin, 1981, p.81).

Finalmente, Moreira toma de Postman y Weingartner (1969) el concepto de aprendizaje subversivo crítico como la perspectiva que permite al sujeto formar parte de su cultura y al mismo tiempo estar fuera de ella; una perspectiva antropológica, en relación a las actividades de su grupo social, que permite al individuo participar de tales actividades, pero al mismo tiempo, reconocer cuando la realidad se está alejando tanto que ya no se está captando por parte del grupo. Moreira, en 2005, desarrolla la teoría del Aprendizaje Significativo Crítico, explica que Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel es una teoría cognitivista constructivista de aprendizaje, no es una teoría aislada y superada

El aprendizaje significativo crítico (Moreira, 2006) refiere a cómo el estudiante podrá lidiar de forma constructiva con el cambio sin dejarse dominar, manejar la información sin sentirse impotente frente a su gran disponibilidad y velocidad de flujo, beneficiarse y desarrollar la tecnología, podrá trabajar con la incertidumbre, la relatividad, la no causalidad, la probabilidad, la no dicotomización de las diferencias reconociendo que el conocimiento es construcción o invención. Para facilitar un aprendizaje significativo crítico, precisa que: es necesario considerar que se aprende de lo que ya se sabe; se aprende y se enseña con preguntas en lugar de respuestas; utilizar distintos materiales educativos; el lenguaje está totalmente involucrado en todos los intentos humanos de percibir la realidad; que estudiantes y profesores son perceptores y representantes del mundo; que se aprende del significado que está en las personas y no en las palabras, corrigiendo sus errores, las preguntas son instrumentos de percepción y que las definiciones y las metáforas son instrumentos para pensar, utilizando diversas estrategias y fundamentalmente que repetir la narrativa de otra persona no estimula la comprensión.

## LA DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

En esta investigación se estudiaron en el aula de clase situaciones didácticas, procesos cognitivos, significados de textos, de acciones y de interacciones que supuso elaborar interpretaciones; los datos de interés se recogieron en forma directa de la realidad. El diseño de la investigación, para lograr los objetivos propuestos, fue emergente y flexible, se fue nutriendo y ampliando con las informaciones que arrojó la realidad; modificándose en un proceso de saturación empírica y teórica propia del enfoque de la Teoría Fundamentada utilizado en este estudio. La Teoría Fundamentada, en tanto perspectiva interpretativa, documental y explicativa, permitió utilizar recursos didácticos



hasta elaborar proposiciones teóricas acerca de la conceptualización y de la progresividad del conocimiento.

Para caracterizar la progresividad del aprendizaje en el campo conceptual física relativista en diferentes fases del proceso de enseñanza aprendizaje de estudiantes en un programa de formación para docentes de educación media general, se planeó, diseñó y ejecutó un Curso Libre de Física relativista (CLFR). Se hizo necesario, en primer lugar, describir las creencias que profesores y estudiantes de las escuelas de formación docente tienen acerca de la enseñanza aprendizaje ese campo conceptual; en segundo lugar, identificar los invariantes operatorios en cuanto a conocimientos iniciales (esquemas e ideas previas) de física relativista de los estudiantes participantes.

Estas dos consideraciones previas no se expalan en este documento por razones de espacio. No obstante, se enuncian algunas premisas importantes para comprender el CLFR para estudiantes del Plan de Estudios de la Licenciatura en Educación.

1. La enseñanza de la física relativista requiere propósitos de articulación en distintos contextos geográficos e institucionales con estrategias diversas para su desarrollo, buscando integrar diversas realidades mediante intercambios institucionales para enfrentar para superar cambios de visión y romper paradigmas ya establecidos. Reflexionar acerca de un enfoque para enseñar física relativista debe partir del entendimiento de que el aprendizaje es una interacción dentro de un todo que puede ser el aula de clase, la escuela o el sistema educativo, en donde intervienen efectivamente profesor-estudiante-contenidos-entorno-fines.
2. El profesor reconoce que cuando se desarrolla un curso ordenado según un propósito didáctico, el trabajo en el aula se planifica y se prepara para hacer posible, en los estudiantes, actividades como repensar, reflexionar y reconstruir el conocimiento que no se aprendió hasta ese momento; adapta las actividades de aprendizaje a sus necesidades revisando y evaluando lo trabajado para ajustar la progresión de los aprendizajes, procurando lograr el aprendizaje significativo. Para ello, elabora material como herramienta didáctica ajustado al nivel de los estudiantes y que responda a las posibles lagunas que él posee para que a partir de los conocimientos se relacionen mediante análisis, síntesis y reflexión subjetiva transformen esas imágenes, símbolos y esquemas que ya tienen, de modo que esos nuevos significados confieran sentido propio a conceptos y relaciones en forma proposicional u operacional, determinado un nuevo conocimiento.
3. Las tareas en el aula de clase deben ir desde los conceptos básicos ya conocidos, hasta sus transformaciones y aplicaciones en el contexto de la relatividad; esto es un proceso de construcción y reconstrucción en un aprendizaje mediado por relaciones intersubjetivas y mentales facilitadas por el docente. Las diversas estrategias conocidas y bien utilizadas intervienen favorablemente en los procesos de enseñanza de la física relativista y de la ciencia, las secuencias de aprendizaje son herramientas útiles para enseñar un determinado campo conceptual. Se aprende física relativista mediante procedimientos complejos, leyendo, releando, contrastando ideas preconcebidas con nuevas racionalidades, reconociendo diferencias entre lo aprendido y lo novedoso, superando lo que a simple vista aparenta explicar fenómenos físicos y abordando otras maneras de entender sus conceptos básicos.
4. Enseñar física relativista conduce a búsquedas, es hacer uso de la imaginación y la creatividad para ilustrar e interpretar sus principios y postulados y favorecer el aprendizaje; es también utilizar experimentos imaginarios reconociendo que cada estudiante tiene una manera de comprender y aprender, es necesario descubrir lo que despierte el interés en ellos. Los estudiantes aprenden cuando se utilizan diversas estrategias como herramientas didácticas, para conmover su pensamiento y facilitar mediante reflexiones y contrastes la comprensión de los conceptos,

sus relaciones y aplicaciones, que se les presentan. En este proceso los estudiantes van paso a paso de lo simple a lo complejo, ayudándose con las herramientas didácticas del material que proporciona el profesor. Esas actividades adquieren sentido cuando el estudiante por voluntad propia opera y reflexiona ante esa situación, encontrando significados para él, de modo que actúan como disparadores en la mente del estudiante para deconstruir y construir conceptos, desarrollando, así, nuevas experiencias y prácticas que pueden convertirse en aprendizajes significativos.

