



Un modelo de enseñanza neuropedagógico de las Leyes de Newton para la *Net Gen*

Antonio Lara Barragán Gómez^{1,2}

¹Departamento de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara, Av. Revolución 1500, Col. Olímpica, Sector Reforma, Guadalajara, Jal. México.

²Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad Panamericana campus Guadalajara, Av. Circunvalación Poniente no. 49, Cd. Granja, Zapopan, Jal. México.

E-mail: alara@up.edu.mx

(Recibido el 27 de Abril de 2011; aceptado el 29 de Junio de 2011)

Resumen

Se presenta una alternativa de secuencia temática para la enseñanza de las Leyes de Newton que invierte el orden tradicional. El fundamento de esta secuencia obedece a la serie de preconceptos con los que llegan los estudiantes de preparatoria a la universidad, por los que se ha observado que comenzar por la descripción de las interacciones (Tercera Ley de Newton) conduce a una mejor comprensión de la Segunda Ley y esta lleva a entender de manera natural la Primera Ley. Se propone un modelo de enseñanza-aprendizaje que parte de una conceptualización rigurosa de las leyes de Newton, y se fundamenta en aportaciones de la neurociencia aplicadas a la educación. Aunado a ello se toman en consideración las características de la llamada Generación Net o, simplemente *Net Gen* en el diseño del modelo de enseñanza-aprendizaje. Finalmente, se reportan los resultados de la aplicación del modelo a tres grupos de estudiantes de nuevo ingreso a la universidad.

Palabras clave: Leyes de Newton, Enseñanza de la Física, Generación Net, neurociencia.

Abstract

An alternate content sequence for teaching Newton's Laws is presented. In this sequence, the order of presentation is inverted. The foundations for this new alternate sequence are based upon the prior knowledge possessed by freshmen at our university. It has been observed that when interaction concept is first presented (Newton's Third Law) a clearer understanding of Newton's Second Law is enhanced and then First Law acquires deeper understanding. In is then proposed a teaching model that begins with a rigorous conceptualization of Newton's Laws, based upon neuroscientific findings applied to education. The model considers also features of the so called Net Generation (Net Gen). The model was used for three groups of students and results are presented in the final part.

Keywords: Newton's Laws, Physics Teaching, Net generation, neuroscience.

PACS: 01.30.lb, 01.40.gf, 01.50.Zv.

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Las Leyes de Newton conforman el fundamento de la Física Clásica y, como corolario, son los cimientos de prácticamente todo el edificio de la Física. Sin embargo, es un hecho que las dificultades de su aprendizaje y aplicación son grandes y variadas, especialmente en niveles medio y medio superior. Muchos trabajos de investigación educativa se han llevado a cabo desde hace décadas en los que se evidencian errores de concepto y fallas didácticas [1, 2, 3, 4, 5]. Asimismo, también se han puesto a consideración de la comunidad científica diversos acercamientos y estrategias didácticas acordes a las situaciones educativas vigentes [6, 7, 8, 9, 10]. Un aspecto de común acuerdo en la literatura, es que el concepto de masa es el más elusivo, el más estudiado y el menos comprendido [11, 12, 13] de manera que, junto con el concepto de fuerza, la

comprensión cabal de las Leyes de Newton sea un colosal reto para el proceso enseñanza-aprendizaje en todos los niveles. Por un lado, pareciera que no se ha tomado en cuenta –para los países de habla hispana– los problemas de traducción y contextualización. Desde esta perspectiva ha de entenderse que los textos escritos por los pioneros de la ciencia representan una cultura diferente. En este sentido, las leyes de Newton son un fenómeno cultural del siglo XVII y, sin embargo, las estudiamos desde nuestra propia perspectiva. Después de leer los *Principia* es fácil darse cuenta que Newton escribió sus leyes en forma de metáforas, lo cual constituyó la declaración de un nuevo paradigma. Además, dado que fueron escritas en latín, los traductores, a pesar de su buena intención por buscar mayor simplicidad, han introducido cambios que han creado claramente nuevos textos. Así, la historia ilustra que una idea se degrada conceptualmente de su significado original

dando un resultado muy distante de las intenciones del autor [14].

Además de las dificultades que acarrearán los conceptos mismos y el contexto histórico en que se enuncian las leyes y las traducciones, en la actualidad encontramos dos nuevos aspectos fundamentales dentro del campo de la educación: la reciente ciencia emergente, la neuropedagogía, y las características de los estudiantes actuales que conforman la llamada *Generación Net* o simplemente, la *Net Gen*. El primero de ellos, la neuropedagogía, se refiere a las aplicaciones de los recientes descubrimientos de la neurociencia a la educación [15], mientras que el segundo da cuenta de las grandes diferencias que existen entre las personas nacidas después de 1980 y las nacidas antes de ese año [16]. Sabemos ahora que los miembros de la *Net Gen* aprenden de manera diferente a como aprendieron las personas no pertenecientes a ella, por lo que es menester utilizar otras estrategias didácticas también diferentes.

El propósito del presente trabajo es poner a consideración de la comunidad científica un esquema didáctico innovador para la enseñanza de las leyes de Newton basado en los cuatro aspectos esbozados anteriormente. Tal propuesta ha sido probada en dos universidades de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México, con resultados satisfactorios. El trabajo está organizado de la siguiente manera: En una primera sección analizamos someramente los dos primeros aspectos mencionados, el contexto histórico y las traducciones; en seguida exponemos brevemente las facetas relevantes de la neuropedagogía; la tercera parte presenta los aspectos relevantes de la *Net Gen* y, finalmente, exponemos un esquema didáctico para la enseñanza de las leyes de Newton.

II. ACERCA DE LAS LEYES DE NEWTON

El libro *Principios Matemáticos de la Filosofía Natural*, o simplemente los *Principia*, es una obra que comienza con *Definiciones y Axiomas o Leyes del Movimiento*, y continúa con tres libros: Libro 1, *De motu corporum* (Acerca del movimiento de los cuerpos), Libro 2, que contiene parte del contenido del Libro 1 concerniente al movimiento a través de medios resistivos, y el Libro 3, *De mundi systemate* (Sobre el sistema del mundo). No conocemos, hasta el momento, traducciones directas del latín al español, pero existen varias traducciones del latín al inglés [14]. La traducción al inglés de las leyes de Newton más usual es:

1. *Everybody preserves its state of rest or uniform motion in a right line, so far as it is not compelled to change that state by forces impressed on it.*
2. *The alteration of motion is ever proportional to the motive force impressed; and is made in the direction of the right line in which that force is impressed.*
3. *To every action there is always opposed an equal reaction: or the mutual actions of two bodies upon each other are always equal, and directed to contrary parts.*

Los problemas de traducción e interpretación en español están a la vista. De acuerdo con expertos en historia y lingüística, tenemos las siguientes equivalencias o traducciones de algunas definiciones y términos dados o usados por Newton [11, 14]:

1. *Materia* la define como el producto de densidad y volumen (bulk).
2. *Movimiento* (motion) es el producto de la materia (masa) y la velocidad. Por consiguiente, movimiento (motion) corresponde al concepto contemporáneo de momento lineal con su símbolo p .
3. Lo que Newton denomina *fuerza* y *acción* es lo que hoy llamamos impulso: $I = Fdt$.
4. La materia (masa) tiene una característica (*fuera innata; innate force*) llamada *vis insita* y esta característica es lo que hace que la materia (masa) obedezca la primera ley del movimiento.

