

Una alternativa para la enseñanza de la Física: el curso de Física de Karlsruhe



Friedrich Herrmann¹, Georg Job², Nelson Arias Ávila³

¹Grupo de Didáctica de la Física, Karlsruhe Institute of Technology, 76131 Karlsruhe, Alemania.

²Instituto de Físicoquímica, Universidad de Hamburgo, 20146 Hamburgo, Alemania.

³Licenciatura en Física, Universidad Distrital, Carrera 3 No. 26 A - 40, Bogotá, Colombia.

E-mail: f.herrmann@kit.edu

(Recibido el 30 de Abril de 2014, aceptado el 28 de Octubre de 2014)

Resumen

El curso de Física de Karlsruhe es un aporte que pretende modernizar los textos tradicionales de Física, eliminando conceptos obsoletos, reestructurando sus contenidos y aplicando extensivamente un nuevo modelo, el modelo de sustancia. El curso ha sido usado, probado y mejorado por varios años, por lo cual se cree conveniente hacerlo conocer a un mayor público, en particular al hispanohablante. En este artículo se presenta un resumen de los orígenes del curso, su estructura y principales diferencias con los cursos tradicionales, así como algunas consecuencias para la enseñanza de la Física.

Palabras clave: Curso de Física, Enseñanza de la Física, Modelo de sustancia.

Abstract

The Karlsruhe Physics Course is an attempt to modernize the traditional physics texts, eliminating obsolete concepts, restructuring its contents and extensively applying a new model, the substance model. The course has been used, tested and improved for several years, and we believe that the time has come to make it known to a Spanish-speaking audience. This paper summarizes the origins of the course, its structure and main differences with traditional courses. Moreover, some implications for the teaching of physics are presented.

Keywords: Physics course, Physics teaching, Substance model.

PACS: 01.30.M-; 01.30.la; 01.55.+b

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

La cantidad de conocimientos en Física crece sin cesar, mientras que el tiempo disponible para su enseñanza continúa esencialmente sin cambios, lo cual obviamente requiere un continuo esfuerzo para “ajustar” y “reprocesar” dichos conocimientos, y la forma de enseñarlos.

Se presenta una propuesta, cuyo desarrollo se inició hace aproximadamente 25 años en el Grupo de Didáctica de la Física de la Universidad de Karlsruhe, que buscaba dar solución a la problemática planteada en el párrafo anterior.

Aunque la versión más elaborada del curso está orientada al nivel de bachillerato (básica secundaria) [1, 2] el proyecto general tuvo una cobertura más amplia, que fue desarrollar una nueva vía para la enseñanza de la Física, independiente del grupo objetivo de aprendices.

El curso, conocido en inglés bajo el nombre de Karlsruhe Physics Course CFK (Curso de Física de Karlsruhe), contiene diversas innovaciones, pero puede decirse que sus peculiaridades se basan esencialmente en tres ideas:

1. El desarrollo histórico de la Física ha seguido una ruta complicada y no “lineal”. Cuando se enseña, generalmente

se impone a los estudiantes seguir dicha ruta, aunque existan vías más cortas y fáciles para alcanzar el mismo objetivo [3, 4]. En el CFK se han tratado de eliminar tales “cargas” históricas.

2. Se ha elegido un enfoque unificado de enseñanza de la ciencia, basado en ciertas magnitudes que juegan un rol fundamental en la Física clásica y moderna: energía, momento, momento angular, carga eléctrica, cantidad de sustancia y entropía. Cuando se enfatiza en las magnitudes extensivas, la separación de la Física en subramas no es más que la clasificación de un proceso natural, de acuerdo con el rol dominante de cierta magnitud extensiva en cada caso.

3. Se aprovechan las ventajas que brinda un modelo, que en el currículo tradicional desempeña un rol menor, el modelo de sustancia.

El CFK ha tenido considerable impacto y difusión en distintos países, varios profesores han continuado y extendido esta línea de trabajo; un ejemplo es el libro de termodinámica de Fuchs [5]. Sin embargo, de ninguna manera se quiere significar con eso que esta propuesta sea una solución definitiva, al contrario, se quiere estimular el

Friedrich Herrmann, Georg Job, Nelson Arias Ávila
debate sobre dicho enfoque, y animar a otros a desarrollar,
complementar y mejorar la propuesta.