5. Los invariantes operatorios son los conocimientos que sobre física relativista tienen los estudiantes que cursaran un curso de física relativista, son sus conocimientos previos los que le permitirán abordar el estudio de la mecánica relativista para desarrollar aprendizaje significativo. Se denotan algunas como: posición de una partícula, sistema de coordenadas de Galileo, velocidad relativa, tiempo absoluto, espacio absoluto, corriente inducida e inducción electromagnética, la relación inducción electromagnética y el movimiento de un imán dentro de un solenoide. Solo identifican o no contestan nada acerca de la descripción espacial de un suceso, desplazamiento, la Segunda Ley de Newton expresada según la rapidez de cambio del momento lineal de una partícula. Lo anterior orientó a iniciar el CLFR incorporando la relatividad en Física Clásica para recrear y reforzar sus conceptos fundamentales.

## Sobre el CLFR

Se planeó, elaboró y ejecutó un curso de física relativista, presentado como Curso Libre de Física Relativista para estudiantes del Plan de Estudios de la Licenciatura en Educación. Este curso buscó promover el aprendizaje significativo crítico de los contenidos correspondientes a la evolución de la física clásica a la física relativista, para ello se diseñaron un conjunto de situaciones de aprendizaje desde la perspectiva de la TCC integrando el desarrollo de habilidades, actitudes y conocimientos, a través de experiencias y tareas para el trabajo en el aula que motivaran a los estudiantes de formación inicial docente en la construcción de conceptos y sus relaciones.

El CLFR se fundó en las siguientes premisas: (1) La formación docente en un área como la Física es una tarea compleja que no sólo requiere de su aprendizaje sino de disponer del manejo de los procesos de aprendizaje y un marco referencial e interpretativo de estrategias específicas que orienten la práctica en el aula. (2) La enseñanza sólo puede mejorarse cuando el profesor logra articular sus saberes con los problemas que enfrenta en el aula, reflexionando acerca de sus conocimientos y como compartirlos en su práctica profesional, no siempre los docentes son enseñados para enseñar, en la mayoría de los casos tienden a enfrentar los retos que se les presentan reproduciendo lo que hicieron como estudiantes. (3) El CLFR busca promover el aprendizaje de los contenidos correspondientes a la física relativista, en el marco de una investigación de largo alcance que espera determinar los niveles de conceptualización y caracterizar la progresividad del aprendizaje de los elementos fundamentales del campo conceptual física relativista en los estudiantes en la escuela de formación para docentes. (4) Se diseñaron un conjunto de situaciones de aprendizaje desde la perspectiva de la TCC que integra el desarrollo de habilidades, actitudes y conocimientos, a través de experiencias y tareas complejas para el trabajo en el aula que inspiren en estudiantes de formación inicial docente en la construcción de conceptos y sus relaciones para un aprendizaje significativo y crítico de esta parte de la física.

Se desarrolló el siguiente contenido en las sesiones correspondientes:

1. La relatividad en física clásica: sistemas de referencia. el principio clásico de la relatividad: las transformaciones de Galileo, la invariancia de las leyes de la mecánica clásica respecto a las

transformaciones de Galileo: las leyes de Newton de la conservación del momento y de la energía

2. El inicio de la física relativista: el experimento de Michelson Morley, las transformaciones de Lorentz y la composición de velocidades de Lorentz.
3. La física relativista: consecuencias de las transformaciones de Lorentz y la teoría especial de la relatividad.
4. De la mecánica clásica a la mecánica relativista: reevaluar los conceptos de la mecánica clásica a partir de la Teoría Especial de la Relatividad (TER).

Los Objetivos Didácticos del Curso fueron:

1. **Objetivo General:** Comprender que la física está en constante evolución, que sus principios sufren cambios, avances y modificaciones; en consecuencia, su aprendizaje debe ser un proceso dinámico que requiere de distintas actitudes abiertas a diversas opciones y herramientas.
2. **Objetivos Específicos:** (1) Interpretar las transformaciones de Galileo. (2) Explicar el principio clásico de la relatividad. (3) Demostrar la invariancia de los conceptos de la mecánica clásica respecto a las transformaciones de Galileo. (4) Describir el experimento de Michelson Morley. (5) Deducir las transformaciones de Lorentz. (6) Verificar el experimento de Michelson Morley para las transformaciones de Lorentz. (7) Analizar las consecuencias de las transformaciones de Lorentz. (8) Interpretar el experimento de Michelson Morley en referencia a las transformaciones de Lorentz. (9) Explicar la Teoría Especial de la Relatividad. (10) Reevaluar los conceptos de la mecánica clásica a partir de la TER.

Las estrategias utilizadas alinearon la intencionalidad del curso a desarrollar en cuatro sesiones de trabajo con el propósito del logro de los objetivos; para ello se preparó un material específico, para cada sesión, que muestra el título, contenidos, objetivos didácticos, actividades, procesos técnicos, recursos y evaluación respectivamente. Se delinea toda la actividad asumiendo tres premisas de actuación, a saber: (1) La profesora actúa como mediadora en el proceso y provee ayuda pedagógica; (2) El estudiante, con su motivación y conocimientos previos, interaccionará con sus pares en contexto, además la lectura dirigida como herramienta de enseñanza permitirá al estudiante reflexiones que, con las preguntas intercaladas, orientara la construcción de nuevos aprendizajes; y (3) El contenido de lo que se aprende, desarrollado en los materiales, se organiza para cada proceso según las situaciones de aprendizaje. Todo ello para propiciar una integración profesor-estudiante-contenidos que orienta el acto pedagógico en tanto experiencia compartida para construir y reconstruir conocimientos. Se utilizan distintas estrategias para el logro del aprendizaje significativo procurando el descubrimiento guiado y autónomo desde síntesis y textos con información y videos, planteando preguntas intercaladas, mapas y redes conceptuales de acuerdo al contenido en las diversas situaciones de aprendizaje.

### Sobre las situaciones de aprendizaje y las tareas de los estudiantes

Por razones de espacio sólo se presentan, lo correspondiente a la primera sesión de trabajo. En la Tabla 1 se muestra el plan de trabajo elaborado para la primera sesión de trabajo del CLFR.

En esta sesión titulada “La Relatividad en Física Clásica”, como se observa en la Tabla 1, se abordaron los siguientes aspectos: sistemas de referencia, el principio clásico de la relatividad, las transformaciones de Galileo y la invariancia de las leyes de la mecánica clásica respecto a las transformaciones de Galileo (las leyes de Newton, de la conservación del momento y de la energía).