Por otro lado, a veces escuchamos que la Primera Ley es un caso particular de la Segunda Ley y el asunto ha sido objeto de debate y discusión durante años. Sin embargo, la misma estructura lógica de las leyes de Newton en su forma original en los *Principia*, nos permite estar de acuerdo con quienes aseguran que la Primera Ley no es un caso particular de la Segunda Ley [12, 14], y que además, de acuerdo con Swartz [17] la Primera Ley tiene como función establecer un marco de referencia para la segunda y tercera leyes.

De acuerdo con lo anterior, la Primera Ley quedaría, para nuestros propósitos, como:

Todos los cuerpos mantienen su estado de reposo o movimiento uniforme en línea recta hasta que no se vea obligado a cambiar ese estado por la aplicación de fuerzas.

Es importante, entonces, hacer notar, primero, que la ley se enuncia de manera textual; segundo, que esta ley se refiere a un solo cuerpo (o a un solo sistema) aislado, y finalmente, como la palabra movimiento se refiere al momento, puede enunciarse matemáticamente como $dp = 0$.

La segunda ley tiene mayores complicaciones. La investigación educativa muestra que la Segunda Ley de Newton tiene una presentación y una interpretación generalizada simple: la fuerza es igual a masa por aceleración [6, 11, 18], lo cual es el origen de toda suerte de errores conceptuales relacionados con fuerza y masa. Traducido al español el texto anterior de la Segunda Ley quedaría como:

La rapidez de cambio del momento siempre es proporcional a la fuerza –motriz– aplicada y se realiza en dirección de la línea recta sobre la cual se aplica la fuerza.

En simbología moderna esta ley tiene la forma algebraica:

$$F = \frac{dp}{dt}$$

de la que, por manipulación algebraica y con la definición de momento, $p = mv$, se llega a la ecuación conocida $F = ma$. Con respecto a ésta última caben dos comentarios relevantes. En primer lugar, la Segunda Ley es una relación causa-efecto, en la que la causa es la fuerza aplicada y el efecto la rapidez de cambio de momento (o, en otras

palabras, el efecto es la aceleración). Aquí el problema es que la mayoría de los estudiantes, de acuerdo con nuestra propia experiencia y lo reportado en la literatura [6], consideran que el lado derecho del signo igual en las ecuaciones son instrucciones para calcular lo que se encuentra del lado izquierdo del signo igual. Entonces, la Segunda Ley se interpreta como “toma las cantidades m y a , multiplícalas y el resultado es F ”. Esta interpretación acarrea otra forma de conceptualizar las cosas, pues el estudiante entiende que la fuerza es proporcional a la aceleración, o que la aceleración es la causa de la fuerza.

El segundo comentario es que, de acuerdo con la semántica y la sintaxis del lenguaje de la física, podemos encontrar, al menos, tres significados para el signo “=”: el más elemental quiere decir que un lado de la ecuación es equivalente al otro lado. El segundo se relaciona con la noción de variables dependientes e independientes, y el tercero se relaciona con definiciones [7]. Para el caso que nos ocupa, el segundo significado es el adecuado. De esta manera, la estructura de la Segunda Ley en términos de la aceleración, debería escribirse de acuerdo a que ésta es función de la fuerza aplicada, como una relación lineal del tipo $y = kx$, donde y es la variable dependiente, x la variable independiente y k una constante de proporcionalidad que, en el caso general, se identifica con la pendiente de la recta. Por consiguiente, la Segunda Ley de Newton, en términos de la aceleración producida, debería escribirse como [6, 19]:

$$a = \frac{1}{m}F, \Rightarrow a = \frac{F}{m}.$$

El caso de la Tercera Ley es todavía más difícil, puesto que esta ley va en contra del sentido común, o en otras palabras, de la experiencia cotidiana. La primera y mayor de las dificultades que enfrentan nuestros estudiantes se resume en la expresión: *en una interacción, el cuerpo de mayor masa aplica la mayor fuerza*. Y esta afirmación tiene su origen en dos fuentes. La primera es la propia experiencia cotidiana, pues para los estudiantes es evidente que, por ejemplo en un accidente automovilístico, el vehículo más “pesado” –en palabras de los estudiantes– es el que ocasiona el daño mayor. La segunda es la interpretación errónea de la Segunda Ley, puesto que si entienden que la fuerza es masa por aceleración, en consecuencia el cuerpo que tenga más masa “tendrá” –en palabras de los estudiantes– la mayor fuerza (lo que quieren decir es que el de mayor masa aplica la mayor fuerza). De hecho, la Tercera Ley es fundamental para ayudar a los estudiantes a que distingan, dentro del contexto newtoniano, lo que *es* una fuerza de lo que no lo es.

Además del asunto de lo que podríamos denominar Principio del Vencimiento (la segunda interpretación errónea) se encuentra el problema de lo que comúnmente conocemos como *par acción-reacción*. Creemos que uno de los puntos finos esenciales de la Tercera Ley es que la interacción entre cuerpos da lugar a dos fuerzas –el par acción-reacción– y que estas fuerzas están aplicadas a cuerpos diferentes. El ejemplo más claro lo hemos observado durante varios años: en el movimiento circular uniforme, la “fuerza centrífuga” es la reacción a la fuerza

centrípeta. Y otro ejemplo que puede utilizarse fácilmente es: Se tiene un objeto (un florero, un libro, una manzana, etc.) en reposo sobre una mesa; identifica las fuerzas aplicadas al objeto. En general, encontraremos respuestas inmediatas del tipo “la fuerza de gravedad (*sic*) y la fuerza normal”. Y al preguntar. ¿Cuál es la fuerza de reacción a la fuerza de gravedad? También la respuesta automática es: “la fuerza aplicada por la mesa al objeto, o sea, la fuerza normal”. Este tipo de errores se han documentado y estudiado con cierta profusión [18, 20, 21].

Es evidente que la Primera Ley y la Tercera Ley están interconectadas y que una no puede entenderse sin la otra. Como consecuencia, obtener una imagen de las fuerzas aplicadas a un cuerpo es un problema complejo aún para situaciones simples como el objeto en reposo sobre la mesa. Para que los estudiantes comprendan lo que significa que varias fuerzas estén balanceadas, primero necesitan entender lo que es una fuerza y, a su vez, para entender qué es una fuerza necesitan entender primero que una fuerza es el resultado de una interacción entre dos cuerpos [22, 23]. Aunado a esto, también existe una interdependencia entre la segunda y la tercera Leyes y entre la primera y la segunda. Podemos entender esto como si las tres leyes del movimiento formasen una unidad indisoluble, lo que en sí mismo es un problema pues, generalmente, el estudiante promedio es incapaz de poner los conceptos en esta perspectiva, por lo que el conocimiento y comprensión que tienen se encuentran “fragmentados y compartamentalizados, por lo que nunca perciben la unidad del objeto de conocimiento” [24].

