

EDUCACIÓN en FÍSICA

ISSN: 0797-9045

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay



Volumen 6 Número 3

Diciembre, 2000

Asociación de
Profesores
de Física



del Uruguay

EDUCACIÓN

EN FÍSICA

Volumen 6 N° 3
Diciembre de 2000

Depósito Legal:
299222 / 00

Redactor Responsable:

Sandry Ramírez

Consultores de Redacción:

Mario Guerra

Anna María Cossio

Gustavo Carbonell

Colaboraciones especiales:

Alicia Acland

Wellington Mazzotti

Colaboraron en este número:

Ana Piccinino

Adriana Echarte

Nestor Souza

Celia Pérez

Maylí Tourn

Adriana Machado

Ricardo J. Ferreira

Ernestina Sánchez

Educación en Física es una revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay, que se distribuye gratuitamente entre sus socios. Precio: U\$S 5.

Comisión Directiva de A.P.F.U.:

Zoraida Viera

Ernestina Sánchez

Marcelo Berruti

Gustavo González

Claudia Varaksa

Dirección de la Revista:

Gaboto 1435 / Of. 002

Montevideo cp 11200

Telefax: 598 2 400 1258

E-mail: rev_apfu@i.com.uy

apfu@adinet.com.uy

Publica: Ediciones IDEAS

Mercedes 1786

11200 Montevideo-Uruguay

Telefax. 408 6985

E-mail: edideas@adinet.com.uy

M.E.C.:

Edición amparada por Decreto 218/996



Portada: Composición con componentes electrónicos

EDITORIAL

En esta edición de fin de siglo hemos recibido muchas y variadas colaboraciones y aportes anónimos sin las cuales, esta revista no podría salir y, aunque resulte algo reiterativo, muchísimas gracias por seguir colaborando.

Debemos decir que la redacción de la revista fue invitada especialmente a nuestro X Encuentro Nacional y V Internacional; y en esa ocasión tuvimos la oportunidad y el placer de, en una muy nutrida y entusiasta Asamblea, dirigirnos personalmente a quienes asistieron y a Uds. en general. Oportunidad en la que surgieron muchos pedidos y sugerencias muy, muy valiosas que han comenzado a ser tenidas en cuenta. La redacción de esta, nuestra revista se sintió muy a gusto y «recargó energías» con la «buena onda» que percibió de aquellos que estuvieron allí y de aquellos que, no pudiendo asistir, dejaron oír sus voces igualmente.

El retorno que percibimos de Uds., nuestros colegas y lectores es, siempre lo diremos, la fuerza vital que impulsa esta publicación que siempre tratará de divulgar el trabajo de todos y los aportes de nuestros pares de otras tierras. Es por esto y por algunas circunstancias más que, en esta oportunidad, algunas secciones o trabajos han sido «pospuestos» un poquito para dar cabida a algunos de los talleres y conferencias que en el pasado Encuentro se dieron. Trataremos, cosa que nos ha resultado cada vez mas difícil, de «reducir» un poco la extensión de la «Revista» como lo sugieren algunos de nuestros colaboradores.

Pedimos disculpas por no haber cumplido con algunas de nuestras metas, quizás podamos reivindicarnos en la próxima edición, que será en el próximo año, o dicho como reflexión, en el próximo SIGLO.

En el momento de salir la presente edición, nuestra A.P.F.U. habrá despedido el año, el siglo y, con mucha emoción (buena parte ya expresada en la fiesta final de nuestro último encuentro), a la Comisión Directiva actual que nos dedicó tanto trabajo y dedicación, a ellos SALUD!, a Uds y a ellos:

¡FELIZ NUEVO SIGLO!

La Redacción

CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN

La continuación de «Caos» despertó algunos comentarios tales como: es necesario aclarar que se debe estudiar y profundizar bastante antes de «captar» los conceptos e implicancias encerrados en la ecuación Navier-Stokes, lo cual implica que posteriormente deba incluirse aclaraciones previas para «arrimarse» un poco más a todo lo que hay detrás de la misma; el tema llega a un punto tal que, para poder avanzar, ya requiere de una base matemática mas «fuerte»; es posible que, dado lo complejo del tema, se deslicen algunas cosas que no puedan ser entendidas sin una profundización y ampliación de base; etc. Aun así se incluye por la razón fundamental: queremos «devolución» de Uds.

Velocidad de grupo superlumínica en ondas electromagnéticas: adelantado en las sugerencias web del número anterior y sin duda de lo «más fresquito» y, creemos, de lo más removedor para la Física actual. ¿Será lo que nos anticipa el siglo que viene?

Quienes estuvieron en el encuentro pasado de nuestra A.P.F.U. notarán que se incluyen artículos sobre temas que fueron tratados en conferencias y talleres del mismo; esto parte de una sugerencia de algunos colegas para complementar las memorias y para hacer llegar estos temas a quienes, por un motivo u otro no pudieron acercarse. Las secciones que no aparecen en esta edición lo harán en las próximas y como nos han sugerido, trataremos de salir con menos páginas.

CÓMO ENVIAR SUS TRABAJOS

Pueden ser enviados para su publicación, contribuciones de diversos tipos: trabajos prácticos, teóricos, divulgación, tesis de doctorado, notas, comentarios de libros, sugerencias «web», software, consejos prácticos y todo artículo, original o no, que nuestros lectores crean conveniente.

- 1.- Los trabajos deben enviarse por duplicado, archivos de computadora e impresos. En ambas debe figurar el nombre de él o los autores, dirección, lugar de trabajo, un breve currículum y de ser posible, un resumen temático.
- 2.- Las citas bibliográficas se relacionarán al final del trabajo por orden alfabético, indicando:
 - a) para artículos de revista: apellido del autor(es), año, título del artículo encomillado, título completo de la revista, volumen, número y páginas.
 - b) Para libros: apellido del autor(es), año, título del libro subrayado, editorial, lugar, número de páginas y número de edición, en caso de que el libro sea traducción, indicar entre paréntesis autor de la traducción, nombre original de la obra subrayado, editorial y año; dentro del texto las referencias

se indicarán dando apellido(s) y año entre paréntesis.

- 3.- Los archivos pueden ser enviados por correo electrónico a la dirección de la revista o a la de la Asociación; enviando el texto con los objetos incrustados y los objetos por separado, mapa de bits (8 bits) o 256 tonos de gris, en lo posible se respetarán los formatos originales, pudiendo variar a criterio editorial y en función de necesidades de compaginación, los tamaños de las ilustraciones.
- 4.- Para simplificar el proceso de armado, sería conveniente que los trabajos llegaran por la vía mencionada en 3.-, enviados por correo común o alcanzados a la Revista acompañados del archivo informático correspondiente, debidamente etiquetado.