**Tabla 1.** Primera sesión de trabajo del CLFR

| LA RELATIVIDAD EN FÍSICA CLÁSICA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                               |                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>CONTENIDO:</b> Sistemas de referencia. El Principio Clásico de La Relatividad: Las Transformaciones de Galileo, La Invariancia de las Leyes de la Mecánica Clásica respecto a las Transformaciones de Galileo: Las Leyes de Newton, de la Conservación del Momento y de la Energía.                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                               |                                                                                                |
| <b>OBJETIVOS DIDÁCTICOS:</b> con esta sesión el docente en formación inicial debe: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar distintos sistemas de referencia.</li> <li>2. Deducir las transformaciones de Galileo</li> <li>3. Explicar el Principio Clásico de la Relatividad.</li> <li>4. Demostrar la invariancia de las leyes de la mecánica clásica para las transformaciones de Galileo: Leyes de Newton, conservación del momento y conservación de la energía.</li> </ol> |                                                                                                               |                                                                                                |
| ACTIVIDADES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | PROCESOS TÉCNICOS                                                                                             | RECURSOS                                                                                       |
| 1. Lee el texto titulado “La relatividad en Física Clásica” para la construcción de conceptos y sus relaciones en cada uno de los objetivos didácticos planteados<br>2. Elabora un mapa conceptual que muestre los conceptos y sus relaciones de Sistemas de Referencia, Transformaciones de Galileo, Principio Clásico de la Relatividad y la Invariancia de las Leyes de la Mecánica Clásica respecto a las Transformaciones de Galileo.                                                    | <b>MÉTODO</b><br>Inductivo deductivo<br><br><b>ESTRATEGIA</b><br>1. Lectura Dirigida<br>2. Pregunta Respuesta | Cuaderno de Notas<br>Bolígrafo<br>Pauta de estudio:<br><b>La Relatividad en Física Clásica</b> |
| <b>EVALUACIÓN:</b><br>Mapas conceptuales de cada estudiante después del desarrollo de la sesión que integre lo desarrollado en el mapa con la experiencia y las reflexiones al leer, preguntarse y responder para evaluar la progresividad del conocimiento en los distintos niveles de conceptualización.                                                                                                                                                                                    |                                                                                                               |                                                                                                |

Fuente: elaborado por Gladys Gutiérrez

Aquí se presenta la llamada pauta de estudio, nombrada **La Relatividad en la Física Clásica**, la que se fundamenta en la invariabilidad de las leyes y principios fundamentales de la Física Clásica.

## Las Transformaciones de Galileo

Se sabe que, si se construye una escala unidad y se toman dos puntos de un cuerpo rígido, es posible medir una longitud, si llamamos A al primer punto y vamos llevando tantas veces el segmento S (escala unidad) hasta llegar el punto B, el número de repeticiones de S es la medida de AB. Esto indica que es posible imaginar un suceso y referir ese suceso a cierto cuerpo rígido.

Lo anterior indica que si se quiere dar una descripción espacial de un suceso o un objeto se especifica el punto de un cuerpo que se llama CUERPO DE REFERENCIA con el cual coincide el objeto o suceso.

Si por ejemplo, se supone a la compañera María en la Plaza Bolívar de Trujillo el suelo terrestre de la Plaza es el cuerpo rígido y puntualiza el lugar donde se encuentra María; si flota un globo sobre su cabeza basta con suponer un palo vertical desde el suelo que toca María hasta el globo, de modo que la longitud del palo completa la localización de María. ¿Puedes imaginarlo? **Dibújalo y explícalo.**

Entonces para la descripción de lugares nos independizamos de puntos notables y designamos direcciones definidas con números estableciendo lo que se conoce como SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS. Recordemos que un sistema de coordenadas cartesianas simula tres paredes rígidas planas perpendiculares entre sí y ligadas a un cuerpo rígido, veamos por ejemplo un estudiante sentado en un pupitre ubicado en el salón de clases, el salón es un sistema coordinado. ¿Puedes hacerlo? Dibújalo.



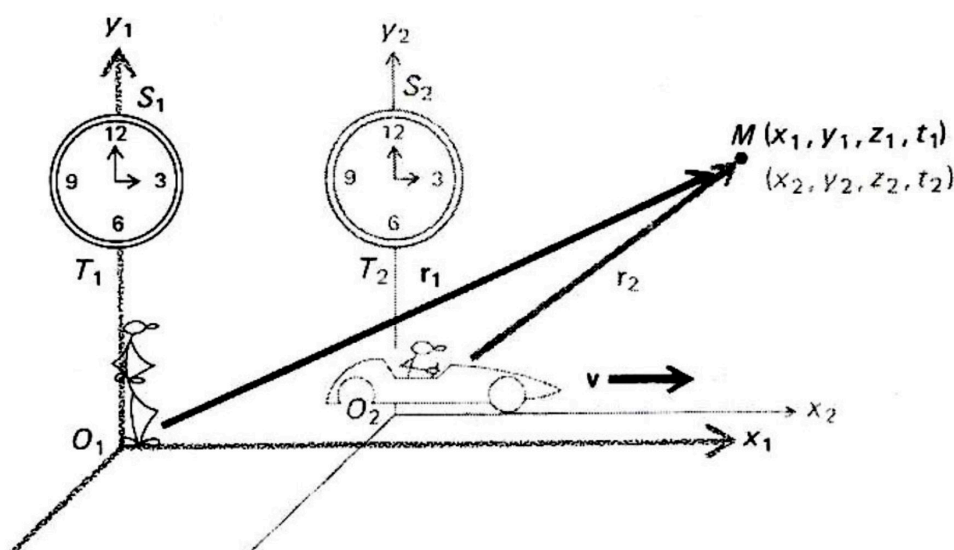
Así se puede generalizar que toda descripción espacial de un suceso se sirve de un cuerpo rígido para referirlos espacialmente y puede decirse que el mundo natural es una colección de eventos y objetos contenidos en un espacio tridimensional.