III. NEUROCIENCIA Y EDUCACIÓN

La neurociencia estudia el sistema nervioso en general y, entre sus objetivos de investigación se encuentra la descripción del funcionamiento del cerebro humano, así como determinar cómo se desarrolla el sistema nervioso, cómo madura y cómo se mantiene a sí mismo a lo largo de la vida. La investigación sistemática sobre el cerebro fue impulsada en la década de los 90’s del siglo XX, periodo que se denominó Década del Cerebro [25]. Muchos fueron los hallazgos relacionados con el aprendizaje, algunos de los cuales reforzaron y complementaron ideas que ya se tenían con anterioridad, pero muchos otros vinieron a derribar otras creencias, algunas de las cuales todavía tienen un gran arraigo entre amplios sectores educativos. Ejemplo de esta última es el mito de la especialización de los hemisferios, esto es “la persona de cerebro izquierdo o de cerebro derecho”. La historia de cómo se originó este mito, y todos los llamados neuromitos [26] se documenta profusamente en las referencias 15 y 25. El mito de la especialización hemisférica afirma que el hemisferio izquierdo (o “cerebro izquierdo”) es el asiento del pensamiento racional e intelectual, mientras que el “cerebro derecho” es el asiento de la intuición, las emociones y el pensamiento no verbal. Así, los artistas y las profesiones “creativas”, pertenecerían al grupo de personas de “cerebro derecho”, y los ingenieros, matemáticos e investigadores,

son de “cerebro izquierdo”. Actualmente se sabe que el cerebro no funciona de esa manera, por lo que todos los modelos educativos basados en esa creencia carecen de fundamento científico. De acuerdo con esto, en los últimos años se han propuesto algunos modelos educativos basados en la neurociencia lo que ha dado lugar a la emergencia de una nueva ciencia transdisciplinaria: la neuropedagogía, dentro de la cual se han realizado diversas aportaciones [27, 28]. De acuerdo con ello, nuestra postura es que debe darse un giro radical a la práctica docente para volver los ojos hacia dos enfoques alternativos: el constructivismo y la enseñanza basada en neurociencia. El primero de ellos es, hasta el momento de escribir estas líneas, junto con algunos aspectos del conductismo, el único modelo educativo que tiene un soporte neurocientífico adecuado [29, 30, 31].

Desde nuestra experiencia, las estrategias didácticas que propondremos más adelante, siguen los lineamientos de una teoría de aprendizaje desarrollada en nuestras universidades fundamentada estrictamente en descubrimientos neurocientíficos [32]. Para el desarrollo de la teoría en cuestión, algunos de los aspectos considerados fueron: (a) La plasticidad del cerebro, que significa que el cerebro continúa desarrollándose, aprendiendo y, sobre todo, cambiando su morfología a lo largo de toda la vida, hasta que aparece la senilidad avanzada o la muerte [31]; (b) El aprendizaje implica un cambio relativamente permanente de estructuras especializadas de la membrana neuronal, lo que quiere decir que un aspecto de la plasticidad es que la membrana neuronal se modifica en su estructura molecular como resultado de la experiencia y esa modificación es lo que se identifica como aprendizaje [33, 34]; y (c) El proceso de aprendizaje está mediado por factores emocionales, cuyo control se encuentra en regiones especializadas del cerebro, y por la acción conjunta del cerebro actuando como un todo organizado [35, 36].

Además de estos aspectos, es necesario propiciar una cultura de salud cerebral con el objetivo de mantener actividades intelectuales adecuadas y sanas a lo largo de la vida. Para ello los expertos señalan cinco factores esenciales para el aprendizaje [37, 38]: ejercicio, dieta sana, interacción social, estabilidad emocional, ausencia de contaminantes (incluyendo tabaco, alcohol y drogas) y sueño. El primero de ellos indica que el sedentarismo es nocivo, aunque tampoco se trata de convertirse en atleta de alto rendimiento. De 20 a 30 minutos de ejercicio aeróbico intenso cuatro veces por semana es el mínimo suficiente. En cuanto a lo segundo, a veces se piensa que *dieta sana* significa vegetariana o similar. A este respecto ha de reflexionarse sobre lo siguiente: los neurotransmisores y los anticuerpos, tanto como las estructuras anatómicas del cuerpo humano, están contruidos con proteínas. Por consiguiente, eliminar el consumo de proteínas de origen animal de la dieta es un acto irracional. La dieta ha de balancearse para incluir todos los tipos de alimentos; el hombre es omnívoro por esencia. Los tres factores restantes son fáciles de entender y asimilar por lo que no abundaremos en ellos.

Con respecto al sueño, su estudio clínico se inició en 1953. Nelson [37] reporta que existe una correlación entre

la consolidación de la memoria y el sueño, presumiblemente por la formación y fortalecimiento de nuevas conexiones entre neuronas (la plasticidad del cerebro). Los procesos no se han dilucidado completamente y aún estamos lejos de comprender cabalmente los mecanismos del sueño asociados con el aprendizaje; sin embargo, la tendencia de los resultados de las observaciones apunta a que el sueño no es precisamente como se especulaba antes, para “recargar” de energía al cuerpo, o para que el cerebro se “limpiara” de agentes químicos nocivos. De aquí una de las tareas de la educación es encontrar los medios para evitar que los educandos hagan a un lado prácticas dañinas como “estudiar” la noche anterior a un examen.

Por otra parte, una serie de hallazgos son de gran importancia para nuestro trabajo. Hansen y Monk [31] reportan que el desarrollo del cerebro desde el nacimiento hasta pasados los 20 años de edad, va sufriendo cambios morfológicos que ocurren en una especie de saltos; esto es, por ejemplo, entre los 4 y 6 años viene una etapa de desarrollo, después un periodo de reposos relativo en el desarrollo, luego otro salto seguido de una nueva etapa de reposo y así sucesivamente hasta completar 4 periodos. Estas etapas, en el proceso del desarrollo cerebral, pueden asociarse a los estadios que describe Piaget en su teoría del desarrollo intelectual [39], lo cual tiene una implicación fundamental para nuestra propuesta como se discutirá en la sección V.

IV. LA NET GEN

Las nuevas generaciones de estudiantes presentan características de actitud y comportamiento diferentes a las de generaciones anteriores. Para los profesores universitarios de más de diez años de experiencia resulta evidente en sí mismo que los estudiantes de nuevo ingreso a la universidad hace diez años fueron diferentes a las generaciones de hace tres o cuatro años. Estas diferencias no son privativas de nuestro medio, sino que se manifiesta como un fenómeno mundial. Esto ha dado lugar a una nueva denominación para las generaciones de estudiantes actuales, la Generación Net (*Net Gen*) o del Milenio [40]. El tema de las nuevas generaciones ha sido tratado profusamente por diferentes autores con base en sus observaciones llevadas a cabo en los Estados Unidos y en Europa, principalmente. Para ello, se parte del concepto de generación como el conjunto de personas que “comparten características peculiares dado uno o varios criterios y que hacen que los miembros del grupo exhiban comportamientos similares” [41]. La obra de Dan Tapscott [39] y la de Oblinger y Oblinger [42] se han convertido en referencias obligadas para descubrir y entender a la *Net Gen*. En países de habla hispana no ha sido fácil encontrar trabajos de investigación relacionados con el tema. Entre los existentes, destaca el de Padilla Lavín [43], quien sugiere que el mayor reto que enfrenta la educación universitaria “está en la ruptura del paradigma tradicional de enseñanza-aprendizaje” especialmente por parte de los

profesores, quienes deberán convertirse en “humildes estudiantes” que deben aprender lo necesario para lograr sintonizarse con sus alumnos y alumnas.

Por otra parte, Dávila [44] habla de una crisis en la educación, dado que “nunca antes como ahora, los niños y jóvenes pueden saber más y tener más dominio sobre una innovación para el mundo”. En su visión, afirma que la *Net Gen* se siente mejor con la tecnología que con sus familias o sus profesores, por lo que para el gran desafío consiste en educar niños y jóvenes que saben más de tecnología que sus maestros, son más seguros de sí mismos y se encuentran conectados a la red durante tiempos muy largos. Sin embargo, tanto Padilla como Dávila recurren a las sugerencias educativas de Tapscott [40], Oblinger y Oblinger [42] y Sandars [45], lo cual no demerita su trabajo. Es claro que ambas investigadoras hacen aportes significativos a la educación de la *Net Gen* que se resumen en la necesidad de un cambio en los perfiles docentes lo cual sólo puede lograrse por medio de la aceptación de lo nuevo e innovador, y de la formación y actualización continua y permanente.