II. COMENTARIOS GENERALES

A. El proyecto

Todas las partes del curso han sido desarrolladas esencialmente de igual forma, siempre pensando en la reestructuración, independientemente del tipo y nivel de estudiantes a quienes estaría destinado. Luego de tener una versión básica, que fue implementada a manera de prueba con estudiantes de Física de la Universidad de Karlsruhe, se procedió a desarrollar la versión para secundaria, en la cual se ha invertido la mayor parte del tiempo.

Esta versión revisada y complementada con la retroalimentación de varios profesores de la escuela secundaria alemana, ha sido base para la formación en Física de más de 15.000 estudiantes alemanes.

B. Los orígenes

El Curso de Física de Karlsruhe contiene numerosas modificaciones respecto a los cursos tradicionales. Sin embargo, no contiene innovaciones que no tengan sus raíces en trabajos preliminares, algunas veces en ideas de renombrados científicos las cuales han caído en el olvido. Se resumen a continuación algunas de ellas.

1. El concepto de analogía, muy importante dentro de CFK, se fundamenta en el tratamiento axiomático de la termodinámica que hace Falk [6, 7, 8, 9], trabajos que, por otra parte, parecen tener sus raíces en la termodinámica de Gibbs [10]. Esencialmente, la misma analogía es aplicada en muchos libros típicos sobre termodinámica de procesos irreversibles: el énfasis en corrientes y fuerzas, donde las fuerzas son mencionadas como una variable intensiva de energía conjugada; ver por ejemplo Callen [11]. Igualmente dicha analogía es empleada por otros autores como base de lo que comúnmente se llama sistemas físicos [12] o sistemas dinámicos [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13].

2. La mecánica, basada en la interpretación de fuerzas como corrientes de momento, tiene una tradición relativamente joven; la propuesta de interpretar la fuerza como un flujo de momento fue hecha por primera vez en 1908 por Planck [14].

Con la publicación de la teoría de la relatividad tres años antes, quedó claro que la energía y el momento debían entenderse como magnitudes básicas y no como derivadas de otras magnitudes fundamentales como masa, velocidad y fuerza. Sin embargo dicha propuesta no tuvo amplia resonancia, aunque desde hace unos años se han presentado propuestas para su implementación, ver por ejemplo [15].

En libros de otro nivel, en particular sobre hidrodinámica, esta interpretación es habitual luego de la publicación hecha por Planck; ver por ejemplo Pauli [16], o Landau y Lifshitz [17].

3. Con base en el trabajo de Job [18], se desarrolló la idea de que el concepto calor del lenguaje común, se

corresponde perfectamente con las propiedades de la magnitud Física llamada entropía. Es de anotar que Job, al publicar la mencionada obra, desconocía que la misma idea había sido presentada claramente hace más de 100 años por Callendar (en esa época Presidente de la Sociedad de Física de Londres), en un extenso trabajo titulado *The Caloric Theory of Heat and Carnot's Principle* [19], el cual había sido olvidado desde entonces.

4. El potencial químico, de acuerdo a lo planteado por Job [20, 21, 22], es tratado como una fuerza en los procesos donde interviene la magnitud “cantidad de sustancia”.

C. Programas de modelación dinámica

En el mismo periodo en que se desarrollaba el CFK, fueron creados y desarrollados independientemente, un nuevo tipo de programas que resultaron apropiados para ser implementados en el curso. Conocidos generalmente como programas de modelación dinámica, son considerados hoy en día por muchos profesores como una importante herramienta en el proceso de enseñanza-aprendizaje; entre ellos figuran:

Stella (Hight Performance Systems, Inc., Hanover NH), Powersim (Powersim AS, Isdalsto, Norway), Dinamo (Pugh-Roberts Associates, Cambridge MA) y Coach (AMSTEL Institute of Universiteit van Amsterdam).

III. LA ESTRUCTURA DEL CURSO

A. Magnitudes extensivas

En el Curso de Física de Karlsruhe, cierto tipo de magnitudes Físicas juegan el papel de conceptos básicos, son las magnitudes extensivas [6].

Cada magnitud extensiva X obedece a una relación, que en su forma integral es:

$$\frac{dX}{dt} = I_X + \Sigma_X. \quad (1)$$

Esta ecuación permite interpretar a X como la medida de la cantidad de una sustancia o de un fluido, a I_X como la intensidad de corriente de X [23], y a Σ_X como la tasa de producción de X . Por “interpretación” se entiende, la aplicación del llamado “modelo de sustancia” a dichas magnitudes.