Ahora bien, el objeto de la mecánica clásica estudiada hasta ahora describe y explica el movimiento de un cuerpo especificando la posición de cada partícula de ese cuerpo para cada punto en la trayectoria de ese movimiento, especificando el espacio que ocupa y el tiempo en cada posición. *Imagina que vas en un autobús que se mueve uniformemente y estás asomado a una ventana, si dejas caer una piedra desde la ventana ¿cómo cae la piedra? Si un hombre observa desde la orilla de la carretera, ¿cómo ve que cae la piedra?, ¿qué conclusiones puedes extraer?, ¿las posiciones que recorre la piedra están sobre una recta o sobre una parábola?, ¿a qué sistema de referencia asocias ese movimiento?, ¿cómo interpretas la frase: un movimiento respecto a un cuerpo o sistema de referencia? Escribe tu respuesta:*

Además, si se dice que estudiar el movimiento de la piedra es revisar la variación de su posición respecto al tiempo y se dice que tú que estas asomado por la ventana tienes un reloj y el hombre que está en la orilla de la carretera tiene su reloj entonces cada uno puede verificar lo marcado por su reloj en cada instante en la trayectoria de la piedra. *¿Cómo esperas que sean los tiempos medidos?, ¿qué te dice el sentido común? Explícalo.*

Al revisar lo planteado anteriormente se tiene claro que se está hablando de dos observadores ubicados en distintos sistemas de referencia que pueden estar en movimiento uno en relación a otro. ¿Qué concluyes en relación a la apariencia que presenta la naturaleza de un observador y su relación con la apariencia que presenta la naturaleza al otro observador que está moviéndose respecto al primero? *¿Puedes responderlo? Hazlo.*

En la Fig. 1 se muestran los sistemas de referencia  $S_1$  en donde se ubica un observador  $O_1$  que está en reposo y  $S_2$  en donde se ubica el observador  $O_2$  que va en el automóvil y se mueve con una velocidad constante  $V$  en dirección paralela a la dirección en  $x$ , además ambos sistemas son paralelos. Asimismo, se observa que los relojes en  $S_1$  y  $S_2$  viajan a la misma velocidad y están sincronizados para marcar  $t=0$  cuando los orígenes de los dos sistemas coinciden de modo que el tiempo  $t_1$  y  $t_2$  en ambos sistemas de referencia son los mismos e iguales a  $t$ .



**Fig. 1.** Un pájaro en  $M$  moviéndose en el espacio y tiempo, desde un sistema estacionario  $S_1$  y desde un sistema  $S_2$  que se mueve con una velocidad  $V$  respecto a  $S_1$

Fuente: Tomado de Acosta V., Cowan C., & Graham B. (2000)

Si un pájaro vuela en el punto M es observado desde  $S_1$  y  $S_2$ , si ese evento ocurre en el tiempo  $t$  leído en los relojes, se dice que:

La posición de M respecto a  $S_1$  es  $\vec{r}_1 = x_1\hat{i} + y_1\hat{j} + z_1\hat{k}$  (a)

La posición de M respecto a  $S_2$  es  $\vec{r}_2 = x_2\hat{i} + y_2\hat{j} + z_2\hat{k}$  (b)

Del mismo modo se observa en la misma figura que la posición de M respecto a  $S_1$  es también  $\vec{r}_1 = (O_1O_2)\hat{i} + \vec{r}_2$  ecuación (1) siendo  $(O_1O_2)$  la distancia en la dirección  $x$  desde el origen de  $S_1$  hasta el origen de  $S_2$  en el tiempo  $t$  del evento.

Como los relojes partieron de  $t=0$  a  $t$  cuando ambos sistemas coincidían en el origen se sabe entonces que  $(O_1O_2) = V \cdot t$  y por tanto la ecuación  $\vec{r}_1 = (O_1O_2)\hat{i} + \vec{r}_2$  (1) queda  $\vec{r}_1 = V \cdot t \hat{i} + \vec{r}_2$  (2)

Si se sustituye (a) y (b) en (2)

$$x_1\hat{i} + y_1\hat{j} + z_1\hat{k} = V \cdot t \hat{i} + x_2\hat{i} + y_2\hat{j} + z_2\hat{k} = (V \cdot t + x_2)\hat{i} + y_2\hat{j} + z_2\hat{k}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 = V \cdot t + x_2 \\ y_1 = y_2 \\ z_1 = z_2 \end{array} \right\} \text{ de donde se surgen } x_1 = V \cdot t + x_2 \text{ (3)}$$

Las Transformaciones de Galileo  $y_1 = y_2$  explica como el observador en  $z_1 = z_2$   $S_1$  relaciona las coordenadas de M en  $S_2$

*Así como se dedujo la relación entre las coordenadas del vuelo del pájaro en M vistas por  $O_1$  desde  $S_1$ , si el observador  $O_2$  en  $S_2$  quiere relacionar las coordenadas en su marco de referencia, ¿puedes deducirla? Deduce la relación entre las coordenadas del vuelo del pájaro en M vistas desde  $O_2$  desde  $S_2$ . Escribe tu respuesta.*

Avanzando en la descripción del movimiento en relación a ambos observadores, si el pájaro en M se mueve alejándose de ese punto en el tiempo  $t$  se puede proceder así:

La velocidad de M respecto a  $S_1$  es  $\vec{V}_1 = \frac{d\vec{r}_1}{dt}$  (c)

La velocidad de M respecto a  $S_2$  es  $\vec{V}_2 = \frac{d\vec{r}_2}{dt}$  (d)

Si se sustituye (a) en (c) resulta que  $\vec{V}_1 = \frac{d(x_1\hat{i} + y_1\hat{j} + z_1\hat{k})}{dt}$  (e)

Si se sustituye (b) en (d) resulta que  $\vec{V}_2 = \frac{d(x_2\hat{i} + y_2\hat{j} + z_2\hat{k})}{dt}$  (f)

Y si recordamos que  $\vec{r}_1 = (V \cdot t)\hat{i} + \vec{r}_2$  (2) entonces  $\frac{d\vec{r}_1}{dt} = \frac{d(V \cdot t \hat{i})}{dt} + \frac{d\vec{r}_2}{dt}$

Y sustituyendo (e) y (f) queda  $\vec{V}_1 = V\hat{i} + \vec{V}_2$  de modo general se llama

La Composición Clásica o Galileana de Velocidades  $\{ \vec{V}_1 = \vec{V} + \vec{V}_2 \}$  (4) es la velocidad de M vista por  $O_1$  desde  $S_1$

*Si el observador  $O_2$  en  $S_2$  quiere relacionar las velocidades en su marco de referencia ¿puedes deducir la velocidad de M vista por  $O_2$  desde  $S_2$ , escribe la respuesta?*

He aquí el concepto de RELATIVIDAD como la apariencia que presenta la naturaleza a un observador y su relación con la apariencia que presenta la naturaleza a otro observador que puede estar en movimiento con respecto al primero. Se habla, entonces, del principio de relatividad clásico o relatividad de Galileo que establece que dos sistemas de referencia en movimiento relativo de traslación rectilínea uniforme son equivalentes y las leyes de la mecánica son las mismas; asimismo se dice que los observadores inerciales, son aquellos en reposo con respecto a un marco inercial y en consecuencia marcos inerciales son aquellos que se mueven unos en relación a otros con velocidad constante. En el ejemplo anterior,  $O_1$  al ser observado por  $O_2$  parece que se mueve con la velocidad  $V$ .