En otro orden de cosas, Ferreiro [41] asegura que la forma de ser de la *Net Gen* está condicionada por un conjunto de factores, del que el primero es, indudablemente, “las TIC y su influencia en las formas de pensar, sentir y hacer las cosas y con ello la estimulación que provoca en la persona en crecimiento”, pues, en su visión, tal estimulación ha modificado el ritmo del desarrollo intelectual entre niños y adolescentes. De acuerdo con él, la celeridad del desarrollo intelectual está influida también por otros factores de tipo socioeconómico y ambiental, alimentario, y de intercambio genético. Para Ferreiro no es posible educar a la *Net Gen* “sin el uso de las tecnologías que los unen y marcan como generación.” Pero no se trata de simplemente incorporar lo nuevo a lo viejo, o de hacer lo mismo que antes pero con tecnología de punta, como lo es sustituir el pizarrón por pantalla, cañón y Power Point. De lo que se trata, afirma Ferreiro, “es de diseñar nuevos ambientes de aprendizaje acordes con el estado del arte de las ciencias y las tecnologías contemporáneas” sin perder de vista que las TIC amplían y enriquecen las posibilidades de la educación, más no sustituyen formas tradicionales de aprendizaje. Lo nuevo será la forma en que se usan los recursos para crear una situación de aprendizaje centrada en el estudiante, que promueva el autoaprendizaje, la construcción social de su conocimiento “y el desarrollo de su pensamiento crítico y creativo mediante el trabajo cooperativo y el acceso directo a la información” mediante el uso de los recursos relacionados con las TIC, seleccionados para cada contenido y objetivo de aprendizaje.

Para entender las diferencias entre la *Net Gen* y las demás generaciones, comenzamos por ver que una clasificación generacional afirma que existe una categorización de las personas nacidas en determinadas épocas de la historia reciente [46, 47, 48]: los *baby boomers*, todas aquellas personas nacidas entre 1946 y 1964; los *baby busters*, nacidas entre 1965 y 1976, y la *Net Gen*, a la que pertenecen quienes nacieron entre 1980 y

1994. En dos universidades de la zona metropolitana de Guadalajara, el promedio de profesores que pertenecen a los *baby boomers* es de 55.5%, a los *baby busters* del 33.6 % y el 10.9 % a la *Net Gen* [49]. Sandars [45] utiliza la metáfora de los *inmigrantes digitales* para referirse a todas aquellas personas que no pertenecen a la *Net Gen*. Éste nombre es acertado porque hace ver que cuando un inmigrante se encuentra con una cultura nueva, generalmente hace su mejor y mayor esfuerzo por adaptarse a ella, aunque en algunos casos sus esfuerzos no producen resultados positivos porque arrastran consigo antecedentes culturales propios prácticamente imposibles de erradicar. Los números anteriores muestran que, en nuestras universidades, el 89.1% de los profesores, en promedio, son inmigrantes digitales. Prensky [50] propone dos maneras por las que esta clase de profesores puede avanzar. La primera es reconocer que la *Net Gen* requiere aprender de una manera diferente, y la segunda, consiste en revisar críticamente los supuestos que se tienen sobre el aprendizaje, incluyendo tanto el contenido como el método. En la misma línea, Tapscott [40] sugiere que la concepción total de la enseñanza debe cambiar, de lineal a oportunidades de aprendizaje en hipermedios, de instrucción a construcción y de métodos estandarizados a acercamientos personalizados de aprendizaje.

Las orientaciones lineales del aprendizaje son los también llamados tradicionales, en las que el libro de texto es la fuente principal de recursos para el aprendizaje, el profesor es el protagonista del proceso y los contenidos son la base y fundamento de la instrucción. Al respecto, es nuestra convicción de que uno de los grandes problemas aquí es que los libros de texto tradicionales, no importa que tan reciente sea su edición, presentan un acercamiento altamente estructurado, con un inicio y un final, para una sucesión de temas que se sigue más por tradición o costumbre que por innovación. Esta misma estructura se encuentra también en videos o CD ROMs. Es aquí donde por primera vez aparece el “choque cultural” con la *Net Gen*, puesto que ésta muestra diferentes aspectos para su forma de aprendizaje [45]:

a. Ambientes ricos en imágenes multimedia; especialmente se prefieren aquellos visuales con audio sobre los que se componen predominantemente de texto.

b. Los estudiantes prefieren involucrarse activamente en tareas que en la lectura sobre eventos o que en disertar o escribir sobre ellos.

c. La motivación para el aprendizaje viene de la participación activa en el proceso y por los intentos de responder a preguntas que surgen durante la realización de la tarea.

d. Se espera una respuesta inmediata a las acciones. La tecnología proporciona reacciones casi instantáneas.

e. Orientación a resultados, con preferencia por logros de aprendizaje claros respecto a una tarea en lugar de algo ambiguo.

f. Hay preferencia por trabajar en grupos en los que puedan ayudar activamente a compañeros. Esto contrasta con la observación de que los miembros de la generación

net pueden pasar horas en solitario con juegos en la computadora.

g. Consideran la interacción social como una parte importante de su aprendizaje.

h. La 'multitarea' es común, tal como escuchar música, trabajar en la computadora y participar en un *chat room*; todas estas actividades se llevan a cabo al mismo tiempo y su combinación no parece ir en detrimento de cada tarea individual.

Por su parte, Oblinger y Oblinger [42] añaden algunas diferencias significativas entre la *Net Gen* y los inmigrantes digitales:

a. La habilidad para leer imágenes visuales, lo que los hace comunicadores visuales intuitivos.

b. Las habilidades visuales espaciales que desarrollan probablemente por su experiencia con los juegos electrónicos.

c. El descubrimiento inductivo; esto es, aprenden mejor por descubrimiento que por lo que se pueda decir.

d. Despliegue de la atención, por lo que tienen la habilidad de mover su atención rápidamente de una tarea a otra y pueden elegir no prestar atención a cosas que no les interesan.

Aunado a lo anterior, estos investigadores afirman que la *Net Gen* no es un fenómeno exclusivamente dado por la edad, sino también influye el contacto con la tecnología. Por ejemplo, individuos que por edad pertenecen a los *Baby Boomers* pero que son usuarios de las TIC, tienden a desarrollar características similares a las de la *Net Gen*. Un breve test que proponen para evaluar esta situación –si se es inmigrante digital– contiene las siguientes preguntas:

¿Se siente más a gusto escribiendo documentos en línea que a mano?

¿Ha cambiado su agenda escrita a mano a un dispositivo digital?

Cundo va a una junta o reunión de trabajo, ¿lleva su lap top o PDA?

¿Está conectado constantemente? ¿Tiene acceso a la Internet en su lugar de trabajo y en su casa? ¿Siempre lleva a mano su teléfono celular?

¿En cuántas actividades puede involucrarse de manera efectiva simultáneamente?

El tipo de respuestas da una idea de qué tan *Net Gen* puede ser un inmigrante digital.

