



## Laberinto conceptual como instrumento de evaluación en Física

E. Jiménez<sup>a</sup>, J. Barojas<sup>b</sup>

<sup>a,b</sup>Centro Virtual de Investigaciones y Desarrollos Educativos (CVIDE).

### ARTICLE INFO

**Received:** XX Mes 2014

**Accepted:** XX Mes 2014

**Keywords:**

Conceptual labyrinth.  
High school physics.  
Formative evaluation.  
Relativity theories.

**E-mail addresses:**

emmajimenez903@hotmail.com  
jrbw40@gmail.com

ISSN 2007-9842

© 2015 Institute of Science Education.  
All rights reserved

### ABSTRACT

This work describes the design and application of written simulators as evaluation instruments that follow the problem solving technique. The written simulator is considered as a “conceptual labyrinth” where the initial entrance describes a problem to be solved. The apprentice propose a solution by choosing among different options represented as “corridors” and in this way a route to the exit is build. The exit is the solution of the problem. When the apprentice choose an option that corresponds to a corridor in a direction closer to the exit, he(he) can go to the next option and continue making decisions in a route near the exit. Contrary, if the chosen option does not correspond to a correct answer, the apprentice gets information in order to modify the route. In general, there is not a unique route and the apprentice can build different paths in order to get out of the labyrinth and solve the problem.

In here, we propose a conceptual labyrinth as a formative evaluation instrument looking for the identification of learning achievements and difficulties represented by the routes well taken.

We present two conceptual labyrinths for high school students as illustrative examples, one example regards the Newtonian theory of gravitation and another example concerns the theories of special and general relativity.

Este trabajo describe el diseño y aplicación de simuladores escritos como instrumentos de evaluación a través de la técnica de resolución de problemas. El simulador escrito es considerado un ‘laberinto conceptual’, cuya ‘entrada’ es una escena inicial que propone un problema a resolver. Para proponer su solución el aprendiz elige opciones que son ‘corredores’ por los cuales construye su ‘ruta’ de ‘salida’ del laberinto. La salida es la solución del problema inicial. Cuando el aprendiz elige un corredor que le acerca a la solución correcta, pasa a las siguientes opciones y continúa con la toma decisiones para avanzar en su ruta de salida. Si, por el contrario, una opción no le acerca a la respuesta correcta, se le proporciona información y puede redirigir su ruta a partir de la retroalimentación recibida. En general, no existe una ruta única y el aprendiz puede salir del laberinto o responder al problema inicial siguiendo caminos diferentes.

En este trabajo se propone al laberinto conceptual como instrumento de evaluación formativa para identificar, a través de las rutas seguidas, los aciertos y dificultades en el aprendizaje.

Como ejemplos ilustrativos se presentan dos laberintos conceptuales para estudiantes de bachillerato, uno sobre teoría newtoniana de gravitación y otro sobre teorías de relatividad especial y general.

## I. INTRODUCCIÓN

En el bachillerato la evaluación de aprendizajes en Física emplea con mucha frecuencia instrumentos en los que solicita a los alumnos repetir lo que el profesor dijo en clase, el procedimiento que empleó para resolver un problema, o bien lo que se señala en algún libro de texto. En la medida en que lo repetido por el estudiante se apegue a lo dicho y hecho por el profesor y/o a lo que señala el texto que sirvió para estudiar, la calificación será

más alta. Por supuesto el aprendizaje que respalda este tipo de instrumentos es memorístico en su mayoría, con poco (o ningún) significado para los alumnos y con muy poca posibilidad de ser trasladado a situaciones de su vida, por lo que es considerado inútil.

Y no es que el aprendizaje memorístico sea inservible, es necesario para un sin número de cosas en la vida diaria y académica. Se trata de que la información adquirida a través del aprendizaje memorístico se interprete, articule y procese para ser empleada en la solución de problemas. Así, aunque en un instrumento de evaluación sumativa se indague por lo aprendido de memoria, su riqueza sería mayor si también se pregunta por la forma en que le emplea para resolver situaciones específicas.

Aunque los profesores de Física del bachillerato pueden saber los contenidos que enseñan, son pocos los que saben cómo enseñar esos contenidos y sobre todo cómo valorarlos desde una perspectiva en la que se promueva aprendizaje significativo. Además de esta problemática de formación docente, existen ciertos temas que se tratan con más frecuencia que otros en los currículos. Leyes de Newton, Calor, Temperatura y Circuitos eléctricos no faltan, mientras que temas de Física Moderna como Relatividad son menos considerados.

Por otro lado, para valorar el aprendizaje de los estudiantes los instrumentos de evaluación sumativa (normalmente con enfoque de repetición) se privilegian sobre los de las evaluaciones diagnóstica y formativa. Seguramente porque a partir de la primera se asigna una nota para la promoción. Cabe hacer mención de la existencia de ejemplos sobre instrumentos de evaluación que presentan una perspectiva que rebasa a la memoria (Jiménez, 2004).

A partir de que hay contenidos de Física que casi nunca se tratan, que a los instrumentos de evaluación sumativa se les concede más importancia para valorar el aprendizaje y que su enfoque es generalmente memorístico, en este trabajo se propone abordar al tema Relatividad a través de un instrumento de evaluación formativa denominado 'simulador escrito'. Este consiste en plantear una situación problemática contextualizada a partir de la cual el alumno va tomando decisiones al elegir dentro de las opciones presentadas. De esta forma cada alumno construye su solución.

Durante este proceso, se va proporcionando retroalimentación que permite al alumno incorporar, modificar y consolidar ideas sobre contenidos específicos.