De acuerdo con dicho modelo, el cambio del valor de X puede tener dos causas, o bien, la producción o destrucción (aniquilación) de X dentro de la región considerada del espacio, o el flujo por la superficie de su borde. Así, la ecuación (1) establece un balance para la cantidad X .

Para algunas magnitudes el término Σ_X , es siempre igual a cero. Dichas magnitudes pueden cambiar su valor dentro de la región considerada, solo debido al flujo por el borde de la superficie, y son llamadas “magnitudes conservadas” (o conservativas). Energía y carga eléctrica son ejemplos de estas magnitudes.

B. La analogía

De acuerdo con la ecuación (1) para la carga eléctrica Q se tiene: $dQ/dt = I$ donde I es la intensidad de la corriente eléctrica y t el tiempo. Para la energía E : $dE/dt = P$, donde P es la intensidad de la corriente de energía o potencia.

Otras de dichas magnitudes son la entropía y la cantidad de sustancia; estas pueden cambiar su valor por producción y/o destrucción. Es decir, una magnitud extensiva no necesariamente es una magnitud conservada, tampoco debe ser un escalar. Momento y momento angular son ejemplos de magnitudes extensivas vectoriales. Se puede considerar a una sustancia vectorial como a tres magnitudes extensivas escalares, donde para cada una de sus tres componentes se tiene un balance de la forma de la ecuación (1).

Una corriente de energía P siempre está vinculada con la corriente de otra magnitud extensiva, siendo P proporcional a la corriente de la otra magnitud; de manera general puede afirmarse que: $P \sim I_X$.

Emplear las magnitudes extensivas como base del curso, permite aplicar y extender la analogía arriba mencionada, a varias partes de la Física, e inclusive de la química, si a estas magnitudes se agrega la “cantidad de sustancia”.

En la Tabla I, que resume las principales analogías empleadas, se observa que las magnitudes extensivas carga eléctrica Q , momento p , entropía S y cantidad de sustancia n se corresponden entre sí. Lo mismo ocurre con las intensivas: potencial eléctrico Φ , velocidad v , temperatura absoluta T , y potencial químico μ . Para cada una de las magnitudes extensivas existe un flujo o una corriente: la corriente eléctrica I , la corriente de momento o fuerza F [24, 25], la corriente entrópica I_s , y la corriente de sustancia.

TABLA I. Correspondencia entre magnitudes Físicas y campos particulares de la ciencia.

Magnitud extensiva	Magnitud intensiva	Corriente	Subcampo de la ciencia	Flujo de energía
Carga eléctrica, Q	Potencial eléctrico, Φ	Corriente eléctrica, I	Electricidad	$P = U I$
Momento, p	Velocidad, v	Fuerza, F	Mecánica	$P = v \cdot F$
Entropía, S	Temperatura absoluta, T	Corriente entrópica, I_s	Termodinámica	$P = T I_s$
Cantidad de sustancia, n	Potencial químico, μ	Corriente de sustancia, I_n	Química	$P = \mu I_n$

Muchas de las relaciones que existen entre las magnitudes de un subcampo de la ciencia, tienen su contraparte en otro; ejemplo es lo mostrado en la última columna de la Tabla I.

Cada una de las ecuaciones en esta columna representa la descripción de transporte de energía. Es tradicional decir que la energía es transmitida de una u otra “forma”, de acuerdo a cuál de las ecuaciones describe la transmisión [6]. La primera ecuación de dicha columna corresponde a la comúnmente llamada energía eléctrica, donde U representa la diferencia de potencial eléctrico.

En la siguiente relación el cambio de energía es llamado “trabajo”. La tercera ecuación describe el transporte en forma de calor, y la última corresponde a la energía química.

Existen magnitudes que no tienen “reemplazo”, es decir, que deben ser reemplazadas por sí mismas cuando se aplica la analogía de la Tabla I. Por un lado las cantidades cinemáticas, el tiempo y la posición, y por otro la energía, la cual tiene un rol prominente en este modelo. La energía no es característica para ninguno de los subcampos de la Física, es igualmente importante en todos ellos; juega el papel de concepto unificador.