Esperamos sus trabajos, consejos, críticas y sugerencias en

La dirección de A.P.F.U.

apfu@adinet.com.uy

La dirección de la revista

rev_apfu@i.com.uy

(Correo o e-mail)

DE LA SIMETRÍA A LA PERMANENCIA

(Primer Contacto)

Gustavo Carbonell. Profesor del I.P.A.

El presente artículo acerca, a quienes no tengan presente el tema, al más importante basamento de la física en general. La pretensión específica es, invitarlos a profundizar y a devolver en consecuencia.



La existencia de las leyes de simetría se encuentra plenamente de acuerdo con nuestra experiencia cotidiana; las más simples de estas simetrías, como son la isotropía y la homogeneidad del espacio, son conceptos que se remontan a la más temprana historia del pensamiento del hombre.

La invarianza de las leyes físicas ante una transformación de coordenadas que se mueven a velocidad constante, conocida como invarianza de las transformaciones galileanas, es una simetría más complicada aunque ya suficientemente analizada desde hace tiempo y constituye uno de los basamentos fundamentales de la mecánica newtoniana.

Una ley de conservación, como lo es la conservación de la energía, significa que cierta cantidad física permanece invariante. Nosotros asumimos que esta invarianza reposa sobre una propiedad fundamental de simetría de la naturaleza.

En nuestros cursos hemos considerado la conservación de la cantidad de movimiento lineal (momentum), el momento cinético, y la energía como generadas de tres correspondientes simetrías que involucran el espacio y el tiempo. En el proceso de derivar las leyes de conservación, buscamos una combinación de variables físicas que involucran la masa y las leyes de movimiento, de modo que la magnitud asociada no involucre las variables tiempo o espacio en forma directa.

En el presente artículo analizaré solo las simetrías que involucran aspectos básicos de los cursos de física clásica (es decir no cuántica). Las otras simetrías que están asociadas a las partículas elementales son importantes, pero no creo que sea útil mencionárlas, por lo menos en cursos elementales.

Para resumir, creo que debe quedar claramente expresado lo siguiente: si se conoce la simetría básica involucrada en un cierto fenómeno, ¿cómo podemos derivar de allí las magnitudes invariantes asociadas? En el caso de las simetrías discretas asociadas a las partículas elementales, ¿qué significan o qué exactamente esas simetrías discretas que se encontraron en las interacciones entre las partículas elementales? Realmente no se sabe. Se asume que este «orden» subyacente entre las partículas elementales es la consecuencia de estas simetrías.

Además, esas simetrías no están vinculadas con las variables espaciotemporales, ni tampoco es factible expresarlas en término de variables vinculadas a lo anterior. Hay que entenderlas como entidades puramente matemáticas (abstractas) que generan nuevas variables físicas que no admiten el ser «visualizadas» como las usuales, vinculadas al espacio y el tiempo.

Volviendo entonces a lo que está más vinculado con nuestra práctica diaria, tenemos que las simetrías fundamentales asociadas al espacio y el tiempo son:

- 1) Homogeneidad del espacio:** Un sistema cerrado puede ser desplazado de una región a otra del espacio sin alterar el resultado de un experimento realizado en el interior de dicho sistema. Los experimentos realizados en un sistema cerrado son translacionalmente invariantes.
- 2) Homogeneidad del tiempo:** El instante particular en que se lleva a cabo un experimento en un sistema cerrado no influye en el resultado del mismo. El sistema es invariante frente a la traslación del tiempo.
- 3) Isotropía del espacio:** Un sistema cerrado puede ser rotado sin alterar el resulta-

do de un experimento realizado en el sistema. Los resultados de los experimentos realizados son invariantes ante las rotaciones. (Esta es la segunda simetría del espacio).

Las magnitudes invariantes asociadas con esas simetrías se denominan «Leyes de conservación». El proceso para derivarlas se basa en el principio siguiente: si una simetría puede ser representada por una variable física, esa variable no debe aparecer directamente en la ley de conservación.

Para aclarar este punto que parece a simple vista contradictorio, veamos lo siguiente: definamos una circunferencia: esta es el lugar geométrico de los puntos del plano que equidistan de uno dado. En una teoría física sería más apropiado definirla como una figura plana que es rotacionalmente invariante con respecto a un punto (el centro de la circunferencia) para cualquier ángulo θ . Si consideramos otra figura, por ejemplo un hexágono, esta figura es invariante solo en rotaciones de ángulo: $\theta = 2\pi / 6$. Aún en el caso que consideremos un polígono regular de n lados, este permanecerá invariante bajo rotaciones de $\theta = 2\pi / n$ o alguno de sus múltiplos enteros. Independientemente del polígono elegido, este no cumplirá con el requerimiento de la definición de circunferencia. Esa definición únicamente define la circunferencia una vez que especificamos su centro. De acuerdo entonces con el principio de determinar la magnitud asociada invariante, el ángulo θ no debe aparecer en la ecuación de dicho invariante. El invariante básico de la circunferencia es el radio R , una longitud independiente del ángulo. La circunferencia es una entidad geométrica tan familiar a nosotros que la independencia entre R y θ es trivial.

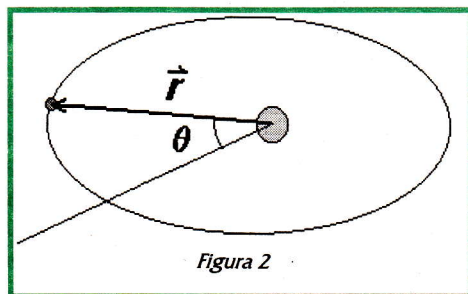
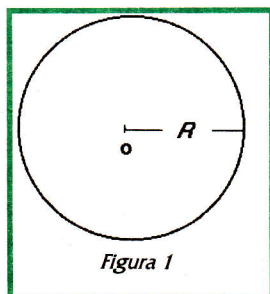
Algo tal vez menos trivial y elemental puede ser el movimiento de un planeta en el campo gravitatorio del Sol. La órbita resulta de la interacción de ambos cuerpos. Experimentalmente sabemos

que la interacción gravitatoria depende de la distancia de separación de los cuerpos y no del ángulo θ . De ahí que el ángulo no debe aparecer en la magnitud conservativa asociada a este fenómeno. En este caso, sabemos que la magnitud que se conserva es el momento cinético ($L = R \times m \cdot v$). Sabemos que, independientemente de que la órbita sea una circunferencia o una elipse o aún una trayectoria abierta, el momento cinético se conserva y el ángulo no aparece en la definición de dicha magnitud (no depende de θ aunque sí lo necesitamos para determinar la posición, por ejemplo). El momento cinético en este ejemplo no depende de q , por lo tanto el momento cinético es una magnitud conservativa que se deriva de la isotropía del espacio.