V. UN ESQUEMA DIDÁCTICO DE LAS LEYES DE NEWTON PARA LA NET GEN

El Esquema Didáctico (ED) que proponemos está constituido por cuatro partes esenciales: Principios Teóricos, Secuencia Temática, Actividades Especiales y Evaluación. La estructura del ED es jerárquica, en el sentido de que los Principios Teóricos fundamentan las otras partes, las que a su vez, conforman un subsistema flexible de relaciones que se realimentan una a la otra. A continuación describimos cada una de las partes.

Principios Teóricos. Los principios teóricos se originan en el marco referencial desarrollado someramente en las secciones I a IV anteriores. Son los siguientes:

a. El aprendizaje se construye sobre conocimientos previos.

Este principio es también la premisa básica del constructivismo [30]. Como se mencionó en la sección III, dado que los hallazgos neurocientíficos apoyan la teoría del desarrollo intelectual de Piaget, podemos afirmar que el constructivismo basado en las ideas de Piaget es el único paradigma educativo que tiene un fundamento neurocientífico [31]. De acuerdo con Piaget [39] el aprendizaje se construye sobre los conocimientos previos, también denominados preconceptos, que se encuentran presentes en el estudiantado en forma de experiencias, ideas, creencias e intuiciones aprendidas tanto en ambientes de educación formal, como a través de pláticas con amigos o parientes, lecturas, noticias, etc. Para nosotros es también claro que varias de las ideas de Piaget sobre el aprendizaje han sido superadas y perfeccionadas [51, 52], pero aquellas contenidas en el paso de un estado de equilibrio a otro, parecen haber sido comprobadas. El uso del constructivismo responde a los reclamos del alumnado *Net Gen*, en cuanto a que éstos pueden involucrarse activamente en los procesos de aprendizaje.

b. El aprendizaje requiere tanto interacción social como interacción con objetos.

La interacción social tiene dos perspectivas: la interacción alumno-alumno y la interacción alumno-profesor. En nuestro esquema ambas interacciones representan experiencias de aprendizaje en las que aparecen técnicas grupales variadas [53] y el trabajo colaborativo [54], el cual ha demostrado, desde hace tiempo, ser de gran utilidad en cuanto a la mejora de los procesos de aprendizaje [55]. En éste último entra también en la categoría de la interacción alumno-profesor. Sin embargo, ésta interacción se da más durante el tiempo de clase con el profesor pues es éste quien ha dado los primeros pasos al planear un curso y establecer objetivos de aprendizaje para el curso en su totalidad. Ha de aclararse que en el aprendizaje colaborativo el estudiantado se involucra en el establecimiento de objetivos de tareas específicas que también han sido preparadas por el profesor, pero no en los objetivos de aprendizaje del curso como un todo.

En cuanto a la interacción con objetos, se encuentran también tres facetas: la demostración o experimento de cátedra [56], las representaciones gráficas, y el uso de videos, podcasts y vodcasts [57, 58]. La primera es reconocida ampliamente y no es necesario abundar al respecto. En cuanto a la segunda, de lo que se trata es de la realización detallada y guiada de, por ejemplo, diagramas de cuerpo libre y de interpretación de gráficas. Para nosotros ha sido fácil constatar la poca –a veces nula– comprensión de lo que significa hacer un diagrama de fuerzas. Por otro lado, el uso de tutoriales escritos es una estrategia de excelentes resultados [59].

c. El aprendizaje requiere que el aprendiz se involucre con las experiencias de aprendizaje.

Las experiencias de aprendizaje mencionadas en el inciso anterior pueden resultar altamente exitosas siempre que el aprendiz se involucre activamente. No siempre es simple de lograr esto pues en todo salón de clases siempre existirán los estudiantes tímidos y/o reservados que no aceptan fácilmente enrolarse en actividades que requieran respuestas activas de su parte. La cuestión es encontrar mecanismos para lograrlo. Motivar a los estudiantes no participativos ha resultado ser uno de los más grandes retos en nuestras universidades. La generalidad de ellos arrastra vicios adquiridos en los ciclos educativos anteriores, lo que puede constatarse al preguntarles si en la secundaria y en la preparatoria sus cursos han seguido el modelo tradicional de fórmula-problema, que consiste en que el profesor da la definición de la cantidad que toca estudiar en un día determinado, les proporciona la “fórmula” para hacer cálculos y después procede a resolver problemas. Este procedimiento se repite *ad infinitum* a lo largo de todo el ciclo escolar. En nuestro medio, en los últimos seis años el porcentaje de estudiantes que afirma haber recibido sus cursos de física en esa modalidad es, en promedio, del 91%. En consecuencia, lograr que estudiantes con esa percepción de la física se involucren en actividades diferentes a los que se les ha acostumbrado durante varios años, es una tarea titánica. En ocasiones lo más conveniente ha sido emplear técnicas conductistas que impliquen premio o castigo. Conseguir que se involucren en experiencias activas de aprendizaje es crucial, pues se ha reconocido desde hace tiempo que tales actividades tienen efectos positivos en el aprendizaje [60].

d. El aprendizaje requiere de nuevas y mejores formas de evaluación que permitan tanto medir lo que se ha establecido como importante, tal como diagnosticar fortalezas y debilidades durante el proceso de aprendizaje.

En este punto lo que se propone es dar un viraje al concepto de evaluación como calificación con fines promoción, hacia evaluar como un proceso continuo a lo largo de todo el ciclo escolar y no únicamente al final de una unidad o ciclo. Este enfoque, en el que la evaluación es parte de la enseñanza-aprendizaje se conoce como *centrado en la reconceptuación educativa* [61], dentro del cual el que hemos utilizado en nuestro trabajo es un modelo alternativo de enseñanza-aprendizaje basado en la evaluación denominada *Valoración de los Aprendizajes* [62]. El concepto de este modelo es como un proceso que se diseña para ayudar al docente a entender lo que sus estudiantes, en el salón de clases, están aprendiendo y qué tan bien lo están aprendiendo. De este modo, la Valoración de los Aprendizajes se entiende como: (a) un proceso mediante el cual el profesor evalúa el aprendizaje de sus alumnos mediante instrumentos y tareas adecuadas; (b) el contexto en el que el profesor sitúa este proceso, y (c) el diálogo que circunda las calificaciones y define su significado. La evaluación, así conceptualizada, invita a integrar un ciclo de retroalimentación: de los instrumentos y tareas los docentes reciben retroalimentación sobre el aprendizaje de sus alumnos; entonces, los profesores con tal retroalimentación retroalimentan a sus alumnos a partir de los resultados y les

hacen sugerencias para mejorar sus procesos de aprendizaje. Después, para verificar la utilidad de sus sugerencias, los profesores vuelven a evaluar y se continúa el ciclo hasta que se decida terminarlo.

e. Para facilitar el aprendizaje, el rol del profesor ha de cambiar sustancialmente, dirigiéndose hacia las técnicas constructivistas, tanto como al uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC).

En nuestro medio la figura del profesor como expositor es dominante. Observaciones realizadas en nuestras universidades muestran que la clase promedio se reduce a un monólogo que difícilmente propicia la participación activa del estudiante, por lo que el desarrollo de habilidades y del pensamiento crítico se ve seriamente comprometido [49]. Por otra parte, en la actualidad tal forma de proceder es totalmente inadecuada para las nuevas generaciones de estudiantes conformadas por sujetos pertenecientes a la Net Gen quienes reclaman nuevas formas de enseñanza (secc. IV). La ED toma en consideración las características de la Net Gen al incorporar actividades en las que el uso de TIC es fundamental. Por otro lado, parte de las evaluaciones se realiza por medio de la Plataforma Moodle, en la que se integra un foro de discusión. Además, se sugiere el uso de la red social Facebook en la que se puede crearse un grupo para intercambio de información y guía en actividades especiales.