En la literatura revisada no se encontraron ejemplos de simuladores escritos para temas de Física, sin embargo se revisaron varios instrumentos a partir de los cuales surgieron ideas para la construcción de las cuestiones y rutas que conforman a los simuladores, algunos de ellos son:

- Las cuestiones sobre preconceptos propuestas por Hierrezuelo & Montero (2002) en su libro La Ciencia de los alumnos.
- El Force Concept Inventory de Hestenes (UNAM, s. f.), traducido al español por Alejandro González.
- El Relativity Concept Inventory de Aslanides & Savage (2013).
- Múltiples cuestiones presentadas por profesores para apoyar las simulaciones PHET de la Universidad de Colorado (s. f.).

Los apartados de este documento son:

*Laberintos conceptuales.* Se describen éstos como simuladores escritos; instrumentos de evaluación formativa que apoyan el aprendizaje de los estudiantes mediante la retroalimentación. Consisten en la solución de un problema mediante la elección de las opciones propuestas. La secuencia de opciones conforma una ruta que cada estudiante construye. Cuando un profesor analiza la ruta de sus estudiantes puede identificar aspectos sobre la forma en que ha enseñado el tema en cuestión.

*Perspectiva conceptual.* Aborda el valor cognitivo de la solución de laberintos conceptuales y lo relaciona con el punto de vista de que las Matemáticas son un laberinto lógico, además describe que resolver un problema se parece a recorrer exitosamente un laberinto.

*Laberinto de gravitación newtoniana.* Presenta un laberinto que puede ser resuelto por dos caminos. Uno de ellos es experimental, implica que el estudiante mida masas con balanzas y pesos con dinamómetros para identificar

la relación entre masa y peso, al transitar por ideas de gravitación universal en un proceso inductivo. El otro es teórico, parte de la ley de gravitación universal para identificar la relación entre masa y peso en un procedimiento deductivo; está disponible en: <http://comcol.pbworks.com>.

*Laberinto de relatividad especial.* Se refiere el diseño de laberintos conceptuales que valoran el tema relatividad especial, para ser elaborados por profesores que cursarán la asignatura Fundamentos teórico metodológicos, de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior de la UNAM, en su modalidad a distancia. Disponible en: <http://comcol.pbworks.com>.

*Laberinto de relatividad general.* Muestra un laberinto que parte de una situación cercana y ya conocida por los estudiantes (el trabajo de Galileo acerca de esferas que ruedan por planos inclinados), para que a partir de ésta se aborden las ideas principales de la relatividad general, analizando algunos videos: principio de covarianza, principio de equivalencia y curvatura de la trayectoria de un rayo de luz al pasar cerca de una gran concentración de masa. Disponible en: <http://comcol.pbworks.com>.

*Conclusiones.* Se puntualiza el desafío intelectual y el valor cognitivo del empleo de laberintos conceptuales en la evaluación formativa dentro de la enseñanza de la Física.

## II. LABERINTOS CONCEPTUALES

En la teoría sobre Evaluación de los Aprendizajes, los Simuladores Escritos son instrumentos de evaluación que se ubican dentro de la técnica Solución de Problemas. Estos instrumentos son retomados aquí para apoyar la enseñanza de la Física y la evaluación de sus aprendizajes. En este ámbito identificamos que estos instrumentos son **laberintos conceptuales**, en el sentido de que presentan un conjunto de conceptos de Física por los que aprendiz debe transitar para vencer retos que consisten en contestar preguntas, de manera que si ha aprendido lo suficiente y lo aplica para responder adecuadamente podrá encontrar la salida del laberinto.

Recorrer un laberinto conceptual constituye una prueba amigable para resolver una serie de retos planteados a lo largo de posibles trayectorias o rutas que habrán de definirse y recorrerse para ir de la entrada del laberinto a su salida. A la entrada se presenta un contexto de aprendizaje que define una situación problematizadora que hay que comprender; es la escena inicial de un viaje por un espacio cognitivo. Poder llegar a la salida, la escena final del viaje, significa que la contextualización del aprendizaje ha funcionado de manera tal que se logra explicar el contexto mediante la solución de un problema, el desarrollo de un proyecto o el tratamiento de un tema.

Entre la entrada y salida del laberinto hay una serie de estaciones debidamente numeradas (o vinculadas digitalmente) en donde el aprendiz que va recorriendo el laberinto encuentra las preguntas generadoras del contexto, las cuales deberá responder utilizando los conocimientos de que dispone y las habilidades que aplicará para resolver los retos a los que se enfrenta. En cada estación se presentan varias opciones de respuesta. En algunas ocasiones una de ellas es la mejor respuesta, la más adecuada, la correcta; en otras ocasiones simplemente se trata de decidir cuál camino es más afín a los gustos o intereses del estudiante, según sea el conocimiento que tenga del tema.

Si el aprendiz selecciona todas las mejores opciones de respuesta se acercará a la salida, significando que entiende completamente lo que se le ha pedido, que conoce acerca del contexto y por lo tanto habrá resuelto con éxito el laberinto conceptual. Sin embargo, esta situación ideal no siempre se presenta y entonces, hay estaciones que contienen una respuesta acertada y que incluyen cierto número de opciones adicionales que contienen errores conceptuales y/o procedimentales. El número de estas respuestas inadecuadas, incorrectas o incompletas, depende del tipo de contexto, del nivel de la pregunta generadora y de qué tan amplio es el espectro de posibles errores que se hayan considerado; se trata de escoger los errores más frecuentes y representativos.

Cada respuesta contiene una instrucción (o un vínculo digital) que conduce a determinado corredor; será cuando el aprendiz llegue al corredor seleccionado que sabrá si su respuesta es correcta o no. En el primer caso llegará a una nueva estación y entonces avanzará hacia la salida, pero si el corredor lo lleva a un kiosco de orientación es que tiene que replantear su respuesta porque se ha equivocado y ha cometido algún error. Los kioscos

de orientación son de ayuda, no califican ni descalifican, le brindan oportunidades al aprendiz para que mejore su aprendizaje y para ello le proporcionan información, instrucciones y recomendaciones. Los kioscos son aliados del instructor que no dan las respuestas correctas; están para ayudar a que el aprendiz encuentre sus errores, los corrija y, habiendo replanteado su respuesta, regrese a la estación de la que no pudo avanzar.