Para concluir, una precisión; se dice que una ley de conservación asociada a una simetría no debe depender de la variable tiempo. Esto no quiere decir que las magnitudes físicas que aparecen en la ley no pueden ser definidas en términos de la variable tiempo. La conservación de la energía de un cierto sistema significa que la energía en un cierto instante será la misma que en otro diferente. Y en ese valor no está incluido el valor particular del instante elegido.

El siguiente texto de Gregory Bateson de algún modo expresa el sentido profundo de las simetrías asociadas a las leyes de conservación y bien puede ser el epílogo de este artículo:

«...las definiciones de los objetos no debieran ser por lo que el objeto constituye en sí, sino por las correlaciones de éste con todos lo que presenta el entorno, porque en la práctica está influenciado cuánticamente por todo»



SENSORES

Pablo Garateguy. Profesor del I.P.A.

Prosiguiendo con la serie que hemos venido desarrollando sobre los Sensores y su uso en la laboratorio; y ante consultas y pedidos de colegas, sobre dispositivos sencillos, que puedan ser usados para los proyectos de 4to. año y Robótica, en esta oportunidad trataremos la forma de generar señales para controlar posiciones y movimientos.

Los sensores utilizados para los robots y en electrónica en general, son elementos electromecánicos y/o electrónicos que pueden medir parámetros físicos de índole similar y entregan una señal eléctrica en forma de corriente o voltaje, que representa ese parámetro.

Los sensores por lo tanto solamente detectan una variable o fenómeno físico y entregan una señal equivalente a esa variable, dejando a otra parte del robot o dispositivo, las tareas de ejecutar las acciones necesarias, de acuerdo a la información recibida.

Los dispositivos más sencillos son los electromecánicos como interruptores de diversos tipos u otras formas similares de «cerrar» contacto en determinada situación.

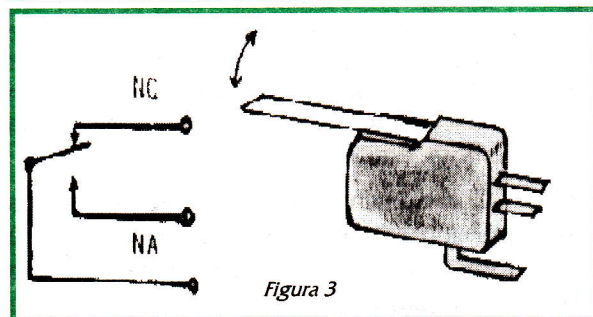
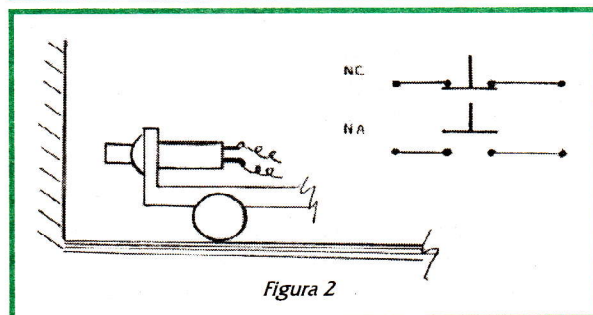
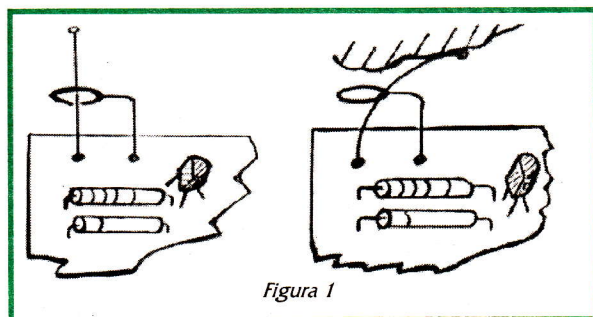
Por ejemplo podemos mencionar los «bigotes» que consisten en un alambre conductor que pasa por el interior de un anillo metálico, (ver figura 1), cuando el alambre se apoya en algún cuerpo u obstáculo se deforma y toca el anillo que lo rodea, cerrando un circuito y enviando una señal.

Otro dispositivo que se puede usar son los pulsadores (tipo botón de timbre o de heladera) que al ser presionados cierran o abren un circuito con lo que generan la correspondiente señal (ver figura 2).

Similares a los pulsadores pero de construcción más sofisticada, son los Micro Switch. Son interruptores usados en la industria y los equipos electrodomésticos para conectar circuitos o detectar pasajes de cuerpos o piezas (ver figura 3).

Los hay de diferentes tipos, formas y tamaños según el uso que se les da, pero todos ellos, son resistentes, admiten uso prolongado y en general tienen tres terminales, dos de los cuales están conectadas. (Normalmente Cerrado) y el tercero sin conectar (Normalmente Abierto), al accionarse el brazo del dispositivo, se invierte la conexión entre los terminales de salida.

Obviamente, si disponemos de láminas de algún material metálico buen conductor y suficientemente flexible o de pequeños resortes, podemos fabricar un dispositivo similar «casero»,



siempre que las condiciones de uso no sean demasiado rigurosas.

La transición conectado-desconectado, puede en algunos casos ser un cambio demasiado brusco, para las necesidades del proyecto y debemos pensar en un cambio más gradual de la situación.