Secuencia Temática. La secuencia temática del ED trae una ruptura con la secuencia tradicional en la enseñanza de la mecánica. En ésta, tenemos dos vertientes. La primera, se determina con la clasificación tradicionalista de presentar a la Mecánica en Cinemática y Dinámica. La secuencia es tal que la Cinemática va en los primeros capítulos del libro de texto que determina el curso, seguida por un capítulo en el que se presentan las Leyes de Newton en el orden establecido y otro capítulo de aplicaciones de tales leyes [63]. En nuestra concepción, la Cinemática no se presenta, sino que se entra de lleno a la definición de movimiento, sistemas de referencia y la Ley de la Inercia de Galileo. En seguida se propone una definición de fuerza que, a pesar de ser criticada [12], nos resulta la más consistente con el ED: *fuerza es todo acto de jalar o empujar*. A partir de aquí, se hace ver que tal definición implica necesariamente la existencia de dos cuerpos y que éstos deben interactuar. Luego, los siguientes temas son las tres Leyes de Newton, pero las presentamos invertidas; esto es, comenzamos con la Tercera Ley que describe las interacciones, seguimos con la Segunda Ley que explica los efectos de las interacciones, y terminamos con la Primera Ley, por la que analizamos la ausencia de interacciones y definimos los sistemas de referencia en los que son válidas las Leyes de Newton. Todos los demás temas de la mecánica, se presentan como casos y aplicaciones de estas Leyes, a excepción de la Ley de Gravitación Universal, a la que se le da un estatus de igualdad con respecto a las tres leyes, pero como un tema aparte en la secuencia (Fig. 1).

Actividades especiales. Dentro y fuera del salón de clase tenemos, como actividades especiales la integración de búsqueda de videos relacionados con los temas de clase en YouTube, la visita a páginas con información adicional

como <<http://science.howstuffworks.com/>> y la visita al parque de diversiones local. En este caso, particularmente, la comunicación vía Facebook facilita el que los estudiantes puedan realizar adecuadamente su tarea y resolver dudas de manera inmediata. Para cada una de estas actividades es necesario preparar, previamente, una “guía de estudio” en las que se presentan preguntas o lineamientos para la presentación de un reporte escrito.

Evaluación. El tipo de evaluación que se utiliza en el ED ha sido discutido en el apartado (d) de los principios teóricos.

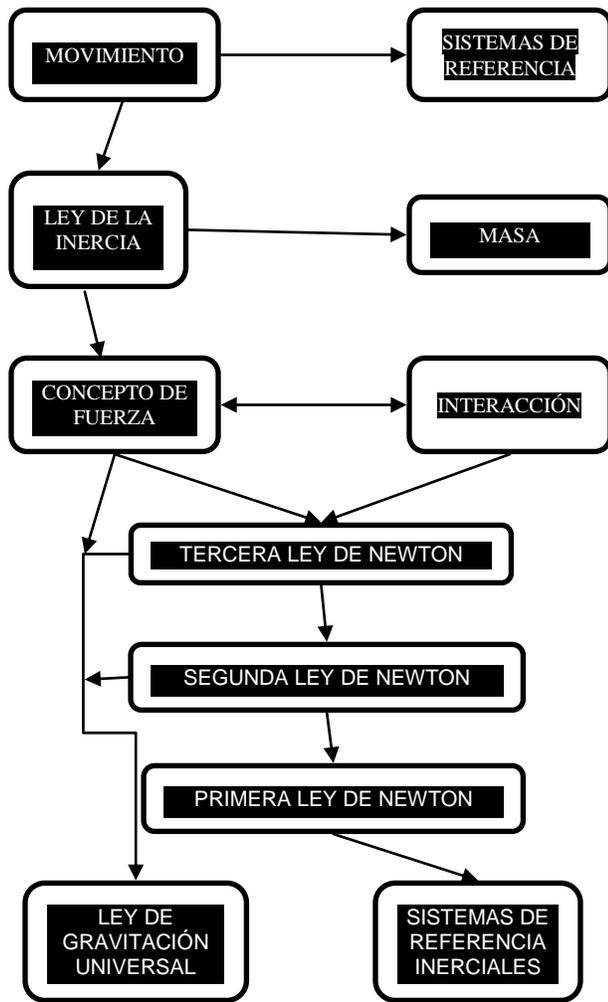


FIGURA 1. Secuencia temática del ED.

VI. UNA EXPERIENCIA DOCENTE DE ACUERDO CON LOS LINEAMIENTOS DEL ED

A continuación se describen los resultados de una experiencia docente llevada a cabo con estudiantes de primer ingreso a la universidad que cursan la asignatura obligatoria Introducción a la Física. Siguiendo a Cohen y

Manion [64], el estudio da lugar a una metodología cuasi experimental en la que se sigue el esquema $O_i - X - O_f$, donde O_i representa la observación inicial (pretest), X la aplicación de la propuesta de enseñanza aprendizaje a la que se refiere este trabajo y O_f la observación final (postest). Para las observaciones se eligieron dos grupos experimentales y uno de control. En los primeros se aplica la propuesta, mientras que con el grupo de control se sigue un esquema de enseñanza tradicional. En los esquemas anteriores, lo que se denomina observación consiste en la conocida prueba *Force Concept Inventory* (FCI) [3] que tiene 29 preguntas de opción múltiple, con las que se explora completamente el concepto de fuerza. La naturaleza de la primera parte del examen de diagnóstico no permite un cálculo directo simple de la media en las respuestas correctas, por lo que se utiliza la distribución binomial [65]. La aplicación de las fórmulas se realiza de la siguiente manera: Para la media se tiene $\mu = np$, mientras que para la desviación estándar se tiene $\sigma = npq$, donde p es la probabilidad favorable (o éxito), q la probabilidad desfavorable (o fracaso), tal que $q=1 - p$, y n el número de pruebas repetidas. En este caso, n representa el número total de reactivos del examen, esto es, $n = 29$. La probabilidad p , se calcula dividiendo el número total de respuestas correctas –la que a su vez no es más que la suma de todas las respuestas correctas para un grupo dado– entre el número total de preguntas contestadas por ese grupo, que se calcula multiplicando n por el número de estudiantes.

Para evaluar los resultados generales de la aplicación de la prueba FCI se utilizó el factor de Hake [66]. Hake encontró que los cursos en los que se utiliza algún método interactivo -basado en un programa educativo reformado con base en lo que se denomina Investigación Educativa en Física o, de sus siglas en inglés, PER (Physics Education Research)- obtuvieron muy altas ganancias posibles en comparación con cursos tradicionales. Encontró también que en diferentes instituciones con diferentes resultados en exámenes de opción múltiple estandarizados (que van desde el 25% al 75%), los cursos de Física con estructuras similares, alcanzan proporciones similares de ganancia posible. Entonces, el factor de Hake es un buen indicador del mérito académico de un método de enseñanza.