El propósito de plantear caminos alternativos para pasar de una estación a otra no es de revisar lo que los aprendices recuerdan porque han memorizado las respuestas, sino de hacerlos pensar y que se den cuenta de qué saben y qué les falta saber. Por eso, para recorrer el laberinto, el aprendiz debe reflexionar, valorar y luego tomar decisiones.

En esto estriba el carácter de evaluación formativa del laberinto y su diferencia con un camino bien trazado, al que no siempre se tiene acceso, pero que invariablemente contiene las indicaciones precisas y completas para llegar con certeza a la salida.

Resumiendo, todo buen laberinto conceptual debe consistir en una secuencia clara y accesible, pero retadora, de los elementos que lo componen:

- Problema inicial contextualizado.
- Estaciones con preguntas generadoras.
- Corredores que corresponden a las opciones de respuesta.
- Kioscos de orientación con la información y las instrucciones para que los aprendices entiendan cuál ha sido el error en la opción de respuesta que escogieron, cómo corregirlo y qué hacer para llegar a la siguiente estación del laberinto.

Quien va construyendo su camino escogiendo respuestas se está autoevaluando; en cada etapa de su viaje conceptual por el laberinto puede precisar en dónde está y qué le falta para seguir adelante. Además, los aprendices no se encuentran sujetos a presiones innecesarias como el tener que responder en tiempos fijos o estar obsesionados por obtener calificaciones aprobatorias pero sin darse cuenta de lo que realmente ha aprendido. Esta herramienta o instrumento de evaluación formativa es útil porque permite obtener información significativa y oportuna respecto de los aprendizajes logrados. Son los aprendizajes que pone en práctica cada aprendiz al escoger sus respuestas y luego actuar en consecuencia. También representan aprendizajes para el instructor a cargo del grupo cuando revisa e interpreta lo que reflejan los caminos seguidos por sus estudiantes, ya que la trayectoria seguida para recorrer las estaciones, corredores y kioscos por los que pasa cada aprendiz es la huella de sus aciertos y dificultades. Dicha información será invaluable para el instructor con el fin de ajustar su tarea docente y mejorar los resultados de su enseñanza.

A continuación concretamos lo anterior y como ejemplos ilustrativos describimos tres laberintos, el primero dedicado a la teoría newtoniana de la gravitación y los dos siguientes enfocados, uno a la teoría de la relatividad especial y otro a la teoría de la relatividad general. Cada uno de estos laberintos se ha diseñado, elaborado, aplicado y evaluado de manera diferente, teniendo siempre en mente su función de herramienta de evaluación formativa.

### **III. PERSPECTIVA CONCEPTUAL**

Nuestro propósito es ilustrar cómo el uso de laberintos cognitivos es de interés como instrumento de evaluación a tres niveles respecto de la construcción y aplicación de los aprendizajes, según se refieran al diseño de estructuras, a la puesta en práctica de propuestas y procedimientos y/o a la interpretación de resultados y consecuencias. La idea de utilizar laberintos cognitivos como instrumento de evaluación ha tenido muy diversas aplicaciones en el mundo de la educación. Siendo a la vez un pasatiempo y un reto, tiene implicaciones didácticas y epistemológicas significativas.

Aquí consideraremos tres ejemplos de aplicación de laberintos cognitivos en Física.

En lo que sigue, nos referiremos a las primeras páginas del libro de Stewart (2001), *El laberinto mágico. El mundo a través de ojos matemáticos*. Tomaremos como punto de partida una versión casi literal de una selección de ideas contenidas en las secciones intituladas Antes de entrar y Entrada (páginas 7 a 13). A continuación insertamos en la Tabla I lo escrito por Stewart, aclarando que los cambios en el orden de las ideas en la redacción son responsabilidad nuestra; indicamos con letra cursiva aquellas palabras que no escribió Stewart, pero que le dan sentido a las frases en que se insertan, sin modificar el sentido original.

**TABLA I.** Algunas ideas de Ian Stewart.

<p><i>Conviene</i> utilizar la metáfora del laberinto para describir las Matemáticas, su naturaleza mágica. Las ideas Matemáticas forman una red. Las interconexiones entre ideas son deducciones lógicas. <i>Transitar</i> por ese laberinto mágico es un viaje particular, siendo guiado a través de un camino seleccionado que cristaliza cuando ideas vagas se transmutan en palabras impresas. El libro es un laberinto de posibilidades y <i>presenta</i> las posibles estructuras <i>que consideran</i> a las Matemáticas como una red interconectada. Lo que hace un matemático es ver oportunidades para romper el círculo vicioso de la lógica auto-referencial.</p>
<p>Un laberinto lógico es un laberinto mágico, es un laberinto de la mente. El laberinto es la Matemática. El laberinto mágico trata el material de una forma diferente, en donde las descripciones y las imágenes reemplazan a las demostraciones, los aparatos y las sesiones interactivas con miembros de la audiencia. Recorrer el laberinto requiere navegar, con confianza, a través de una intrincada red de posibilidades lógicas. En cada paso se tienen que tomar decisiones; hay que escoger y seguir un camino concreto a través del laberinto. Para diseñarlo hay que definirlo claramente y hacerlo tan suave como sea posible para aquellos que lo siguen. Para recorrerlo hay que ponerse a prueba para descubrir un mundo invisible de oportunidades ilimitadas. Para interpretarlo hay que ver con otros ojos, con ojos abiertos a la belleza de las Matemáticas y su relación con la belleza de la naturaleza.</p>
<p>La utilidad no es el único criterio de valor, <i>también</i> están las ideas fascinantes sobre el mundo material. Las Matemáticas son bellas, sorprendentes, agradables e interesantes. Son un intercambio de doble dirección entre el mundo natural y la mente humana. Las Matemáticas conectan ideas revelando profundas similitudes que posteriormente se manifiestan en la naturaleza. <i>Si solo son</i> creaciones de la mente humana, <i>permiten ejercer</i> poder sobre el mundo. <i>Son más que</i> juegos y rompecabezas; una pregunta simple y divertida puede conducir a ideas profundas y de largo alcance. ¿Cómo es que las pautas y patrones que residen en nuestra mente <i>captan y expresan</i> las pautas y patrones del universo que nos rodea?</p>