IV. EL MODELO DE SUSTANCIA

El modelo de partículas es probablemente el más conocido y exitoso de la Física clásica. Sin embargo, existe otro con una larga historia pero que nunca recibió el mismo reconocimiento que el de partículas, incluso no tiene un nombre establecido.

En el CFK se ha propuesto llamarlo “modelo de sustancia”.

Como su nombre lo sugiere, algunos “objetos” físicos pueden ser imaginados o representados como fluidos o sustancias. Un viejo ejemplo donde se aplica dicho modelo es la electricidad, allí la carga eléctrica se presenta como sustancia (que puede fluir), lo cual se refleja en el nombre “corriente” eléctrica para la magnitud I .

El CFK propone el uso amplio y extenso de este modelo, y no limitarlo a aquellos casos donde ha sido empleado tradicionalmente. Se presentan tres maneras diferentes de aplicar el modelo de sustancia. La primera consiste en comparar magnitudes Físicas extensivas con sustancias. La segunda en considerar los campos como sustancias, y la tercera en interpretar la densidad de probabilidad como la densidad de un fluido.

Cuando en el CFK se compara cierta cantidad de una magnitud extensiva, una porción de campo electromagnético, o cierta cantidad del cuadrado de la función de onda, por ejemplo, con una sustancia, no se está afirmando que dichas entidades son sustancias. Todo lo que se hace es aplicar el modelo de sustancia. Un modelo, sin embargo, no es correcto o falso *per se*, un modelo solo puede ser más o menos apropiado.

A. Magnitudes Físicas en el modelo de sustancia

Cuando se introduce una nueva magnitud Física al estudiante, este debe aprender además de otras cosas, el “medioambiente” verbal de dicha magnitud: verbos, adjetivos, adverbios y preposiciones las cuales van unidas a ella.

Al formular oraciones con magnitudes como “fuerza”, “trabajo” o “diferencia de potencial eléctrico” no existe mucha libertad ni variedad lingüística: una fuerza “actúa” o es “empleada”, el trabajo es “realizado”, y una diferencia de potencial “existe” o “es aplicada”.

Al contrario, cuando se trata con magnitudes extensivas, es correcto emplear todas las locuciones usadas para referirse a una sustancia. Así, es apropiado decir que un cuerpo contiene una cantidad específica de carga eléctrica, pero también que la carga se asienta en el cuerpo. La carga eléctrica puede fluir de un lugar a otro, puede ser acumulada, concentrada, diluida, distribuida, perdida, colectada y mucho más. El modelo de sustancia permite y posibilita una gran libertad en el uso del lenguaje común, el cual es familiar a cada estudiante mucho antes de su primera clase de ciencias.

Enfatizar el carácter de sustancia para las magnitudes Físicas representa una ayuda muy importante cuando se enseña ciencias.

Usualmente, el modelo de sustancia solo se emplea cuando se trabaja con las magnitudes básicas masa y carga eléctrica; energía, entropía y momento, por el contrario, son derivadas de otras magnitudes, lo cual hace difícil la aplicación del modelo de sustancia.

El modelo de sustancia para magnitudes extensivas puede ser ampliado de tal forma que incluya a las magnitudes intensivas correspondientes, lo cual se puede apreciar de nuevo con un ejemplo de la electricidad. Una carga eléctrica fluye por una resistencia, término este que se puede considerar perteneciente al modelo de sustancia, ya que sugiere directamente que dicho elemento se opone al flujo de electricidad. Para poder fluir, se necesita una “fuerza”, una diferencia de potencial eléctrico, o tensión eléctrica; aparece entonces la diferencia de potencial como la causa, y la corriente eléctrica como el efecto.

Esta formulación es arbitraria, como se verá con ayuda de la conocida ley de Ohm: $U = R \cdot I$. La ecuación dice que U e I son proporcionales entre sí, pero no dice nada respecto a cuál magnitud es la causa y cuál su efecto. En el CFK se considera más apropiado designar a la diferencia de potencial como la causa. La razón es simplemente que en la mayoría de los casos se “ajusta” el voltaje y no la corriente.

A pesar de su arbitrariedad, el modelo de sustancia ha probado ser bastante útil para la enseñanza de la electricidad, el estudiante puede orientarse fácilmente estableciendo comparaciones y analogías con fenómenos conocidos: corrientes de agua o de otros fluidos.