Resultados generales obtenidos en la Universidad de Indiana muestran que los grupos con enseñanza tradicional tienen un factor de Hake de 0.16 en el postest, mientras que los basados en cursos con métodos de enseñanza basados en PER, muestran factores de Hake que oscilan entre 0.35 y de 0.41, dependiendo de los métodos de enseñanza utilizados. El factor de Hake es:

$$h = \frac{\text{postest} (\%) - \text{pretest} (\%)}{100 - \text{pretest} (\%)}$$

La aplicación de la propuesta se llevó a cabo durante el semestre que corre de septiembre a diciembre de 2010. El curso *Introducción a la Física* consta de cuatro grandes temas: Mecánica, Electromagnetismo, Física Térmica y Óptica. El primer tercio del curso está comprendido por mecánica, mientras que los dos tercios restantes, por los

otros temas. El ED propuesto se aplica durante ese primer tercio. El pretest se aplicó al inicio del curso, mientras que el posttest al finalizar el tema de Mecánica, siete semanas después. El número de alumnos fue: Grupo Experimental 1 (GE1), 24; Grupo Experimental 2 (GE2), 21; Grupo de Control (GC), 29. En la Tabla I se resumen los valores de las medias y sus desviaciones estándar para el pretest y posttest aplicados a los grupos experimentales y de control.

TABLA I. Resultados generales de pretest y posttest para los grupos experimentales y el grupo de control.

	Grupos experimentales		Grupo de control	
	Media	Desv Estándar	Media	Desv. Estándar
Pretest	7.8	2.9	8.0	3.0
Posttest	17.9	2.2	12.1	2.8

Los factores de Hake resultantes de los datos de la tabla I son:

Grupos experimentales: 0.48

Grupo de control: 0.19

En cuanto al factor de Hake, se observa que el valor obtenido para los grupos experimentales supera el intervalo reportado en la literatura como un valor satisfactorio. El modelo de enseñanza es, entonces, adecuado dentro de parámetros estandarizados aceptados.

VII. CONCLUSIONES

La situación educativa actual es, como afirman los expertos en el tema de la *Net Gen* y como se analizó someramente en la sección IV, única en la historia por la sencilla razón de que sólo en nuestros días aparecieron las TIC. Lejos de pensarse en esta nueva forma de pensar, de ser y de actuar como una amenaza, ha de aceptarse que los decentes han de modificar su papel en relación con el proceso de aprendizaje para nuevos entornos pedagógicos donde se aprovechen las TIC con fines educativos. Aunado a ello, los nuevos conocimientos sobre el funcionamiento del cerebro generados en los últimos veinte años han de aprovecharse y utilizarse decididamente para enriquecer de manera significativa los entornos pedagógicos en los que se desarrolle el diálogo educativo permanente que transforma la información en conocimiento y donde la comprensión pasa a ser fundamental. En este sentido, el replanteamiento de los contenidos es otro aspecto a considerar en el proceso de renovación pedagógica, dado que es evidente en sí mismo que la organización actual, como por ejemplo el hecho de comenzar el estudio de la Mecánica con Cinemática, obedece más a una tradición que a un genuino deseo innovador. Por otra parte, vemos que la emergencia de la nueva ciencia transdisciplinaria de la educación, la

neuropedagogía, viene a integrar el complejo proceso educativo necesario para enfrentar los desafíos que impone la *Net Gen*.

El esquema educativo presentado ha sido desarrollado con base en la complejidad del proceso enseñanza-aprendizaje. Como todos los modelos didácticos, no pretende ser una panacea ni una solución definitiva al vasto problema que representa educar a la *Net Gen*, sino una aportación que contribuye al desarrollo de la neuropedagogía. Su primera aplicación ha dado resultados satisfactorios en la enseñanza de un tema restringido, pero a la vez fundamental, de la Física a nivel introductorio. Confiamos que su transferencia a otros temas podrá dar resultados igualmente satisfactorios.

Finalmente, la realización de proyecto resumido en este documento dio la oportunidad de crear un espacio de reflexión sobre la práctica docente, permitiendo pensar a futuro sobre programas de formación docente, de reestructuración de planes de estudio y de convertir al docente en sujeto y objeto de investigación. Estamos seguros de que estas acciones, extendidas a todos los ámbitos educativos cristalizarán aquella aspiración planteada por la UNESCO hace más de una década [67]: “En última instancia, la educación superior debería apuntar a crear una nueva sociedad no violenta y de la que esté excluida la explotación, sociedad formada por personas muy cultas, motivadas e integradas, movidas por el amor hacia la humanidad y guiadas por la sabiduría.”

REFERENCIAS

- [1] McDermott, L. C., *Research on conceptual understanding in mechanics*, Physics Today **6**, 2-10 (1984).
- [2] Gunstone, R. F., *Student understanding in mechanics: A large population survey*, Am. J. Phys. **55**, 691-695 (1987).
- [3] Hestenes, D., Wells, M., Swackhamer, G., *Force concept inventory*, The Physics Teacher **30**, 141-158 (1992).
- [4] Ramírez, D. M. H., González, C. G. A., Miranda, V. I., *Detección y análisis de errores conceptuales en estudiantes de física de nivel universitario utilizando el sistema 4MAT*, Latin American Journal of Physics Education **3**, 93-101 (2009).
<<http://journal.lapen.org.mx/jan09/LAJPE%20203a%20Ricardo%20preprint%20f.pdf>>.
- [5] Mora, C., Herrera, D., *Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza*, Latin American Journal of Physics Education **3**, 72-86 (2009).
<<http://journal.lapen.org.mx/jan09/LAJPE-231%20Cesar%20Mora%20preprint%20f.pdf>>.
- [6] Kurtze, D. A., *Teaching Newton's Second Law –A Better Way*, The Physics Teacher **29**, 350-351 (1991).
- [7] Hood, C. G., *Teaching Newton's Law- Another Viewpoint*, The Physics Teacher **30**, 358-359 (1992).
- [8] Williams, H. T., *Semantics in teaching introductory physics*, Am. J. Phys. **67**, 670-680 (1999).
- [9] Hinrichs, B. E., *Using the system Schema Representational Tool to promote student understanding of*

Newton's Third Law, AIP Conference Proceedings **790**, 117-120 (2005).

[10] McCarthy, D., *Newton's First Law: A learning cycle approach*, Science Scope **2**, 46-49 (2005).

[11] Antippa, A. F., *Unification of Newton's laws of motion*, Can. J. Phys. **81**, 713-735 (2003).

[12] Hecht, E., *There is no really good definition of mass*, The Physics Teacher **44**, 40-45 (2006).

[13] Hecht, E., *On defining mass*, The Physics Teacher **49**, 40-44 (2011).

[14] Galili, I. and Tseitlin, M., *Newton's First Law: Text, Translations, Interpretations and Physics Education*, Science and Education **12**, 45-73 (2003).

[15] OECD, *Understanding the brain: The birth of a learning science*, (OECD, USA, 2007).

[16] Oblinger, D. G. and Oblinger, J. L., (Editors), *Educating the net generation*, (EDUCAUSE, 2005, <www.educause.edu/educatingthenetgen/>).

[17] Swartz, C., *Trinity Sure -I*, The Physics Teacher **36**, 391 (1998).

[18] Knight, R. D., *Five Easy Lessons. Strategies for Successful Physics teaching*, (Pearson Education, Inc., San Francisco, CA, 2004).

[19] Easton, D., *Syntax and Newton's second law*, The Physics Teacher **21**, 381 (1983).

[20] Hughes, M. J., *How I Misunderstood Newton's Third Law*, The Physics Teacher **40**, 381-382 (2002).

[21] Arons, A. B., *Teaching Introductory Physics*, (John Wiley and Sons, Inc., New York, 1997).

[22] Touger, J. S., *When words fail us*, The Physics Teacher **29**, 90-95 (1991).

[23] Hart, C., *Teaching Newton's Laws. As though the concepts are difficult*, Australian Science Teachers' Journal **48**, 14-23 (2002).