## Invariancia en relación a las transformaciones de Galileo

### 1. La aceleración es invariante respecto a una transformación Galileana

Si tomamos la Composición Galileana de Velocidades y derivamos  $\vec{V}_1 = \vec{V} + \vec{V}_2$  entonces  $\frac{d\vec{V}_1}{dt} = \frac{d\vec{V}}{dt} + \frac{d\vec{V}_2}{dt}$  como  $\vec{V}$  es constante queda  $\frac{d\vec{V}_1}{dt} = 0 + \frac{d\vec{V}_2}{dt}$  o  $\frac{d\vec{V}_1}{dt} = \frac{d\vec{V}_2}{dt}$  lo que significa que  $\{\vec{a}_1 = \vec{a}_2\}$  las aceleraciones son iguales vistas desde ambos marcos de referencia.

*¿Se interpreta entonces que la aceleración es una invariante? Si se dice que la masa es una invariante ¿cómo es la Fuerza resultante que se supone produce el movimiento?, ¿qué puedes decir de la Segunda Ley de Newton respecto a una transformación galileana? Escribe tú respuesta.*

### 2. Las leyes de Newton son invariantes respecto a una transformación Galileana

Ya se demostró la invariancia de la aceleración respecto a una transformación galileana y consecuentemente debiste concluir que  $\vec{F} = m \vec{a}$  es también invariante. Esto significa que la segunda ley de la mecánica de Newton es invariante para todos los marcos inerciales que se mueven los unos con respecto a los otros con velocidad constante y en consecuencia la aceleración de un cuerpo o partícula observada desde un sistema en reposo es igual a la aceleración observada desde un sistema que se mueve con velocidad constante respecto del primero.

Recordemos que “un cuerpo suficientemente alejado de otro cuerpo persiste en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme”, enunciado que representa la ley de la inercia, que explica como el estado de reposo y de movimiento rectilíneo y uniforme de los cuerpos no difiere respecto a un observador en reposo; esto indica que no existe un solo observador en reposo, sino que pueden existir  $n$  observadores en reposo respecto del cual se observa el movimiento.

Se infiere entonces que “todo sistema de coordenadas cuyo estado de movimiento es tal que con relación a él es válida la ley de la inercia se llama Sistema de Coordenadas de Galileo y en consecuencia las Leyes de la Mecánica de Galileo-Newton sólo tienen validez para sistemas de Coordenadas de Galileo”. *Al interpretar lo anterior ¿qué puedes inferir acerca de lo que se conoce como relatividad clásica? Explica.*

## La Ley de Conservación del Momento Lineal es invariante respecto a una Transformación Galileana

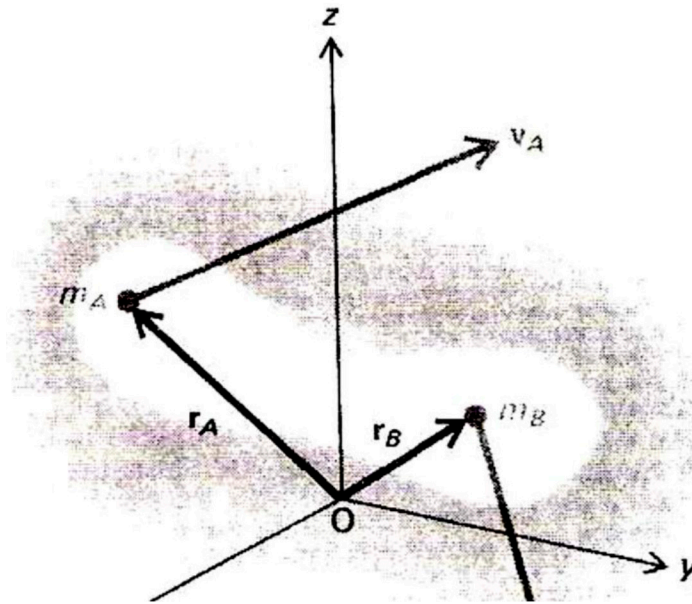
Recuérdese que el momento lineal de una partícula de masa inercial  $m$  que se mueve con velocidad  $\mathbf{V}$  es  $\vec{p} = m \vec{V}$  (5) ó  $\vec{p} = m (V_x \hat{i} + V_y \hat{j} + V_z \hat{k})$  (6)

Asimismo, se sabe que para un sistema aislado de partículas el momento lineal total del sistema permanece constante, esto es el Principio de Conservación del Momento Lineal. Si se tienen dos

partículas A y B de masas  $m_A$  y  $m_B$  en una interacción como la que se muestra en la Fig. 2 que interaccionan aisladamente, se tienen que:  $\vec{p}_A = m_A \vec{V}_A$  y  $\vec{p}_B = m_B \vec{V}_B$

Según el Principio de Conservación del Momento Lineal  $\vec{p}_A + \vec{p}_B = \text{constante}$  (7)

Si se deriva respecto al tiempo se encuentra que  $m_A \frac{d\vec{V}_A}{dt} + m_B \frac{d\vec{V}_B}{dt} = \frac{d(\text{constante})}{dt} = 0$  por lo tanto  $m_A \vec{a}_A = m_B \vec{a}_B$  (8) explica que dos partículas interaccionan entre si cuando cada una de ellas ejerce una fuerza sobre la otra



**Fig. 2.** Sistemas de partículas aisladas para el cual se cumple el Principio de la Conservación del Momento Lineal

**Fuente:** Tomado de Acosta V., Cowan C., & Graham B. (2000)

Ahora bien, si las dos partículas  $m_A$  y  $m_B$  forman un sistema aislado sin fuerzas externas e interaccionan entre sí, siendo observados por  $O_1$  ubicado en un marco referencial  $S_1$  en reposo y por un observador  $O_2$  en  $S_2$  que se mueve respecto a  $S_1$  con una velocidad constante  $\vec{V}$ , como se muestra en la Fig. 3.