El modelo puede aplicarse no solo a la electricidad sino a otras magnitudes extensivas. Así como la diferencia de potencial puede ser interpretada como una fuerza motriz para una corriente eléctrica, la diferencia de temperatura puede ser considerada como la causa de una corriente entrópica. Así como una diferencia de velocidad es responsable de una corriente de momento, la diferencia de potencial químico actúa como fuerza impulsora para los flujos y transformaciones de las sustancias.

Cuando se enseña (mecánica o termodinámica en particular), es habitual encontrarse con dificultades, de las cuales se dice que están relacionadas con una falsa

concepción o idea de los estudiantes (algunos las llaman preconceptos). En lugar de cambiar la idea (“preconcepto”) que traen los estudiantes sobre ciertos términos que emplea actualmente la Física, se podría incluso pensar en encontrar una presentación de esta, que sea más acorde a la manera como la gente del común piensa y se expresa en situaciones de su diario vivir. El uso del modelo de sustancia puede ser un primer paso en esa dirección [26].

B. Campos en el modelo de sustancia

Usualmente los campos son introducidos como un ente particular y “misterioso”, se dice que un campo es una región del espacio con ciertas propiedades, o que un campo eléctrico es el espacio alrededor de un cuerpo cargado.

Se ha sugerido que el campo es una porción de espacio vacío con ciertas propiedades, o a veces peor aún, algo completamente sin propiedades.

Actualmente no hay razón para tal mitificación, un campo es un sistema físico. Como cualquier otro sistema físico puede admitir varios estados, y en cada estado las magnitudes Físicas tendrán ciertos valores [27]. Asimismo como cualquier otro objeto físico, un campo electromagnético tiene energía, momento, entropía, y presión (o estrés mecánico); en ciertos estados tiene temperatura y potencial químico.

Cuando se habla de campo, no existe razón alguna para emplear denominación diferente a la empleada cuando se habla de un sistema material, como un gas por ejemplo.

Para explicar qué es el aire, podría decirse que es una porción de espacio con ciertas propiedades, y analizar estas, pero no sería la explicación más adecuada. Lo mismo ocurre para un campo.

En lugar de introducir el campo como una porción de espacio con ciertas propiedades, es más claro decir que es un objeto con dichas propiedades; al hablar de esa forma se está empleando el modelo de sustancia.

C. Electrones en el modelo de sustancia

Los átomos se presentan usualmente como compuestos por un núcleo y un cierto número de electrones. Se dice que el electrón es un objeto muy pequeño que se mueve alrededor del núcleo, pero que no tiene trayectoria; esta forma de introducir el electrón crea conflictos cognitivos en los estudiantes.

Para evadir este conflicto en el CFK se ha elegido un modelo en el cual el conjunto de electrones se asimilan a una sustancia, el núcleo está rodeado por dicha sustancia, la cual se ha llamado electronio. La densidad de electronio es lo que normalmente se llama densidad de probabilidad; es decir, la probabilidad de que un electrón se encuentre cerca de una localización determinada.

Esa densidad de electronio se determina actualmente por medio de difracción de rayos X.

De acuerdo con dicho modelo, el electrón es una porción elemental de electronio, con una carga de $1.6 \cdot 10^{-19}$ C.

V. EL CURSO

A continuación se expresan brevemente algunas de las consecuencias de las ideas generales descritas hasta ahora, que han servido para el diseño concreto del curso. Sin embargo, esto no puede considerarse un resumen de los contenidos del mismo.

El curso, publicado en tres volúmenes y traducido a varios idiomas (parcialmente al castellano), puede obtenerse gratuitamente en el siguiente enlace: www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/index.html.

A. Mecánica

De acuerdo con la estructura básica del curso, el momento es la magnitud central de la mecánica, y por ello puede ser empleada para definirla: la mecánica es una parte de la Física que estudia el momento (cantidad de movimiento) y sus corrientes (y más adelante el momento angular y sus corrientes). Por consiguiente, es natural introducir el momento al inicio de esta parte de la Física, lo cual se puede hacer operacionalmente por el método de medida [2, 4, 28].

Para un entendimiento intuitivo, el momento es introducido como una medida del contenido de movimiento de un cuerpo, lo que en términos coloquiales podría ser llamado “fuerza”, “poder” o “ímpetu” del cuerpo.