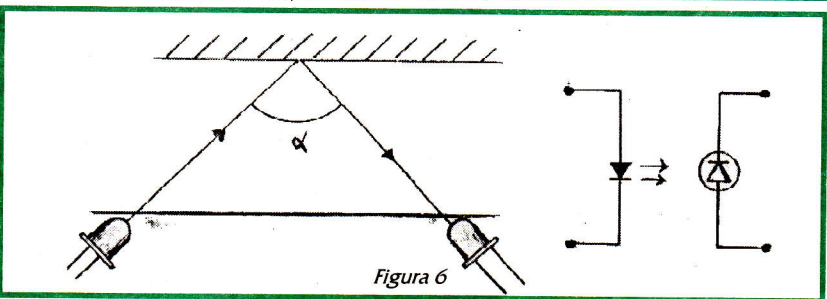
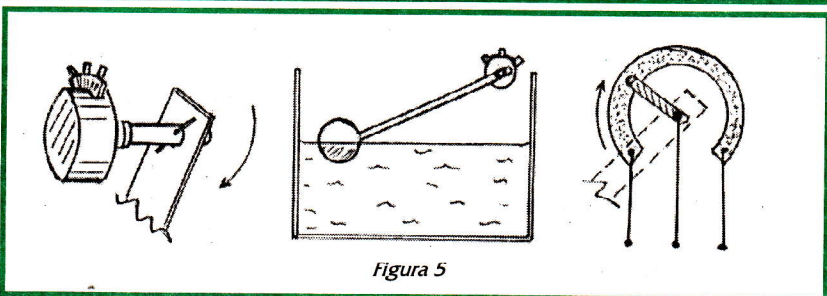
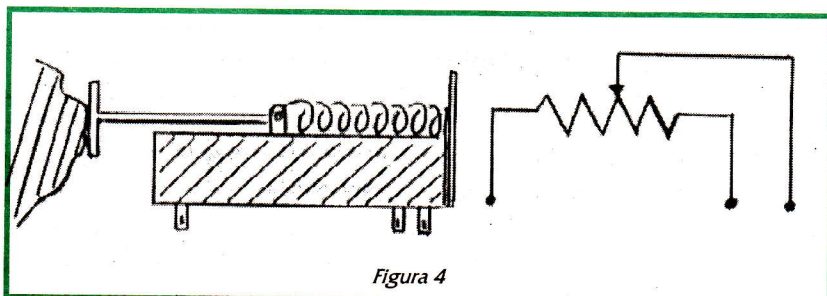
Una solución posible, es recurrir a una resistencia variable (comúnmente se les llama Reóstatos o Pontenciómetros) y combinarlas con algún elemento restaurador (resorte ó fleje) de la situación inicial.

Variando la posición del electrodo móvil, la disminución (ó aumento) de la resistencia, permitir (ó impedir) el pasaje de la corriente pero en forma gradual (ver figura 4).

Por ejemplo podemos frabricar un paralogos que frente suavemente un dispositivo en movimiento, al ser presionado un vástago por algún cuerpo u obstáculo.

Con un potenciómetro giratorio y un vástago ó brazo, podemos detectar la variación del nivel de un líquido ó el movimiento de giro ó de vaivén de alguna parte del dispositivo (ver figura 5).

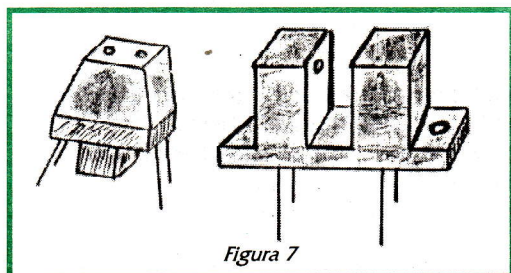
Si disponemos de materiales y herramientas adecuadas, y/ó el proyecto encarado así lo exige, podemos plantearnos el uso de sensores más sofisticados como por ejemplo los ópticos. Estos dispositivos cuya teo-



ría de funcionamiento ya hemos tratado en números anteriores de la revista, pueden actuar como un interruptor al incidir sobre ellos algún tipo de radiación luminosa (principalmente visible e infrarroja) (ver figura 6).

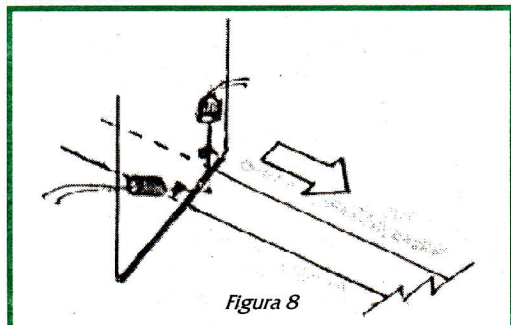
Por ejemplo se puede colocar un juego de diodos (transmisor y receptor), dispuestos en un cierto ángulo, de modo que a determinada distancia de un obstáculo, la radiación del emisor se refleje sobre el receptor y así actuando como un interruptor, se conecte un dispositivo ó mecanismo de respuesta. Se puede usar un fototransistor y al hacer incidir luz sobre él, poner en funcionamiento el mecanismo en forma remota, etc., etc.,....

Comercialmente los sensores ópticos pueden encontrarse ya encapsulados de forma de facilitar su uso y conexionando (ver figura 7).



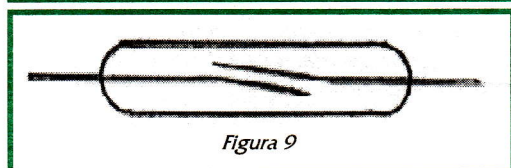
Sí existe la posibilidad de combinar varios de estos sensores, pueden indicarnos sí un robot debe doblar a derecha ó izquierda y/ó retroceder.

También se puede idear una pista ó guía debajo del dispositivo (ver la figura 8) de modo que sí se desvía de ella se active un mecanismo de corrección de ruta.

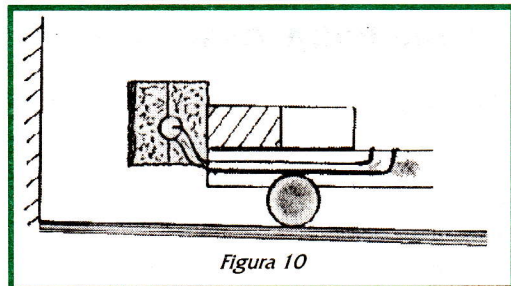


Otros elementos a tener en cuenta son los interruptores magnéticos. Pueden ser los sensores que se usan para las puertas en los sistemas de alarma, ó los Reed Switch que son interruptores formados por dos laminitas encerradas en un tubo de vidrio (ver figura 9).

Al hacerse presente un campo magnético las laminitas se tocan (ó separan) conectando (ó desconectando) un circuito.



Con un reed switch, unos trocitos de polyfom y un pequeño imán podemos construir otro paragolpe ó freno «suave» para vehículo (ver figura 10).