Si bien las ideas de Ian Stewart se refieren a las Matemáticas, consideramos que son apropiadas para motivar y en cierta medida justificar nuestro enfoque acerca de la evaluación de los aprendizajes en Física, consistente en considerar que **resolver un problema es equivalente a recorrer con éxito un laberinto conceptual**. Podemos transferir a la evaluación del aprendizaje en Física mucho de la manera como Stewart explica el proceso de hacer Matemáticas, desarrollar el pensamiento matemático, ayudar a aprender Matemáticas y comunicar la excitación, la alegría y el placer estético de aplicar las Matemáticas. Lo dice en su libro cuando muestra que las Matemáticas son un laberinto.

Las Matemáticas son un lenguaje y un método, un lenguaje de utilidad en la representación de sistemas y un método de importancia práctica en la interpretación de fenómenos. Generalmente las Matemáticas se desarrollan porque existe curiosidad por entender, estén o no motivadas por la satisfacción de intereses o necesidades de naturaleza individual o social. Las ciencias, naturales y sociales, utilizan y a veces desarrollan Matemáticas, pero no son Matemáticas. Las ciencias también tienen sus lenguajes y sus procedimientos, que a veces se parecen y apoyan en las Matemáticas, pero incorporan la componente de la observación y la experimentación de la realidad concreta.

Las ciencias requieren de sus propias herramientas cognitivas, así como de dispositivos y procedimientos de control, medición y registro; buscan contestar las preguntas que el investigador le hace a la naturaleza, al ser humano o a la sociedad. En este sentido es conveniente que el aprendiz se capacite en tales términos, aunque sea de

manera gradual y empiece por lo conocido, simple y accesible, para después abordar con conocimientos, actitudes y experiencias, la solución de problemas, la construcción de modelos y el diseño de sistemas. Primero lo hará para enfrentarse satisfactoria y significativamente al aprendizaje prescriptivo, pero deberá prepararse para aproximarse al aprendizaje emergente. Evaluar tales aprendizajes sirve para saber qué tenemos y qué nos falta; conviene ubicarnos en el camino del conocimiento y precisar mejor la ruta en ese aprender para entender, comprender, descubrir, inventar, transformar... eso es justamente lo que proponemos que debe hacerse para resolver un laberinto cognitivo.

Para evaluar aprendizajes es de interés diseñar y aplicar laberintos cognitivos. Evaluar lo aprendido se parece a enfrentarse al desafío intelectual de recorrer un laberinto y experimentar la aventura de luchar para encontrar la salida, sin desanimarse por las vueltas, encrucijadas y callejones sin salida que hay que superar. Si Piaget dijo que aprender es hacer (*apprendre c'est agir*), caminar exitosamente por el laberinto es atreverse a pensar, superar las dificultades y corregir los errores, para finalmente demostrar que se ha aprendido algo porque se logró encontrar la salida.

#### IV. LABERINTO DE GRAVITACIÓN NEWTONIANA

El laberinto de gravitación fue el primero en ser elaborado. Fue construido con 79 estaciones (cuestiones) registradas en un documento (en hojas de papel) que se proporcionó a 55 estudiantes del Colegio de Bachilleres de segundo semestre como evaluación formativa después de haber revisado en clase el tema de gravitación universal. Ellos estaban ubicados en un salón amplio donde se dispuso mesas de trabajo con instrumentos (balanza, dinamómetro, flexómetro y cronómetro) y libros de texto de Física General (Alvarenga *et al.* (2004), Hewitt (1999), Tippens (2007), de tal forma que los estudiantes pudiesen tomar aquello que consideraban pertinente durante la construcción de su ruta.

Las estaciones están numeradas de tal forma que, de acuerdo con su elección, cada estudiante busca en su documento la hoja en que se ubica dicha estación y, en función de sus decisiones puede hacer uso del material dispuesto en el salón.

Para abordar este laberinto se requiere que los estudiantes tengan conocimiento previos sobre:

- Medir masas y pesos con los instrumentos respectivos.
- Distinguir entre variable dependiente e independiente.
- Construir gráficas ubicando adecuadamente cada variable.
- Reconocer las características de las proporciones directas.
- Hacer cálculos sobre proporcionalidad directa.
- Hacer operaciones con notación científica.

En este laberinto (disponible en <http://comcol.pbworks.com>) se presenta al estudiante un contexto en el que un alumno es sorprendido jugando videojuegos en clase y su profesor de Física le solicita la realización de un trabajo extra que consiste en identificar la relación que existe entre la masa de un objeto y la fuerza con que es atraído hacia la Tierra. Se pide entonces al estudiante que, si él/ella fuese este alumno que juega en clase, decida cómo resolver el trabajo extra clase. Así la primera estación de este laberinto se muestra en la Tabla II.

**TABLA II.** Primera estación con sus opciones.

- |   |         |
|---|---------|
| 1. Si tú fueras Luis ¿cómo empezarías para encontrar la relación que existe entre la fuerza con que la Tierra atrae a los objetos y la masa de éstos? |         |
| a. haces un plan  | ir a 61 |
| b. consultas en los libros  | ir a 4  |
| c. revisas tus apuntes  | ir a 39 |

d. te diriges a la mesa y tomas los instrumentos

ir a 52

Con esta estación el estudiante inicia su ruta para salir del laberinto, es decir construir la respuesta al problema planteado al elegir entre los corredores (opciones) disponibles. Conforme va pasando por las diferentes estaciones el alumno escribe su número en una hoja de Registro de Ruta que permite identificar el camino seguido, así como las opciones en las que no se tomó un corredor certero y fue necesario regresar para elegir otro corredor u opción de respuesta. En esta hoja se solicita también que el alumno redacte brevemente la respuesta al problema inicial.