El momento puede pasar (fluir) de un cuerpo a otro.

Puede hacerlo espontáneamente, por ejemplo, en casos de fricción (es decir, en procesos disipativos) fluye de un cuerpo con mayor velocidad a otro con menor. Para poder “forzarlo” en la dirección opuesta a su tendencia natural es necesario el empleo de una “bomba de momento”, la cual comúnmente es un motor.

Las leyes de Newton al ser formuladas por medio de la corriente de momento, revelan no ser más que la expresión de la conservación del momento. Ya que desde el comienzo del curso se supone que el momento es una magnitud conservada (tal como se suele hacer con la carga eléctrica), la formulación de las leyes Newton como se conoce hoy día deja de ser imprescindible [29].

La fricción (según el CFK) no es un fenómeno no deseado que causa “incomodidades” en el campo de la mecánica newtoniana. Es más un proceso natural, en el cual el momento pasa disipativamente de un cuerpo a otro.

De este modo, el movimiento rectilíneo de un coche en la carretera se presenta como un estado estacionario o de “equilibrio de flujo”. El momento que el motor está bombeando continuamente desde la tierra hacia el coche, es igual al momento que pierde el coche hacia el medio debido a la fricción.

B. Termodinámica

Así como en mecánica se inicia la enseñanza con el momento, en termodinámica se hace introduciendo la entropía. En el curso se recurre al entendimiento intuitivo,

Una alternativa para la enseñanza de la física: el curso de Física de Karlsruhe considerando que la entropía es lo que en términos coloquiales se llama calor o cantidad de calor [5, 18, 19, 30].

Esta, como ya se mencionó, es una propuesta antigua hecha por Callendar en 1911 y desarrollada por otros autores (ver sección II. B).

Callendar, en la obra ya referenciada dice:

“Finally, in 1865 when its importance (the importance of caloric) was more fully recognised, Clausius gave it the name of ‘entropy’, and defined it as the integral of dQ/T . Such a definition appeals to the mathematician only. In justice to Carnot, it should be called caloric, and defined directly by his equation..., which any schoolboy could understand. Even the mathematician would gain by thinking of a caloric as a fluid, like electricity, capable of being generated by friction or other irreversible processes”.

En este contexto la entropía puede ser producida, por ejemplo en procesos con algún tipo de fricción: fricción mecánica, “fricción” eléctrica en una resistencia, o “fricción” química en una reacción libre. El segundo principio se formula de la siguiente manera: la entropía puede ser producida pero no destruida.

La entropía fluye espontáneamente de un cuerpo de mayor temperatura a uno de menor. Para tener un flujo de entropía en dirección opuesta a su tendencia natural, se necesita una “bomba de entropía”, llamada técnicamente bomba de calor.

C. Electricidad

La estructura de la temática referente a la electricidad no experimenta mayores cambios en el CFK, ya que en los cursos tradicionales el modelo de sustancia es ampliamente empleado. La carga eléctrica fluye espontáneamente desde lugares de potencial eléctrico alto a lugares de potencial eléctrico bajo, y para fluir en contra de su tendencia natural basta una batería o un generador de celdas solares (“bomba de electricidad”).

D. Reacciones

El curso incluye un capítulo sobre fisicoquímica, que tiene la misma estructura que los referentes a mecánica, termodinámica (calor) y electricidad [20, 21, 22]. Así como una diferencia de potencial eléctrico actúa como una fuerza impulsora para la corriente eléctrica, la diferencia de potencial químico genera una reacción química.

Análogamente a una resistencia eléctrica, se introduce una química, o resistencia de reacción. Un catalizador aparece entonces como un interruptor el cual permite iniciar o “apagar” la reacción química.

La célula de combustión y la electrolítica se presentan como dispositivos, en los cuales la energía es transferida del portador de energía “cantidad de sustancia” al portador de energía “electricidad” y viceversa.

E. Información

Se ha dicho y mostrado que, en el CFK la energía tiene un papel relevante como concepto estructural; cosa similar ocurre con la cantidad de información o cantidad de datos.

La cual es la magnitud unificadora de todas las partes de la ciencia y la tecnología que tienen que ver con transmisión, procesamiento y almacenamiento de datos: óptica, acústica, electrónica, informática, etc. Así como las analogías anteriores, la analogía entre energía y cantidad de información tiene una base en la Física [31].