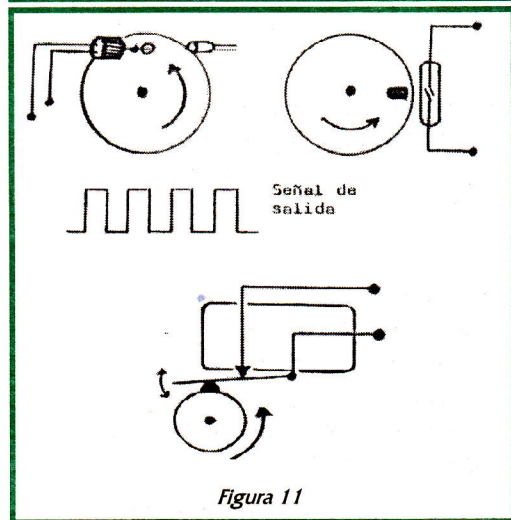
Tanto con los sensores magnéticos como con los ópticos y aún con los micro switch, se pueden alimentar sistemas contadores de vueltas que se pudieran necesitar para medir velocidades ó desplazamientos (ver figura 11).

Obviamente hoy la tecnología, nos provee de dispositivos mucho más sofisticados que los que acabamos de mostrar, algunos de los cuales se pueden incluso obtener en plaza; pero su uso requiere un grado de complejidad de la «electrónica» del proyecto, que excede en mucho el nivel de conocimientos de los alumnos «proyectistas», por lo que no los incluimos en esta reseña.

Las señales provistas por los sensores que hemos visto, deben ser adaptadas al uso que se harán de ellas, mediante la correspondiente interface.

En artículos anteriores hemos tratado los circuitos para construir por ejemplo los sensores ópticos. La adaptación dependerá del proyecto y cada profesor guiará los alumnos en esa dirección.

Hoy cumplimos con mostrar la punta del ovillo; no obstante quedamos a las órdenes de quienes precisen ayuda adicional, para desarrollar el resto de la madeja.



CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSAS

NUEVO MARKETING

Propaganda en un folleto promocional de clases particulares: los exámenes de diciembre se aproximan. Aún no has abierto ni un libro y te ha quedado Física? Pero no te preocupes, porque aquí tienes una serie de frases que, colocadas por aquí y por allá en un examen, te ayudarán a impresionar al duro examinador y a subir la nota lo suficiente. Ni tú ni él sabréis lo que significan, pero él no sabrá que tú no lo sabes, con lo que no se atreverá a discutir las...:

MODO DE EMPLEO: tómese una palabra al azar de la lista A, otra de la B y otra de la C, y pónganse en los huecos correspondientes de la frase modelo, teniendo cuidado de copiarlas bien y de adaptar convenientemente el género, para que no se note mucho. Hay 125 combinaciones posibles, o sea, que si no apruebas es porque no quieres.

FÍSICA: **Lista A:** reacción, inducción, estructura, conversión, teorema.

Lista B: cinético, molecular, geométrico, espacio-tiempo, elíptico.

Lista C: polarizado, paralelo, equilibrado, cuantitativo, acelerado.

Evitando reducir la respuesta a esta pregunta a una mera amalgama de fórmulas matemáticas, debe recordarse que se trata básicamente de lo que se considera un (A) (B) (C). Como es bien conocido y numerosos estudios han demostrado, el (A) (B) (C) permanece constante, más o menos.

En primer lugar, es de destacar que el caso variaría en una cuantía importante si no fuera por el (A) (B) (C), así como el (A) (B) (C). A gran escala, el (A) (B) (C) debe considerarse tan difuso como el (A) (B) (C), e incluso más aún.

EL ALUMNO NACE CANSADO Y VIVE PARA DESCANSAR

1. El alumno siempre tiene la razón, *pero nunca se la dan.*
2. El alumno no copia, *contrasta resultados.*
3. El alumno no usa "trecitos", *recuerda el tema.*
4. El alumno no duerme en clase, *reflexiona.*
5. El alumno no habla en clase, *intercambia impresiones.*
6. El alumno no mastica chicle, *fortalece sus encías.*
7. El alumno no lee revistas en clase, *se informa.*
8. El alumno no insulta al profesor, *le saca defectos.*
9. El alumno no pinta en las mesas, *practica expresión artística.*
10. El alumno no llega nunca tarde a clase, *los demás se adelantan.*
11. El alumno no se cansa en gimnasia, *guarda energía. (para la clase de Física)*
12. El alumno no se retrasa, *le retienen.*
13. El alumno no se distrae, *examina los tubos de luz.*
14. El alumno no tira tizas, *estudia la ley de atracción gravitatoria.*
15. El alumno no suspende, *le suspenden.*
16. El alumno no tira papeles al suelo, *se le caen.*
17. El alumno no corre por los pasillos, *hace pruebas de velocidad.*
18. El alumno no pasa del profesor, *el profesor pasa del alumno.*
19. El alumno si ve a alguien que descansa, *le ayuda.*
20. El alumno cuando tiene ganas de trabajar, *se sienta y espera a que se le pase.*
21. El alumno no destroza el liceo, *le da un toque modernista.*

Extractado del Boletín Oficial del Estudiante n.43 del 27/4/95 - Real Decreto 1643/90 B.O.E.

CAOS (NUEVA CONTINUACIÓN)

Enrique Inzaurrealde. Profesor del I.P.A.

En este artículo y siguientes veremos algunas aplicaciones de la teoría del Caos a diversos fenómenos, a saber:

1) clima, 2) algunas aplicaciones astronómicas, 3) determinación de la longitud de las costas de un país, 4) billares, 5) crecimiento limitado por difusión, 6) posible aplicación a la Mecánica Cuántica y la flecha del tiempo.

1) La complicada ecuación de Navier-Stokes, llamada ecuación constitutiva fundamental de la mecánica de los fluidos, representa el movimiento de las corrientes de aire, a partir de las cuales es que se pueden determinar sus consecuencias en el clima, una vez conocidas las soluciones de la ecuación. Ahora bien, la complejidad de la misma, que en sí misma se descompone en un sistema de ecuaciones diferenciales parciales, salta a la vista

$$\rho a = \rho f \cdot \nabla p + \mu \nabla^2 v + \frac{\nabla \mu \nabla v}{3} \quad (1)$$

donde ρ es la densidad del fluido, a , la aceleración, f , la fuerza másica (o sea, F/m), μ , es el coeficiente de viscosidad del fluido, v , la velocidad del mismo y el símbolo ∇ es el conocido operador nabla que representa la derivada parcial con respecto a las coordenadas.