A pesar de que el laberinto consta de 79 estaciones, no es necesario pasar por todas para salir. Cuando se aplicó este instrumento a los estudiantes del Colegio de Bachilleres, muy pocos requirieron más espacios que los indicados en la Hoja de Registro de Ruta. Esto se debió a que en repetidas ocasiones tomaron malas decisiones en una estación y fue necesario regresar a ella para corregir el camino. Cuando se analiza la Hoja de Registro de Ruta de un estudiante se puede saber cuál fue el camino tomado con sólo identificar los números registrados. De manera general se distinguen dos posibilidades: la ruta experimental o de mediciones que pasa por las estaciones 52 y 21, y la ruta teórica o de conceptos que pasa por las estaciones 4-44.

Por la ruta experimental los estudiantes deben tomar los instrumentos de medición disponibles en las mesas de trabajo y medir la masa de objetos a su elección (libros, mochilas, chamarras) al emplear una balanza. También es necesario que midan sus respectivos pesos con ayuda de dinamómetros. A continuación, identifican cuál es la variable dependiente y cuál la independiente, y construyen tablas de datos a partir de los cuales grafican. Al revisar la forma de la curva obtenida, deciden el tipo de relación que existe entre las variables representadas, calculan la constante de proporcionalidad y llegan a establecer que existe una proporción directa entre la fuerza con que la Tierra atrae a un objeto y su masa, donde la constante de proporcionalidad es  $g$  (aceleración de la gravedad).

Por la ruta teórica, los estudiantes retoman la ley de gravitación universal. Con base en el modelo analizan su aplicación para objetos en la superficie de la Tierra y reconocen los valores que se consideran constantes ( $G$ , masa de la Tierra y radio terrestre). Luego sustituyen estos valores en el modelo y hacen cálculos sencillos para obtener. A partir de esta relación identifican que entre la fuerza con que la Tierra atrae a un objeto y su masa existe una proporción directa, donde la constante de proporcionalidad es  $g$ .

Ambas rutas pueden identificarse en las figuras 1 y 2. Muestran el diagrama del laberinto conceptual de gravitación, con sus estaciones, corredores e ideas principales.

Adicionalmente, algunos observadores pueden apoyar durante la aplicación del laberinto. Pueden seguir el desempeño de algún estudiante en particular y registrar en una Lista de Cotejo aquellas habilidades científicas cuyo desarrollo logran identificar. Aunque para la ruta de mediciones y de conceptos se documentan aspectos diferentes, como el reconocer unidades de instrumentos para la primera en contraste con reconocer el carácter universal de la gravitación para la segunda, hay habilidades que en ambos casos se consideran como las asociadas a valorar el propio proceder.







**FIGURA 2.** Diagrama del laberinto conceptual de gravitación. Parte 2.

Adicionalmente, algunos observadores pueden apoyar durante la aplicación del laberinto. Pueden seguir el desempeño de algún estudiante en particular y registrar en una Lista de Cotejo aquellas habilidades científicas cuyo desarrollo logran identificar. Aunque para la ruta de mediciones y de conceptos se documentan aspectos diferentes, como el reconocer unidades de instrumentos para la primera en contraste con reconocer el carácter universal de la gravitación para la segunda, hay habilidades que en ambos casos se consideran como las asociadas a valorar el propio proceder.

En la Tabla III se presentan algunas de las habilidades consideradas en estas listas:

TABLA III. Algunas habilidades consideradas en Lista de Cotejo.

RUTA DE MEDICIONES (52-21)		
HABILIDAD PARA MEDIR	SI	NO
4. Reconoce a las unidades de medida de cada instrumento		
HABILIDAD PARA REGISTRAR Y COMUNICAR		
7. Registra sus observaciones		
HABILIDAD PARA APLICAR E INTERPRETAR CONCEPTOS		
10. Emplea la información de los tipos de relación para hallar la respuesta		
HABILIDAD PARA ARITMÉTICA		
12. Calcula $F_g/m$ para cada observación sin cometer errores		
HABILIDAD PARA VALORAR PROCEDIMIENTOS		
14. En caso de haber error identifica su origen		
DESEMPEÑO		
16. Muestra interés		
OTRAS OBSERVACIONES:		

RUTA DE CONCEPTOS (4-44)		
HABILIDAD PARA INTERPRETAR Y APLICAR CONCEPTOS	SI	NO
2. Reconoce el carácter universal de la gravitación		
HABILIDAD PARA REGISTRAR Y COMUNICAR		
8. Toma notas durante el proceso		
HABILIDAD PARA HACER SUPOSICIONES		
10. Se plantea más de una suposición a lo largo del proceso		
HABILIDAD MATEMÁTICA		
11. Emplea notación científica correctamente en el cálculo de $g$		
HABILIDAD PARA EL MANEJO DE UNIDADES		
12. Obtiene la unidad adecuada ( $m/s^2$ ) para $g$		
HABILIDAD PARA VALORAR PROCEDIMIENTOS		
14. Realiza acciones para corregir errores detectados		
DESEMPEÑO		
17. Avanza con fluidez		
OTRAS OBSERVACIONES:		

La aplicación del laberinto de gravitación, como evaluación formativa de este contenido, puede ser replicada en el aula con relativa facilidad, pues sólo requiere de fotocopias, libros de texto y material disponible en los laboratorios escolares. También puede ser dejada como tarea; los estudiantes podrán bajar el simulador del blog en la dirección siguiente <http://comcol.pbworks.com>; posteriormente deberán enviar al profesor su hoja de Registro de Ruta. En este mismo sitio los profesores podrán consultar las Listas de Cotejo completas.