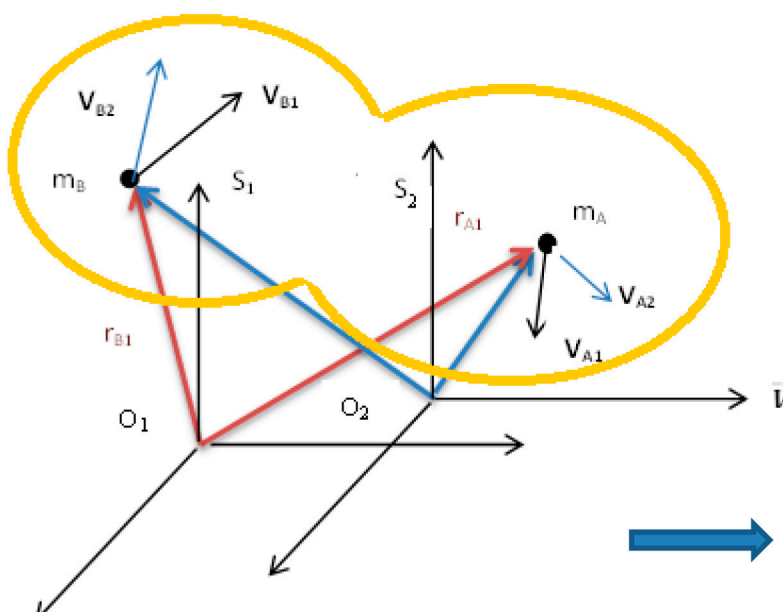
Para el observador en  $S_1$  se tiene  $m_A \vec{V}_{A1} + m_B \vec{V}_{B1} = \text{constante}$  (7) para el observador en  $S_2$  en movimiento con una velocidad  $\vec{V}$  mide  $\vec{V}_{A2}$  y  $\vec{V}_{B2}$  para  $m_B$  al recordar la Transformación de Galileo  $\vec{V}_{A1} = \vec{V} + \vec{V}_{A2}$  y  $\vec{V}_{B1} = \vec{V} + \vec{V}_{B2}$  entonces (7) queda  $m_A(\vec{V} + \vec{V}_{A2}) + m_B(\vec{V} + \vec{V}_{B2}) = \text{constante}$  que es igual a  $m_A \vec{V}_{A2} + m_B \vec{V}_{B2} = \text{constante} - (m_A + m_B)\vec{V}$  es decir,  $\{ m_A \vec{V}_{A2} + m_B \vec{V}_{B2} = \text{constante} \}$  indica que el Momento Lineal permanece invariante para todos los sistemas inerciales

¿Qué significa que el *Principio de Conservación de Momento Lineal sea invariante para las transformaciones de Galileo? Explícalo.*

La Ley de Conservación de la Energía es invariante respecto a una Transformación Galileana

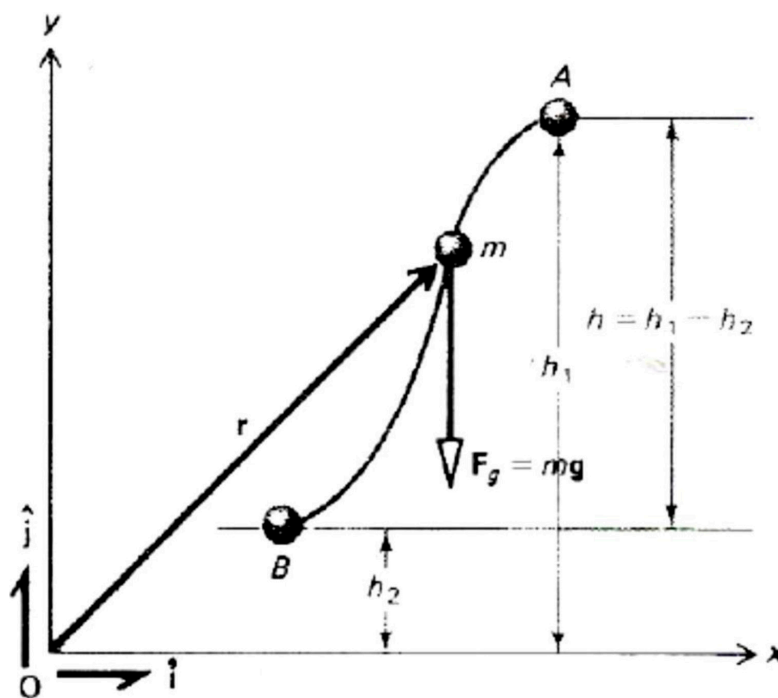
Recuérdese que si se tiene una partícula que se mueve a lo largo de la trayectoria AB como se muestra en la Fig. 4 y todas las fuerzas aplicadas son conservativas (sólo actúa la fuerza debido a la aceleración de la gravedad) entonces la energía total en cualquier posición es constante





**Fig. 3.** Sistema de partículas observadas por  $O_1$  en reposo y  $O_2$  en movimiento uniforme

Fuente: Tomado de Acosta V., Cowan C., & Graham B. (2000)



**Fig 4.** Partícula moviéndose a lo largo de la trayectoria AB

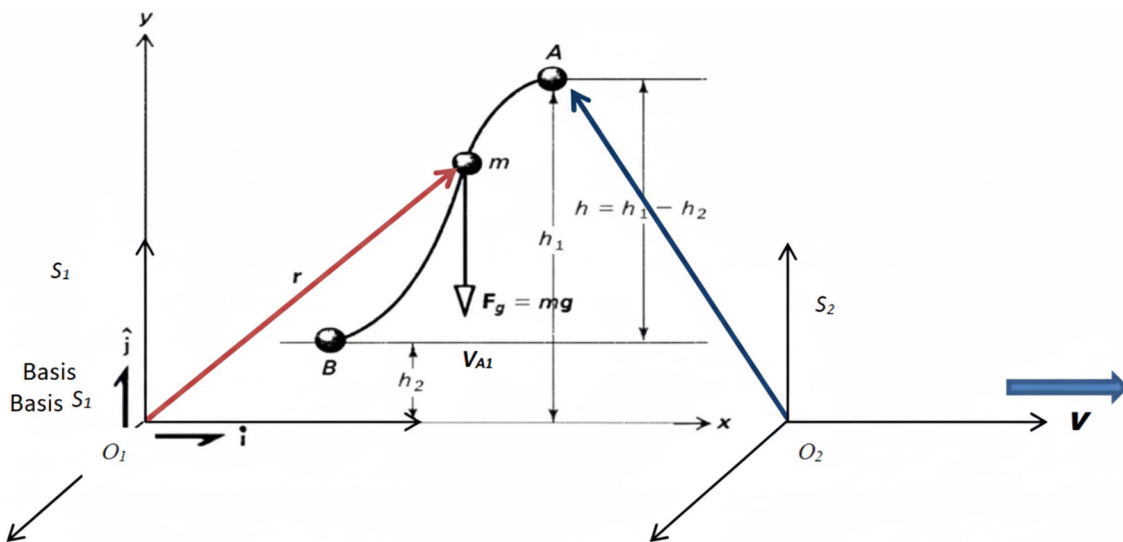
Fuente: Tomado de Acosta V., Cowan C., & Graham B. (2000)