Resulta, que todos (o casi todos) los sistemas físicos pueden, en determinadas condiciones, volverse caóticos. Esto sucede cuando en su representación en el espacio de las fases, alguna o más de una coordenada presenta un carácter expansivo. Si el sistema es conservativo, sucederá que el volumen del mismo en el espacio de las fases se conservará y, en este caso, el carácter caótico se presenta cuando una variable se expande, mientras otra se contrae, de forma que el volumen calculado se mantiene invariante. Si el sistema es disipativo, la expansión de una variable no conlleva necesariamente la contracción de otra. La expansividad o contractibilidad de una va-

riable en dicho espacio viene representada por el exponente de Liapunov. Si el exponente asociado a la variable es negativo, la misma se contrae, si por el contrario, es positivo, se expande y el comportamiento del sistema en tal variable aparece como caótico, azaroso. Cuando el exponente es cero, la variable se preserva invariante. En el caso de los flujos hidrodinámicos, la descripción de los sistemas se hacen utilizando un conjunto de variables que hemos visto en (1) y que, cuando se presenta un gradiente de temperaturas (piénsese en el calentamiento de una masa de fluido desde abajo, que origina un gradiente de temperaturas en la dirección del peso del fluido) agrega un nuevo término a la ecuación mecánica (1). Precisamente, este gradiente de temperaturas puede originar que, en determinado momento el fluido desarrolle el fenómeno de la *convección*, que matemáticamente se describe como una *bifurcación*. Las bifurcaciones son un camino al caos (ver artículo de Eleonora Catsigeras, referencia 2), dado que las mismas originan cascadas de multiplicación (que son todas caóticas) o de duplicación (que convergen en el mapa de Feigenbaum y, si bien no son en sí mismas caóticas, se ha demostrado que están en el límite del caos). La bifurcación inicial que produce la convección se puede representar por

$$dq / dt = (\alpha - \alpha_0)q - q^3$$

donde α es el parámetro de control (eventualmente, puede ser el gradiente de temperatura, si es que éste es el motivo de la convección), α_0 es su valor crítico, mientras que q son las coordenadas que representan el movimiento rotatorio del fluido.

Luego de la primera bifurcación del comportamiento del fluido, si el sistema sigue avanzando (por ejemplo, si se continúa calentando, de modo de aumentar aún más el gradiente de temperaturas), se puede llegar a producir una segunda bifurcación, lo que representa un comportamiento aún más

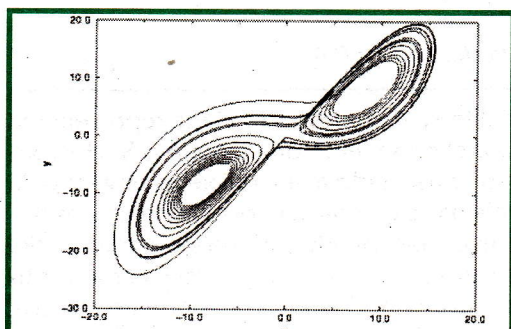


Figura 1. Proyección de las soluciones gráficas de la iteración en las ecuaciones (2) en el plano xy

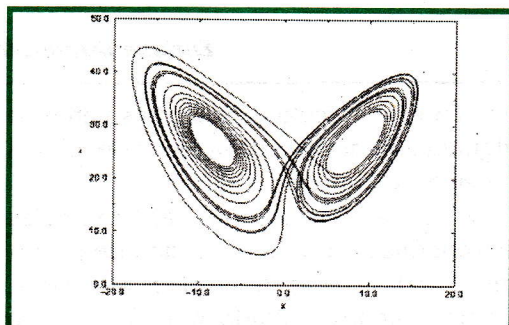


Figura 2. Proyección de las soluciones gráficas de la iteración en las ecuaciones (2) en el plano xz

complejo del fluido y que se resume en las sobresimplificadas ecuaciones de Lorenz.

El meteorólogo Edward Norton Lorenz simplificó estas ecuaciones, sacando de ella todos los términos que le parecieran secundarios a los efectos de la investigación que hacía. Lo que él pretendía encontrar era una forma de predecir las corrientes rápidas de convección que originan turbulencias. En las simplificaciones de tal ecuación llegó a que las coordenadas de las partículas de aire debían verificar el siguiente sistema de ecuaciones

$$\begin{aligned} dx/dt &= \sigma(y - x) \\ dy/dt &= (r - z)x - y \\ dz/dt &= xy - bz \end{aligned}$$

que, al sustituir los valores numéricos de los coeficientes, le quedaron en

$$\begin{aligned} dx/dt &= 10y - 10x \\ dy/dt &= -xz + 28x - y \\ dz/dt &= xy - 8/3z \end{aligned} \quad (2)$$

Iterando las soluciones de este sistema de ecuaciones diferenciales, E.N. Lorenz encontró que tales soluciones iteradas daban como resultado ciertas curvas, hoy llamadas «atractor de Lorenz», y que se presentan a continuación.

Las curvas observadas en las figuras 1 y 2 representan las trayectorias de las partículas de aire en las turbulencias. Significa que, si bien las trayectorias de las moléculas

de aire durante las mismas son impredecibles, aleatorias, todas las moléculas tienden a lo largo del tiempo, a ajustar su trayectoria a las curvas descritas en las figuras, o sea que entran, por algún lugar, en tales trayectorias. De todos modos, el fenómeno es caótico, puesto que aquellas cumplen el requisito fundamental, a saber, *sensibilidad a las condiciones iniciales que, a lo largo del tiempo, implica que las trayectorias individuales tienden a separarse de acuerdo a una exponencial (determinada por los exponentes de Lyapunov)*. El atractor de Lorenz es, evidentemente, una figura tridimensional y fue el primer fenómeno natural estudiado que resultó ser caótico.

Edward N. Lorenz recibió el premio Kyoto en 1991 por sus trabajos en meteorología y había trabajado desde 1946 en el M.I.T. Hoy es considerado uno de los precursores de la Dinámica del Caos por tales contribuciones.