## V. LABERINTO DE RELATIVIDAD ESPECIAL

Este ejemplo considera el diseño y aplicación de un ‘laberinto conceptual’, cuya ‘entrada’ es una estación inicial que propone un problema a resolver en donde se describe un contexto de aprendizaje referido al tema de relatividad especial. Este laberinto se ha diseñado como una prueba de evaluación formativa para profesores del nivel de bachillerato que han cursado previamente la asignatura Fundamentos teórico-metodológicos, dentro de la Maestría en Docencia para la Educación Media Superior (MADEMS) de la UNAM en la modalidad a distancia.

Cada profesor deberá construir su propio laberinto conceptual a partir de una estructura de estaciones conectada con la temática de la asignatura correspondiente, pero cuyos contenidos están por describirse de acuerdo al contexto propuesto por quien elaborará y luego aplicará el laberinto a sus alumnos del bachillerato, cuando enseñe el tema de relatividad especial. Para resolver la evaluación formativa consistente en la elaboración del laberinto, el profesor deberá describir en la primera estación del laberinto la situación problematizadora que define al contexto que propone y después dar la versión contextualizada de las preguntas generadoras correspondientes a las siguientes estaciones; además, deberá definir los contenidos de tres opciones de respuesta en cada estación.

Cuando quien recorre el laberinto elige la respuesta correcta pasa a la estación siguiente, pero si la opción de respuesta seleccionada contiene algún error de tipo conceptual o procedimental, va a un kiosco de orientación en donde se le proporciona información de apoyo para que comprenda su error, y regrese a la estación en la que estaba atorado y seleccione una nueva opción de respuesta. Si ahora escoge la respuesta correcta pasará a la estación siguiente pero en caso contrario tendrá que pasar por un segundo kiosco y luego volver a la estación en cuestión para tomar finalmente la opción correcta. Los contenidos de los dos kioscos de orientación correspondientes a las estaciones comprendidas entre la entrada y la salida serán elaborados por el profesor que propone su laberinto.

El laberinto que proponemos contiene once estaciones (E), siendo E1 la estación de entrada y E11 la de salida. Para recorrer el laberinto deberán seguirse sucesivamente tres Rutas:

Ruta A - principios de la relatividad especial (Estaciones E1-opción (a), E2, E3, E4, E5 y E1),

Ruta B - aspectos experimentales (Estaciones E1-opción (b), E6, E7, E8 y E1) y

Ruta C - otras consecuencias de la teoría (Estaciones E1-opción (c), E9, E10 y E11).

En lo que sigue describimos las preguntas que se proponen para ser contextualizadas en cada una de las once estaciones del laberinto, según la secuencia de las tres rutas antes señaladas; además, indicamos con letra cursiva las instrucciones que señalan los pasos a seguir para recorrer el laberinto.

E1: ¿Cuál es el límite de validez de la mecánica newtoniana respecto de sistemas cuya velocidad es cercana a la de la luz? [*Entrada al laberinto y selección de la opción (a) para iniciar la Ruta A*].

E2: ¿En qué consisten las transformaciones de Galileo?

E3: ¿Por qué las transformaciones de Galileo son inadecuadas para describir objetos en movimiento con velocidades cercanas a la de la luz?

E4: ¿Qué implica el segundo principio de relatividad especial según el cual las expresiones de las leyes de la Física son las mismas en todo sistema de referencia inercial?

E5: ¿Cuáles son las ecuaciones para la transformación relativista de la velocidad?

E1: [*Terminación de la Ruta A e inicio de la Ruta B cuando se selecciona la opción (b)*].

E6: ¿En qué consistió el experimento de Michelson y Morley y que implicaciones tuvo?

E7: ¿Qué significa la dilatación del tiempo y en qué fenómeno se ha observado experimentalmente?

E8: ¿Qué significa la contracción de la longitud y en qué fenómeno se ha observado experimentalmente?

E1: [*Terminación de la Ruta B e inicio de la Ruta C cuando se selecciona la opción (c)*]

E9: ¿En qué consiste la paradoja de los gemelos?

E10: ¿Cómo se explica la conversión de masa en energía?

E11: [*Salida del laberinto*].

A continuación damos un ejemplo ilustrativo de las dos primeras estaciones, primero indicamos la versión descontextualizada (Vd) y luego una posible versión contextualizada (Vc). Para la estación de entrada E1 señalamos las tres opciones que permitirán iniciar cada una de las tres Rutas A, B o C y para la estación E2 presentamos tres opciones de respuesta y los contenidos de los dos kioscos de información por donde será necesario pasar si se ha tomado una opción con un error conceptual o con un error procedimental. Las instrucciones correspondientes se indican con letra cursiva.

### ESTACIÓN E1

Vd: ¿Cuál es el límite de validez de la mecánica newtoniana respecto de sistemas cuya velocidad es cercana a la de la luz?

Vc: Margarita es una Física experimental que trabaja en un acelerador de partículas y está preocupada por saber hasta dónde funciona lo que sabe de mecánica newtoniana respecto de las características del espacio y del tiempo; necesita describir el movimiento de partículas como los electrones cuando son acelerados a velocidades cercanas a la de la luz.

OPCIÓN A: *ir a la estación E2 para iniciar la Ruta A.*

OPCIÓN B: *ir a la estación E6 para iniciar la Ruta B.*

OPCIÓN C: *ir a la estación E9 para iniciar la Ruta C.*

### ESTACIÓN E2

Vd: ¿En qué consisten las transformaciones de Galileo?