En el CFK, las transmisiones de energía son clasificadas de acuerdo al respectivo medio de transporte de energía; de manera similar se clasifican las transmisiones de información [32, 33].

VI. EVALUACIÓN DEL CFK

En Alemania el CFK ha sido evaluado permanentemente desde su formulación. Luego de las pruebas piloto iniciales realizadas con estudiantes de la Universidad de Karlsruhe, se realizaron pruebas en el Estado Federal de Baden-Württemberg, bajo la supervisión del Ministerio de Cultura y Deporte. Estas pruebas fueron realizadas en 20 escuelas seleccionadas, con todos los estudiantes que cursaron completamente el CFK, es decir, se hizo un seguimiento y evaluación por tres años consecutivos, desde que los estudiantes tenían 13 años hasta que cumplían los 16.

Durante todo este proceso se tuvo una permanente comunicación con los profesores que impartían el CFK, lo cual permitió realizar múltiples cambios, ajustes y mejoras al curso. Es de anotar que la gran mayoría de profesores que han conocido el curso lo emplean, y dejan de utilizar el enfoque tradicional.

Como resultado de dichas pruebas el Ministerio permitió el uso del CFK en el plan de estudios oficial de todas las Escuelas Secundarias de Baden-Württemberg. El CFK es estudiado en los cursos para futuros profesores de Liceo.

El curso ha sido comercializado por el Instituto Federal de Educación e Instrucción, e impreso en alemán por la editorial Aulis, en varias ediciones.

En el Instituto Leibniz de Ciencias y Matemáticas de la Educación, se ha realizado y publicado una Tesis Doctoral titulada: "Enseñar Física según el Curso de Física de Karlsruhe. Resultados de un estudio de evaluación", en la cual se analizan cerca de 50 parámetros, empleando diferentes herramientas, que fueron aplicadas a alumnos de diferentes niveles, sexos, etc. [34].

Fuera de Alemania (Suiza, Italia, Shanghái y Bogotá) se han realizado evaluaciones parciales de algunos aspectos del curso; asimismo se han presentado trabajos y ponencias en diferentes eventos nacionales e internacionales relacionados con el tema.

Se espera que el conocimiento e implementación del CFK en otras latitudes, contextos y condiciones, posibiliten nuevas evaluaciones del mismo, así como sugerencias para su mejora y desarrollo.

VII. CONCLUSIONES

El plan de estudios y los textos de Física y áreas relacionadas requieren de un continuo esfuerzo de modernización, cosa que los físicos han descuidado en cierta manera, por lo cual es necesario realizar cambios de fondo. Con el Curso de Física de Karlsruhe se presenta una propuesta para tal cambio.

El CFK difiere en muchos aspectos de los cursos tradicionales, pero todos los cambios propuestos y desarrollados en él se fundamentan en trabajos preliminares, algunos de ellos parcialmente olvidados.

El curso se ha implementado por varios años en países como Alemania, Suiza e Italia, y recientemente de manera amplia en la ciudad de Shanghái. Hasta el presente no se tiene conocimiento de su implementación continuada en países de habla castellana.

Con este trabajo se ha querido dar a conocer el curso, propiciar la discusión y análisis del mismo, y animar a la comunidad hispanohablante a desarrollar esta y otras alternativas para mejorar la enseñanza de la Física a todos los niveles.

REFERENCIAS

- [1] Herrmann, F., *Der Karlsruher Physikkurs*, (Aulis Verlag Deubner, GER, 1998).
- [2] Herrmann, F., *The Karlsruhe Physics Course*, Eur. J. Phys. **21**, 49 (2000).
- [3] Herrmann, F. & Job, G., *Atlanten der Physik*, (Aulis Verlag Deubner, GER, 2002).
- [4] Herrmann, F., Job, G. & Arias Ávila, N., *Conceptos obsoletos en Física*, (Editorial Universidad Distrital, Colombia, 2011).
- [5] Fuchs, H., *The dynamics of heat*, (Springer Verlag, GER, 1996).
- [6] Falk, G., *Theoretische Physik. Band II, Thermodynamik*, (Springer Verlag, Germany, 1968).
- [7] Falk, G., *Physik: Zahl und Realität*, (Birkhäuser Verlag, Germany, 1990).
- [8] Falk, G. & Herrmann, F., *Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Schriftenreihe*, (Hermann Schroedel Verlag, Germany, 1977).
- [9] Falk, G. & W. Ruppel, W., *Energie und Entropie*, (Springer Verlag, Germany, 1976).
- [10] Gibbs, W., *The scientific papers of J. Willard Gibbs. Vol. I, Thermodynamics*, (Dover Publications, USA, 1961).
- [11] Callen, H., *Thermodynamics and an introduction to thermostatistics*, (John Wiley & Sons, USA, 1985).
- [12] Burkhardt, H., *System physics: A uniform approach to the branches of classical physics*, Am. J. Phys. **55**, 344-355 (1987).
- [13] Maurer, W., *Elementare Kontinuumsmechanik*, Praxis der Naturwissenschaften **47**, 31 (1998).
- [14] Planck, M., *Bemerkungen zum Prinzip der Aktion und Reaktion in der allgemeinen Dynamik*, Phys. Z. **9**, 828-830 (1908).