INTERMEZZO. ALGO MÁS SOBRE EL EXPONENTE DE LYAPUNOV

Resulta que, cuando se comenzó a investigar sobre la teoría del caos desde un punto de vista algebraico, se encontraron con la dificultad de definir el concepto de ergodicidad. Este concepto, introducido por Ludwig Boltzman cuando, en el siglo pasado, desarrolló los conceptos básicos de la

Mecánica Estadística, llevó explícita lo que se llamó la Hipótesis Ergódica. La misma sostiene, grosso modo, que en un sistema compuesto por un número grande de partículas interactuando en equilibrio, las medias espaciales y las medias temporales de las magnitudes están cerca (son aproximadamente iguales). Esto puede escribirse así

$$\frac{1}{T} \sum_{n=0}^{T-1} f(S^n x) \rightarrow \int_M f(x) d\mu(x)$$

Este concepto de ergodicidad fue desarrollado por los matemáticos a lo largo del siglo XX, quienes comenzaron por dar una definición precisa de ergodicidad, tomando un espacio de fases M y en él una medida de probabilidad, μ . Entonces, dada una transformación S que, aplicada sucesivamente en M , preserva la medida μ (esto se puede entender como que la aplicación sucesiva de S es la acción a lo largo del tiempo de una dinámica, o sea, de un fenómeno físico), establecieron la siguiente definición de ergodicidad.

El sistema (M, S, μ) es ergódico si, para toda función f razonablemente regular (casi todas las funciones físicas, pues éstas tienen derivada segunda continua) y de cuadrados sumables, resulta que $f(x)$ es constante para μ en casi todo x que pertenece a M .

Los puntos x son, obvio, los puntos del espacio de las fases y $f(x)$ es el promedio temporal de $f(x)$, o promedio pesado de f .

A partir de las definiciones de ergodicidad los matemáticos pudieron llegar a algunas conclusiones, como ser que el comportamiento hiperbólico de los sistemas les da el carácter caótico a los mismos y que son los exponentes de Lyapunov quienes señalan tal comportamiento. Para hacerlo más comprensible, supongamos que tenemos un sistema dinámico dado y que tomamos una bola alrededor del momento inicial, o sea un conjunto de puntos cuyas trayectorias parten de posiciones cercanas a la del punto P (ver figura).

En un sistema caótico se encontrará que esas trayectorias divergen en algunas direcciones (en el caso representado, en la dirección y). Para las dimensiones en las cuales las trayectorias divergen, el exponente de Lyapunov resulta positivo, entretanto, para las dimensiones en las cuales las trayectorias conservan distancias mutuas, el exponente vale cero, mientras que en aquellas dimensiones en las cuales las trayectorias convergen, se acercan, el exponente de Lyapunov es negativo. Así, el exponente de Lyapunov indica el carácter caótico de un sistema dinámico. Existen tantos exponentes de Lyapunov como dimensiones tiene el espacio de las fases, pero el número de dimensiones que poseen exponente de Lyapunov positivo es menor que el del espacio de fases. Quiero decir, la cantidad de exponentes de Lyapunov que presenta todo sistema dinámico es igual al

número de dimensiones del espacio de las fases en el que representamos tal sistema, pero, en general, la cantidad de exponentes de Lyapunov (λ) negativos va a ser menor que el número (N) de dimensiones del espacio de fases.

Son estos números λ_i los que permiten determinar el horizonte de predictibilidad del sis-

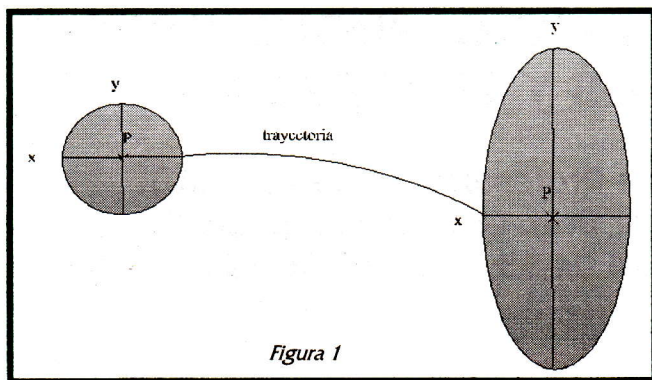


Figura 1

tema. Más allá de este horizonte, el comportamiento del sistema caótico es impredecible. Dicho horizonte se calcula así

$$h = \ln(\epsilon) / \lambda$$

donde ϵ es el error con el que conocemos el estado inicial del sistema, o sea, la medida del error inicial del estado dada en unidades de la amplitud de la oscilación no periódica del sistema.

A los efectos de determinar el valor de los λ_i , exponentes de Lyapunov, podemos imaginar la bola pequeña, infinitesimal, de la figura anterior, de radio dr . Ésta se transforma, al cabo de un tiempo finito t , en una elipse de semieje mayor dl_1 y semieje menor dl_2 , de tal forma que todas las trayectorias que en el estado inicial del sistema se encontraban dentro del círculo de radio

dr , se encuentran, al cabo del intervalo de tiempo t , en la elipse de semiejes dl_1 y dl_2 .

En tal caso, los λ_i se hallan mediante

$$\lambda_i = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{t} \ln \left(\frac{dl_i(t)}{dr} \right)$$

donde $dl_i(t)$ es el radio del i ésimo eje principal de la elipsoide (no olvidar que estas elipsoides se encuentran incluidas en espacios N -dimensionales, o espacios de fases, que son los que se utilizan para representar la evolución de los sistemas dinámicos, o sea, aquellos sometidos a dinámicas, o leyes de transformación, que se pueden representar, en definitiva, como iteraciones de un conjunto de ecuaciones, que son las ecuaciones del movimiento, en caso de sistemas físicos).

Último momento ¡¡ATENCIÓN!! PROFESORES DE FÍSICA

CURSOS DE VERANO EN EL I.P.A. (Febrero 2001)

INFORMES DE INICIO, PROFESORES, HORARIOS Y TEMARIOS

EN EL Instituto de Profesores Artigas (I.P.A.)
Av. del Libertador Brig. Gral. Lavalleja 2025
o por los teléfonos: 924 04 55 - 924 04 96 - 924 04 62

MODELOS Y SIMULACIONES COMPUTACIONALES EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Lic. Hugo Alberto Kofman

Las técnicas de simulación se vienen utilizando desde hace mucho tiempo en diversos campos de la enseñanza, como por ejemplo en el entrenamiento de pilotos de avión, o más recientemente el aprendizaje que hacen médicos anestelistas con cuerpos humanos artificiales.

En el campo de la investigación, las técnicas de simulación son ampliamente conocidas y aplicadas. En los años 40, los físicos atómicos introducen este método para calcular el blindaje de plomo que debía utilizarse para frenar los neutrones producidos por la fisión nuclear: se recurre a la utilización de números aleatorios, generando miles de eventos que son evaluados en forma estadística. Surge así el conocido Método Monte Carlo.