Vc: El detector de electrones con el que trabaja Margarita está montado sobre una plataforma; tal aparato le permite detectar la velocidad  $\mathbf{v}_e$  de un haz de electrones que son producidos por un cañón que también está montado sobre la misma plataforma. Si la plataforma se mueve con una velocidad  $\mathbf{v}_p$  ¿cómo será la velocidad del movimiento del haz de electrones para su colega Javier, quien se encuentra parado en el piso del laboratorio? (Los vectores de velocidad  $\mathbf{v}_e$  y  $\mathbf{v}_p$  tienen magnitudes  $v_e$  y  $v_p$ , respectivamente).

#### OPCIÓN A

Cuando el movimiento del haz de electrones y el de la plataforma son en la misma dirección, la velocidad de observación de Javier es la suma algebraica de las magnitudes de las velocidades  $v_e \pm v_p$ , según que los movimientos sean en el mismo sentido o en sentidos contrarios. [*Respuesta correcta, ir a la siguiente estación (E3)*].

#### OPCIÓN B

La velocidad con la cual Javier observa el haz de electrones será el vector resultante  $\mathbf{v}_e \pm \mathbf{v}_p$ , en donde el signo positivo corresponde al caso en que ambas velocidades tengan el mismo sentido y el signo negativo cuando son en sentidos contrarios [*Respuesta con un error conceptual, ir al kiosco Kc2*].

Información en Kc2: El signo positivo o negativo en la suma algebraica de las magnitudes de las velocidades  $v_e$  y  $v_p$  corresponde a que los sentidos del movimiento son iguales o son opuestos, cuando la dirección del movimiento del haz de electrones es la misma que la del movimiento de la plataforma. Las transformaciones de Galileo suponen un tiempo y un espacio absolutos que no cambian al modificarse el sistema de referencia. [*Regresar a E2 y seleccionar otra opción*].

#### OPCIÓN C

Para Javier, las tres componentes de la velocidad de observación serán tales que  $(\mathbf{v}_e)_x \pm (\mathbf{v}_p)_x$ ,  $(\mathbf{v}_e)_y \pm (\mathbf{v}_p)_y$  y  $(\mathbf{v}_e)_z \pm (\mathbf{v}_p)_z$ , según que los movimientos sean en sentidos iguales o en sentidos contrarios. [*Respuesta con un error procedimental, ir al kiosco Kp2*].

Información en Kp2: El principio de superposición se aplica a la suma algebraica de las magnitudes de las componentes de las velocidades que tienen la misma dirección. Las transformaciones de Galileo indican que sólo cambia la componente en la dirección del movimiento; esta dirección debe ser la misma para el haz de electrones y para la plataforma, aunque puedan ser en el mismo sentido o en sentidos contrarios. Por otra parte, las magnitudes de las componentes de las velocidades en las dos direcciones mutuamente perpendiculares a la dirección del movimiento son las mismas en el sistema de la plataforma donde está Margarita, el sistema que se encuentra en movimiento relativo respecto del laboratorio, y en el sistema en reposo del laboratorio en donde está Javier. [*Regresar a E2 y seleccionar otra opción*].

## VI. LABERINTO DE RELATIVIDAD GENERAL

El empleo cada vez más frecuente de computadoras en enseñanza y aprendizaje, el surgimiento de tendencias didácticas con enfoque ciencia-técnica-sociedad (CTS) y el incremento de investigaciones educativas como las de Amadeu & Leal (2013) o la Flores (2013), permitieron el diseño de laberintos conceptuales hechos con y para computadora. Este es el caso del laberinto de relatividad general.

En este laberinto las estaciones ya no están numeradas, como sucede en el laberinto de gravitación, porque ahora éstas y los corredores se han relacionado mediante hipervínculos. Se presenta en un documento de varias cuartillas elaborado en Word y mediante 'control clic' se pasa a diferentes lugares del mismo archivo. Además, en los kioscos donde se provee de información, adicionalmente a un breve escrito, hay vínculos para que los estudiantes revisen videos en internet y puedan valorar sus respuestas.

Se parte de un problema inicial que considera las aportaciones de Galileo Galilei sobre la caída de una esfera al rodar por un plano inclinado. Ésta es una situación ya conocida por los alumnos de bachillerato que abordan el aprendizaje de Relatividad General, ya que este contenido se presenta en los programas de estudio en semestres posteriores a la revisión de Mecánica Clásica donde el trabajo del italiano es punto de partida. El enfoque didáctico es partir de ideas ya conocidas por los estudiantes para que, con base en ellas, se articulen nuevas ideas.

La situación inicial plantea la comparación de la relación distancia-tiempo para una esfera que cae por un plano inclinado con otra análoga, pero que cae por un plano inclinado ubicado en una nave espacial que viaja fuera de la Tierra. Mediante el paso por el laberinto, los estudiantes identifican las principales ideas de la relatividad general (principio de covarianza, principio de equivalencia, y curvatura de un rayo de luz por efecto de un campo gravitatorio), para concluir que en ambos casos (en la Tierra y en la nave espacial fuera de ella), existe una relación de proporcionalidad directa entre la variable de distancia y la del tiempo, ya que la descripción de los fenómenos naturales es la misma sin importar el sistema de referencia o su estado de movimiento.

En este laberinto se procuran situaciones cercanas a los estudiantes, como platicar por Skype con un compañero de clase para hacer la tarea, y en torno a este contexto se entrelazan cuestiones en las que se plantea el manejo de contenidos específicos, que abordadas de manera aislada pueden carecer de significado. Por ejemplo, en la Tabla IV se presenta una de las estaciones por las que debe pasar el estudiante y donde se pregunta sobre ideas muy precisas de la relatividad general.

**TABLA IV.** Ejemplo de una estación.

En la Teoría de Relatividad General los campos gravitacionales son muy importantes porque sus efectos se equiparan con los efectos de sistemas acelerados, ¿cuál es el origen de los efectos gravitacionales (o curvatura espacio-tiempo) de acuerdo con esta teoría?