Lo anterior es  $K_A + U_A = K_B + U_B = \text{constante}$  (8) donde  $K_A$  es la energía cinética de  $m$  en el punto A e igual a  $K_A = \frac{1}{2}mV_A^2$   $K_B$  es la energía cinética de  $m$  en el punto B e igual a  $K_B = \frac{1}{2}mV_B^2$   $U_A$  es la

energía potencial de  $m$  en el punto A e igual a  $U_A = mgh_1$   $U_B$  es la energía potencial de  $m$  en el punto B e igual a  $U_B = mgh_2$  Lo que indica que (8) se convierte en  $\frac{1}{2}mV_A^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mV_B^2 + mgh_2$

Ahora bien, si existen fuerzas no conservativas  $W_{AB} = \Delta K - \Delta U = (K_B - K_A) - (U_A - U_B)$  luego  $W_{AB} = (K_B + U_B) - (K_A + U_A)$  es decir el trabajo realizado por las fuerzas no conservativas aparece como alguna forma de energía, si la fuerza es la fuerza de fricción la energía producida por esta fuerza será energía calórica y el Principio de la Conservación de la Energía se explica así: “la energía de un sistema aislado puede ser transformada de una clase de energía a otra, sin embargo, la energía total en sus varias formas no puede ser creada ni destruida”.

Si la partícula que se mueve a lo largo de la trayectoria curvilínea AB es observada por  $O_1$  desde  $S_1$  en reposo y desde  $S_2$  que se mueve respecto a  $S_1$  con una velocidad constante  $V$  en el plano horizontal como se muestra en la Fig. 5.



**Fig. 5.** Partícula moviéndose en la trayectoria AB vista por  $O_1$  y  $O_2$

**Fuente:** Tomado de Acosta V., Cowan C., & Graham B. (2000)

Aquí solo actúan fuerzas conservativas y se cumple (8)  $K_A + U_A = K_B + U_B = constante$  es decir  $\frac{1}{2}m \cdot K_{A1} + m \cdot g \cdot h_1 = \frac{1}{2}m \cdot K_{B1} + m \cdot g \cdot h_2 = constante$  recuerda que:  $V_{A1} = V + V_{A2}$  es la relación de la velocidad A vista desde  $S_1$  respecto a  $S_2$ , Y:  $V_{B1} = V + V_{B2}$  es la relación de la velocidad B vista desde  $S_1$  respecto a  $S_2$ . Finalmente, si se sustituye y resuelve queda:  $\frac{1}{2}mV_A^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mV_B^2 + mgh_2 = constante$

Lo que explica que el Principio de la Conservación de la Energía permanece invariante para todos los sistemas inerciales. En resumen, se habla entonces del **PRINCIPIO CLÁSICO DE LA RELATIVIDAD** que dice que “todas las leyes de la mecánica clásica permanecen invariantes para todos los observadores inerciales que se mueven los unos con respecto a los otros a velocidad constante”.

## LOS RESULTADOS

Se estimaron niveles de conceptualización en tanto valoración global de todo el proceso, haciendo corresponder estos niveles con la apreciación de los mapas conceptuales. El mapa conceptual es una herramienta útil de profesores y estudiantes para organizar el conocimiento, bien sea para presentar a los estudiantes o para que los estudiantes dispongan de proposiciones y relaciones conceptuales; así, según como presente su tarea, irá demostrando su comprensión, el mapa por él elaborado permitirá evaluar evidencias de aprendizaje (Moreira, 2013; Florez, Caballero y Moreira, 2014). No se evaluó el mapa conceptual en su estructuración sino en la motivación para aprender, en el proceso de reconocer en las tareas planteadas los conocimientos que ya tienen, para que en procesos de interacción cognitiva se acomoden nuevos significados y se reorganicen para construir un nuevo conocimiento.

Así, se establecieron los siguientes niveles: (1) *Nivel NoA*: nivel de no apropiación del campo conceptual, porque los estudiantes no responden o ni siquiera identifican el concepto o relación propuesta en el material presentado. (2) *Nivel Bajo NB*: nivel de apropiación incipiente del campo conceptual, porque los estudiantes no logran expresar con sus palabras la interpretación de los conceptos presentados o repiten lo que está escrito, además, no operan las magnitudes más importantes presentadas en el texto. (3) *Nivel Medio NM*: nivel de apropiación parcial del campo conceptual, es incompleta porque los estudiantes expresan los significados conceptuales propios del tema, pero no establecen las posibles relaciones entre distintos conceptos presentados y por tanto no las formalizan en un lenguaje simbólico, demostrando dificultades para la operacionalización del conocimiento. (4) *Nivel Alto NA*: nivel de apropiación del campo conceptual, porque pueden expresar de distintas formas los conceptos presentados en cada sesión, logran asociar relaciones, explicar dichas relaciones y expresarlas mediante lenguaje simbólico.

Sobre las situaciones de aprendizaje y las tareas de los estudiantes, se encontró: (1) Un 50% de los estudiantes lograron el nivel de apropiación total del campo conceptual la Relatividad en Física Clásica, porque parten de esquemas previos y operan las magnitudes más importantes con los conceptos de posición, tiempo, movimiento, sistema de referencia; expresan los conceptos presentados de distintas formas, al evaluar el movimiento en relación a un observador en reposo y otro en movimiento. Igualmente asocian relaciones entre conceptos, cuando verifican el cambio de coordenadas en los distintos movimientos. A la par, explican relaciones entre distintos conceptos y definen relaciones entre principios y leyes cuando expresan que las transformaciones de Galileo son ecuaciones que relacionan las observaciones de movimientos desde sistema de referencia inerciales y se adentran a confirmar la invariancia de la aceleración, de la segunda ley de Newton, el momento lineal y la energía respecto a una transformación galileana. (2) El otro 50% de los estudiantes que participaron lograron el nivel medio de apropiación del campo conceptual porque parten de algunos esquemas previos como partícula y movimiento; operan algunas magnitudes importantes del tema tiempo y aceleración invariante. Igualmente expresan algunos significados de conceptos en relatividad clásica; explican algunas relaciones entre distintos conceptos en cambios de coordenadas y relatividad especial. Además, no formalizan relaciones mediante principios y leyes por como expresan el principio clásico de la relatividad y demuestran dificultades para la operacionalización de los conceptos en la relación de coordenadas para distintos observadores y la verificación de la invariancia de la aceleración, segunda ley de Newton, el momento lineal y la energía.