[24] Ornek, F., Robinson, W. R. and Haugan, M. P., *What makes physics difficult?*, International Journal of Environmental & Science Education **3**, 30-34 (2008).

[25] OECD, *Understanding the brain: Towards a new learning science*, (OECD, USA, 2002).

[26] Bruer, J. T., *Brain science, brain fiction*, Educational Leadership **56**, 14-18 (1998).

[27] Cuesta, R. J., *Neurodidáctica y Estimulación del Potencial Innovador para la Competitividad en el Tercer Milenio*, Revista Educación y Desarrollo Social **3**, 28-35 (2009).

[28] Campos, A. L., *Neuroeducación: Uniendo las neurociencias y la educación en la búsqueda del desarrollo humano*,

<<http://www.redem.org/boletin/files/Resumen%20articulo%20Anna%20para%20portal%20de%20Americas%20-OEA.pdf>>, Consultado el 03 de Junio de 2010.

[29] Kimble, G. A., *Behaviorism and Unity in Psychology*, Current Directions in Psychological Science **9**, 208-212 (2000).

[30] Fox, R., *Constructivism Examined*, Oxford Review of Education **27**, 23-35 (2001).

[31] Hansen, L. and Monk, M., *Brain development, structuring of learning and science education: where are*

we now?, International journal of Science Education **24**, 343-356 (2002).

[32] Lara, B. G. A., *Una teoría neurocientífica del aprendizaje en ciencias*, (Editorial Universitaria, Universidad de Guadalajara, México, 2008).

[33] Anderson, J. H., *Learning and memory. An integrated approach*, (John Wiley and Sons, Inc., New York, 2000).

[34] Bransford, J. D., Brown, A. L. and Cocking, R. R., (Editors), *How people learn. Brain, mind, experience and school*, (National Academy Press, Washington, D.C., 1999).

[35] Davis, C., *Emotions, Learning and Education Seminar*, Learning Sciences and Brain Research, 8-9 November, 2004, Copenhagen, Denmark, OECD-CERI.

<<http://www.oecd.org/>>, consultado el 24 de Octubre de 2005.

[36] Erk, S., Kieffer, M., Grothe, J., Wunderlich, A. P., Spitzer, M. and Walter, H., *Emotional context modulates subsequent memory effect*, Neuroimage **18**, 439-447 (2003).

[37] Nelson, L., *While you were sleeping*, Nature **430**, 962-964 (2004).

[38] Harvard Medical School, *Minding your mind: 12 ways to keep your brain young with proper care and feeding*, Harvard Men's Health Watch **10**, 1-4 (2006).

[39] Piaget, J., *Seis Estudios de Psicología*, (Ariel, México, 1988).

[40] Tapscott, D., *Growing Up Digital: the rise of the net generation*, (McGraw-Hill, New York, 1998).

[41] Ferreira, R. F., *El reto de la educación del siglo XXI: la generación N*, Revista de Innovación Educativa **6**, 72-85 (2006).

[42] Oblinger, D. G. y Oblinger, J. L., (editors), *Educating the Net Generation*, (Educause, 2005).

<www.educause.edu/educatingthenetgen/>, consultado el 09 de Febrero de 2009.

[43] Padilla, L. M. A., *Un acercamiento a la comprensión del reto universitario ante la Generación Net y su integración al mundo laboral en México*, HOSPITALIDAD-ESDAI **14**, 27-54 (2008).

[44] Dávila, S., *Generación Net: Visiones para su Educación*, Revista ORBIS/Ciencias Humanas **3**, 24-48 (2006).

[45] Sanders, J., *The 'net generation': a challenge for work-based learning*, Work Based Learning in Primary Care **4**, 215-222 (2006).

[46] Alch, M. L., *Get ready for the Net Generation*, USA Today, July, 26-27 (2000).

[47] Leung, L., *Net-Generation Attributes and Seductive Properties of the Internet as Predictors of Online Activities and Internet Addiction*, CyberPsychology & Behavior **7**, 3, 333-348 (2004).

[48] Carlson, S., *The Net Generation in the classroom*, Chronicle of Higher Education **52**, 7-11 (2005).

[49] Lara, B. G. A., Cerpa, C. G. y Núñez, T. H., *Hacia un modelo de enseñanza aprendizaje para la Net Gen en educación superior*, Reporte Interno, Departamento de Física, CUCEI, U. de G. (2007).

[50] Prensky, M., *Digital Natives, digital immigrants*, On the Horizon **9**, 1-6 (2001).

- [51] Fox, R., *Constructivism Examined*, Oxford Review of Education **27**, 23-35 (2001).
- [52] Hyslop-Margison, E. J. and Strobel, J., *Constructivism and education: Misunderstandings and pedagogical implications*, The Teacher Educator **43**, 72-86 (2008).
- [53] Pimienta, P. J. H., *Metodología Constructivista*, (Pearson Educación, México, 2005).
- [54] Collazos, C. A., Guerrero, L., Vergara, A., *Aprendizaje colaborativo: un cambio en el rol del profesor*, <<http://www.terras.edu.ar/jornadas/31/biblio/31COLLAZO-S-GUERRERO-VERGARA-Aprendizaje-Colaborativo.pdf>>, consultado el 01 de Abril de 2010.
- [55] Heller, P., Keith, R. and Anderson, S., *Teaching problem solving Through cooperative grouping. Part 1: Group versus individual problem solving*, Am. J. Phys. **60**, 627-636 (1992).
- [56] Ehrlich, R., *Turning the world inside out and 174 other simple physics demonstrations*, (Princeton University Press, New Jersey, 1990).
- [57] Copley, J., *Audio and video podcasts of lectures for campus-based students: production and evaluation of student use*, Innovations in Education and Teaching International **44**, 387-390 (2007).
- [58] Olliges, R., *Wikis, Screencasts, Podcasts, Oh My! Effective Uses of Wikis, Screencasts & Podcasts in Educational Settings*, Journal of Philosophy and History of Education **59**, 14-19 (2009).
- [59] McDermott, L. C., Shaffer, P. S. and the Physics Education Group, *Tutorials in Introductory Physics*, (Prentice Hall, New Jersey, 2002).
- [60] Dewey, J., *The relation of theory to practice in education*. University of Chicago, <http://people.ucsc.edu/~ktellez/dewey_relation.pdf>, consultado el 01 de Abril de 2010.
- [61] Rodríguez Pérez, M.A. (coord.), *Evaluación de los aprendizajes, distintos enfoques*, (Universidad de Guadalajara, México, 2007).
- [62] Lara, B. G. A., *La evaluación como estrategia de enseñanza-aprendizaje*, en referencia 61, capítulo 4.
- [63] Por ejemplo: Giancoli, D. C., *Física para Ciencias e Ingeniería, Volumen I*, (Pearson Educación, México, 2008) y Halliday, D, Resnick, R. y Walker, J., *Fundamentos de Física*, Volumen 1, (Grupo Editorial Patria, México, 2009).
- [64] Cohen, L. y Manion, L., *Métodos de Investigación Educativa*, (La Muralla, Madrid, 1990).
- [65] Walpole, R. E., Myers, R. H. y Myers, S. L., *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, (John Wiley and Sons, San Francisco, 1998).
- [66] Redish, E. F. and Steinberg R. N., *Teaching physics: figuring out what works*, Physics Today **52**, 24-30 (1999).
- [67] UNESCO, *Declaración mundial sobre la educación superior en el siglo XXI*, Visión y acción. Boletín 47, (Santiago, Chile, 1998).