- La masa de los cuerpos.
- La masa y la energía de los cuerpos.
- La masa, la energía y el impulso de los cuerpos.

La posibilidad de emplear computadora e internet influyeron en el diseño de este laberinto. A diferencia de lo que ocurre con el laberinto de gravitación donde los kioscos de información son breves, en mayor cantidad y se encuentran diluidos en las estaciones, en el de relatividad general éstos son más extensos, muy definidos y con vínculos a internet. Los kioscos en este laberinto son nueve y sus contenidos son:

1. Curvatura de los rayos de luz.
2. Corrimiento al rojo.

3. Agujeros negros.
4. Cosmología y Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés Global Positioning System).
5. Relación d-t en planos inclinados.
6. Principios de relatividad especial y general.
7. Principio de equivalencia.
8. Relatividad general.
9. Época dorada de la relatividad general.

Otra diferencia importante que se logra con el empleo del equipo de cómputo y que por supuesto se utiliza en el laberinto de relatividad general, es la inclusión de imágenes a color. Esto hace que la tarea sea más agradable visualmente y sea menos tediosa.

Cabe hacer mención que el tratamiento de contenidos no profundiza en detalles como el espacio de Minkowski, coordenadas gaussianas o el empleo de cálculo diferencial/integral. Solamente se pretende acercar a los estudiantes a las ideas relevantes de esta teoría de una manera atrayente e interesante y así promover el gusto por el aprendizaje de esta ciencia.

El laberinto de relatividad general se encuentra disponible en: <http://comcol.pbworks.com>.

## VII. CONCLUSIONES

Se presentan en tres niveles: construcción de laberintos conceptuales, aplicación con estudiantes y consecuencias para la enseñanza y el aprendizaje de la Física.

### *Construcción:*

- El diseño de laberintos hace que los profesores analicen los contenidos desde una perspectiva que implica precisar sus conceptos, jerarquizarlos e identificar las formas en que se pueden articular para su aprendizaje. Por ello este diseño obliga a que el profesor trascienda su conocimiento de Física para llegar a reflexionar sobre la Física y sobre su enseñanza.
- Los laberintos se pueden diseñar para ser resueltos sólo con papel y lápiz, o con el uso de recursos digitales. El profesor puede elegir el formato de diseño en función de los medios disponibles.
- El empleo de recursos digitales favorece la estructuración de laberintos conceptuales, además la posibilidad de tener acceso a internet para consultar textos, audios, videos y simulaciones da mayor riqueza y versatilidad a la información propuesta en los kioscos.

### *Aplicación:*

- Se sugiere explicar la forma de dar solución al laberinto y ejemplificar la toma de decisiones en la primera estación, ya que la solución de este tipo de instrumentos no es frecuente.
- La aplicación de los laberintos se sugiere durante la revisión del tema correspondiente, justo como evaluación formativa.
- La solución de laberintos conceptuales puede hacerse en clase o como trabajo extra clase, de manera individual o en equipo.
- Un laberinto conceptual puede ser resuelto en más de una ocasión por los estudiantes al seguir diferentes caminos, oportunidad excelente para revisar contenidos desde otros puntos de vista y aprender.
- Por las características del laberinto de relatividad general no es posible registrar la ruta que sigue el estudiante. Si se trasladaran estos contenidos a otro recurso técnico (como *Macros*), se podría obtener este registro de manera automática.

### *Consecuencias:*

- El análisis de la ruta que sigue un estudiante al resolver un laberinto proporciona información sobre los aspectos en los que tuvo problemas durante su aprendizaje. Esto se hace evidente porque elige una respuesta

incorrecta y debe regresar para reflexionar y elegir otra respuesta. Este análisis también proporciona información sobre la estrategia de enseñanza, que puede tener énfasis en el desarrollo de procedimientos experimentales o teóricos, por ejemplo.

- El profesor que construye un laberinto conceptual mejora el manejo que hace de los contenidos que enseña.
- El estudiante que resuelve un laberinto conceptual consolida lo aprendido en clase, identifica aquello que no sabe muy bien y lo mejora, distingue lo que no sabe e incorpora información, y reconoce sus errores y los corrige.

## REFERENCIAS

Jiménez, E. (2004). *Desarrollo de habilidades metacognitivas en la solución de problemas de mecánica: caso Colegio de Bachilleres*. Tesis inédita de doctorado. Universidad Pedagógica Nacional. México.

Hierrezuelo, J. & Montero, M. (2002). *La ciencia de los alumnos*. México: Distribuciones Fontanamara.

UNAM. *Physlet del inventario del concepto de fuerza*. (s. f.) [http://hp.fciencias.unam.mx/Fisica/Laboratorio\\_de\\_Mecanica/icf/](http://hp.fciencias.unam.mx/Fisica/Laboratorio_de_Mecanica/icf/) Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2014.

Aslanides, J. S. & Savage, C. M. (2013). Relativity concept inventory: Development, analysis, and results. *Physical Review special topics-Physics education research*. DOI: 10.1103/PhysRevSTPER.9.010118.

University of Colorado Boulder. (s. f.). *Phet Interactive simulations*. <https://phet.colorado.edu/es/simulations/category/physics>. Consultado: 10 de agosto de 2014.

Stewart, I. (2001). *El laberinto mágico. El mundo a través de ojos matemáticos*. Barcelona: Deakontos Bolsillo.

Alvarenga B. & Maximo, A. (2004). *Física General*. México: Harla.

Hewitt, P. (1999). *Física conceptual*. México: Addison Wesley Longman.

Tippens (2007). *Física: conceptos y aplicaciones*. México: Mc-Graw Hill.

Amadeu, R. & Leal, J. P. (2013). Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), 177-188. ISSN: 2174-6786.

Flores, A. (2013). *Uso del enfoque CTS para la enseñanza de la Física en el área de las Ciencias Biológicas y de la Salud*. Tesis inédita de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. México.