## LO CONCLUSIVO

Se presentan a modo de conclusión las siguientes inferencias:

1. La progresividad del aprendizaje, en tanto proceso para construir conocimiento en un período de tiempo determinado, demanda de algunas condiciones básicas: (1) Que los estudiantes quieran aprender y que posean algunos conocimientos previos. (2) Que los profesores asuman el papel de facilitador, para lo cual deben planificar y elaborar material a presentar a los estudiantes en situación de aprendizaje.
2. Caracterizar la progresividad del aprendizaje es: (1) Reconocer que el trabajo en el aula es adentrarse en un conjunto de actividades que como situaciones de aprendizaje estimulan al estudiante a resolverlas hasta terminirlas, impulsa procesos mentales intersubjetivos, filiaciones y rupturas, deshaciendo para agregar y construir nuevos significados dándole sentido a lo presentado, procurando aprender significativamente. explicar y aplicar lo que construye. (2) Enfrentar a los estudiantes a un texto que debían leer, para utilizar los recursos cognitivos que poseen e interpretar y asignar significados activando conceptos. (3) Manejar la pregunta intercalada como técnica para focalizar la atención del estudiante, permitieron la interpretación de los significados, la selección de palabras asociadas y la construcción de proposiciones.
3. Al revisar lo presentado por los estudiantes, luego de la lectura, discusión e interacción entre ellos, mostraron, en primer lugar, que se alcanzó el propósito de la primera sesión en tanto que manifestaron su interpretación acerca que la física está en constante evolución, que sus principios sufren cambios, avances y modificaciones. En segundo lugar, se definió el camino conceptual acerca de posición inicial y final en relación a un solo observador, dos observadores en marcos de referencia distintos, acompañando a las Transformaciones de Galileo al relacionar los conceptos de espacio, tiempo, masa, momentum lineal y energía en la física clásica y en la física relativista.

**Gladys Gutiérrez.** Profesora Titular de la Universidad de los Andes, Venezuela. Lic en Educación. Magister SCientiae en Ciencias Aplicadas. Doctora. en Educación. Directora del Centro Regional de Investigación en Ciencia, su Enseñanza y Filosofía -CRINCEF-

**Elsy Urdaneta.** Profesora Titular de la Universidad de los Andes, Venezuela. Ingeniero. Doctora en Metodología de las Ciencias del Comportamiento. Ingeniero Agrícola. Miembro del Centro Regional de Investigación en Ciencia, su Enseñanza y Filosofía, -CRINCEF-

**Hebert Lobo.** Profesor Titular de la Universidad de Los Andes, Venezuela. Doctor en Educación, Magister Artium en Ciencias Aplicadas. Ingeniero Civil. Miembro del Centro Regional de Investigación en Ciencia, su Enseñanza y Filosofía, -CRINCEF-

**Manuel Villareal,** Profesor Titular de la Universidad de Los Andes. Lic. en Ciencias, Magister SCientiae en Química. Doctor en Química Aplicada.. Profesor invitado del Instituto de Matemática, Estadística y Física. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Polo 21. Universidad Federal de Rio Grande. Rio Grande do Sul. Brasil.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta V., Cowan C., & Graham B. (2000). Curso de Física Moderna. Mexico: HARLA.
- Ausubel, D. (1976). *Psicología Educativa*. México: Editorial Trillas.
- Ausubel, D. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Una perspectiva cognitiva*. Barcelona: Paidós.
- Catalán, L., Caballero, S., y Moreira, M. (2010). Niveles de conceptualización en el campo conceptual de la inducción electromagnética. *Lat. Am. J. Phys. Educ*, 4 (1), 126-143. En [http://www.lajpe.org/jan10/20\\_Lidia\\_Catalan.pdf](http://www.lajpe.org/jan10/20_Lidia_Catalan.pdf)



- Correa, D. y Pérez, F. (2022). Los modelos pedagógicos: trayectos históricos. *Debates por la historia*, 10(2), 125-154. Epub 03 de octubre de 2022. <https://doi.org/10.54167/debates-por-la-historia.v10i2.860>
- Flores Ochoa, R. (1994). *Pedagogía y conocimiento*. Mc Graw Hill.
- Florez, J; Caballero, M. C. y Moreira, M., (2014). Los mapas conceptuales evaluativos del nivel de construcción integrativa de significados en el laboratorio de bioquímica bajo un enfoque constructivista. *Investigações em Ensino de Ciências*. 19(3), 611-624.
- Gowin, D. (1981). *Educating*. Ithaca, Nueva York: Cornell University Press. Trad. cast., 1985. *Hacia una teoría de la educación*. Argentina: Ediciones Aragón.
- Melean, R., Arrieta, X., y Escalona, M. (2010.). Esquemas previos sobre dinámica bajo la Teoría de los Campos Conceptuales. *Encuentro Educacional*, 17(2), 269-291.
- Montañez, H., y Vivas, J. (2015). Aprendizaje de la Física a través del Aprendizaje Significativo en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad La Gran Colombia. Tesis de Maestría. Bogotá. Colombia: Universidad La Gran Colombia.
- Moreira, M. (2002). La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la enseñanza de las ciencias y la investigación en el área. *Investigación en enseñanza de las ciencias*, 7(1), 1-28.
- Moreira, M. (2006.). *A Teoria da Aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula*. Brasília. Brasil.: Editora da UnB.
- Moreira, M. (2013). Aprendizaje significativo en mapas conceptuales. *Serie Textos de Apoio ao Professor de Física*, 24, (6) UFRGS, Brasil. [www.if.ufrgs.br/public/taef/v24\\_n6\\_moreira](http://www.if.ufrgs.br/public/taef/v24_n6_moreira)
- Muñoz, Z., Ramos, G., y Marmolejo, G. (2019). Teoría de la Relatividad. Perspectivas Docentes para su Enseñanza. Primer Congreso Internacional en Educación y Formación de Educadores. Pasto. Colombia: Universidad de Nariño
- Novak, J. D. (1988). *Teoría y práctica de la educación*. Madrid: Alianza Universidad.
- Salgado, R., Gavilanes, A. y Muñoz, Z. (2021). Caracterización de la Enseñanza de la Física Relativista, caso: Departamento de Nariño. *Revista Tecné. Episteme y Didaxis*. Número extraordinario. Memorias IX Congreso Internacional sobre formación de Profesores de Ciencias.
- Ventura, A. C. (2016). ¿Enseño como aprendí?: el rol del estilo de aprendizaje en la enseñanza del profesorado universitario. *Aula Abierta*, 44, 91-98.
- Vergnaud, G. (1990). La teoría de los Campos Conceptuales. *Recherches en Didactique des Mathématiques*. 10 (2), 133-170.
- Vergnaud, G. (2007). ¿En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? *Revista Investigaciones en Enseñanza de la Ciencia*, 12 (2), 285-302.