- [15] Herrmann, F., *Mechanik-Abriß einer Neudarstellung, Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts. Vol. 3*, (Hermann Schroedel Verlag, Germany, 1979).
- [16] Pauli, W., *Relativitätstheorie*, (Boringhieri, Italy, 1963).
- [17] Landau, L. & Lifshitz, E., *Course of theoretical physics. Vol. 6: Fluid mechanics*, (Pergamon Press, UK, 1959).
- [18] Job, G., *Neudarstellung der Wärmelehre-die Entropie als Wärme*, (Akademische Verlagsgesellschaft, Germany, 1972). Disponible en: www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/publication/job-termodinamica.pdf. Consultado el 11 de abril de 2014.
- [19] Callendar, H. L., *The caloric theory of heat and Carnot's principle*, Proc. Phys. Soc. London **23**, 153 (1911).
- [20] Job, G., *Das chemische Potential im Physik- und Chemie-Elementarunterricht, Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts. Vol. 2*, (Hermann Schroedel Verlag, Germany, 1978).
- [21] Job, G., *Chemische Reaktionen physikalisch beschrieben, Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts. Vol. 4*, (Hermann Schroedel Verlag, Germany, 1981).
- [22] Job, G., *Die Werte des chemischen Potentials. Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts. Vol. 4*, (Hermann Schroedel Verlag, Germany, 1981).
- [23] Herrmann, F., *Is an energy current energy in motion?*, Eur. J. Phys. **7**, 198-204 (1986).
- [24] Herrmann, F. & Schmid, G., *Momentum flow in the electromagnetic field*, Am. J. Phys. **53**, 415-420 (1985).
- [25] Herrmann, F., Schmid, G. and Heiduck, G., *Momentum flow in the gravitational field*, Eur. J. Phys. **8**, 41 (1987).
- [26] Giorgi, S., Pozzo, R. & Concari, S., *Cuerpos en Movimiento: Un estudio de investigaciones publicadas y de las representaciones de los estudiantes universitarios*, Ciencia, Docencia y Tecnología **31**, 199-218 (2005).
- [27] Herrmann, F., *Energy density and stress: a new approach to teaching electromagnetism*, Am. J. Phys. **57**, 707 (1989).
- [28] Herrmann, F. & Schubart, M., *Measuring momentum without the use of $p = D mv$ in a demonstration experiment*, Am. J. Phys. **57**, 858 (1989).
- [29] Herrmann, F. & Schmid, G., *Analogy between mechanics and electricity*, Eur. J. Phys. **6**, 16 (1985).
- [30] Fuchs, H., *Entropy in the teaching of introductory thermodynamics*, Am. J. Phys. **55**, 215 (1987).
- [31] Herrmann, H. & Schmid, G., *An analogy between information and energy*, Eur. J. Phys. **7**, 174 (1986).
- [32] Herrmann, F., Schmälzle, P. & Schmid, G., *Information and its carriers*, Phys. Education **20**, 206 (1985).
- [33] Herrmann, F. & Schmälzle, P., *Daten und Energie*, (Teubner, Germany, 1987).
- [34] Staraschek, E., *Physikunterricht nach dem Karlsruher Physikkurs. Ergebnisse einer Evaluationsstudie*, (Logos-Verlag, GER, 2001). Disponible en: www.logos-verlag.de/cgi-bin/buch/isbn/823. Consultado el 11 de abril de 2014.