Hoy en día, las técnicas de simulación constituyen una herramienta imprescindible para la predicción en las ciencias naturales y sociales, y para la tecnología.

Con la difusión paulatina de la computadora en los centros de enseñanza, se plantea la utilización de Simulaciones para el aprendizaje de las ciencias, lo cual se propone bajo diversas metodologías.

Con relación a este tema resulta necesario analizar qué dificultades pedagógicas puede ayudar a superar la utilización de simulaciones. Las mismas: ¿resultan sólo útiles para adquirir habilidades y realizar entrenamientos, o también pueden utilizarse para lograr Aprendizajes Significativos en las ciencias?

Nos orientamos hacia la segunda de las alternativas, dando una respuesta a esta pregunta desde propuestas metodológicas basadas en teorías del aprendizaje, y desde las experiencias que se vienen realizando desde hace varios años.

Para acercarse a un fundamento teórico de esta temática, así como para abordar la aplicación de las simulaciones en la enseñanza, se requiere de ciertos conceptos científicos y pedagógicos generales. De ahí la propuesta de este trabajo, en el que se formulan en primer término los conceptos de MODELO y SIMULACION, sus distintos tipos y funciones, y luego se abordan los aspectos pedagógicos y didácticos.

1. – DEFINICIÓN DE MODELOS Y SIMULACIONES

1.1- MODELO:

Lo definimos como una *Imagen o Representación, generalmente incompleta y simplificada de un Sistema (Físico en este caso).*

Por ejemplo, la representación de la caída de un vaso, sin velocidad inicial, por la ecuación: $y = h - \frac{1}{2}gt^2$, donde h es la altura desde donde comienza el movimiento, g la aceleración de la gravedad, t es la variable tiempo, e y la variable de posición.

Otro caso sería el de representar el comportamiento de un gas como si el mismo estuviese formado por pequeñas partículas esféricas (las moléculas), animadas de

ciertas velocidades y que chocan elásticamente con las paredes del recipiente y entre sí (modelo de gas ideal). En ambos casos se pueden obtener resultados numéricos que coinciden aceptablemente con los experimentales, dentro de ciertos rangos, y que pueden ser útiles para resolver problemas prácticos.

1.2.- SIMULACIÓN:

Se designa así a *la experimentación con un modelo para extraer conclusiones o realizar predicciones.*

Utilizando una computadora se podrían realizar los cálculos necesarios que contemplen todas las condiciones que podrían darse en sistemas como los anteriores. Se

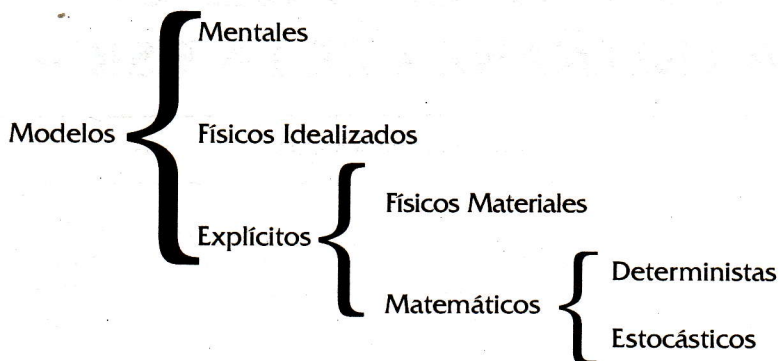


Figura 1

podría ver una animación de la caída libre en tiempo real o en tiempo retardado. También sería posible seguir el movimiento de mil “moléculas” que chocan elásticamente y determinan una presión de gas ideal. Podríamos seguir la trayectoria de un nuevo planeta que podría estar entre la Tierra y Marte, etc. Las simulaciones computacionales nos permiten “experimentar” con situaciones no accesibles a los sentidos o imposibles de crear en el laboratorio.

2. - TIPOS DE MODELOS

Daremos a continuación una clasificación que nos será útil a nuestros fines, y luego haremos la descripción de los mismos. (ver Figura 1)

2.1.- MODELO MENTAL:

Es la imagen o representación mental de un sistema. Es una entidad que puede asociarse a la expresión “concepto sobre algo”, pero es más que eso. Significa que tenemos Modelos Mentales de muchos fenómenos físicos: del equilibrio, del movimiento, de la corriente eléctrica, de la energía potencial, etc. También tenemos modelos mentales de los espacios donde habitamos, de los movimientos corporales y de los objetos, de los materiales con que interactuamos, etc.

Cuando tomamos la decisión de cruzar o no una calle frente a un vehículo que se aproxima, estamos operando con nuestro modelo mental. No realizamos cálculos matemáticos, sino que actuamos en función de experiencias anteriores. Nuestra mente procesa información en la que intervienen distancias, velocidades, características del vehículo, etc. Ese procesamiento es puramente analógico y se realiza en función de nuestro modelo mental referido a ese tipo de situación. Como vemos, Modelo Mental tiene un significado mucho más amplio que concepto o preconcepto.

Representamos los fenómenos físicos a través de ciertas imágenes, utilizando analogías con situaciones mas conocidas en muchos casos.

En general, somos inconscientes de nuestros modelos mentales, los mismos pueden variar en el transcurso del tiempo y pueden tener elementos contradictorios y contornos poco definidos. Son relativamente difíciles de conocer.

Sin embargo, a los mismos se les atribuye actualmente una gran importancia desde lo pedagógico. Al igual que cuando vamos a cruzar una calle, cuando vamos a resolver un problema o dar una explicación de un fenómeno, o intentamos predecir un hecho, lo hacemos en primer lugar desde nuestro modelo mental. Aunque tengamos leyes o ecuaciones específicas, inconscien-

temente tendemos a operar desde nuestro modelo mental. Si el mismo es congruente con la ley física correspondiente, estaremos en el camino correcto de resolución. En cambio, si existen contradicciones importantes, es probable que "forcemos" la Ley Física para que coincida con nuestro modelo mental, y en ese caso es casi seguro que llegaremos a conclusiones erróneas.

Larkin y Chabay (1996), citando a otros autores (Chi, Feltovich y Glaser, Simon y Simon) explican los modos diferentes con que un "experto" y un estudiante abordan la resolución de un problema físico:

"Los alumnos (especialmente aquellos que obtienen altas calificaciones en las ciencias físicas) parecen trabajar en un 'espacio' psíquico de ecuaciones, tratando de recordar las ecuaciones adecuadas y de unirlos con precisión. En cambio, los expertos pasan gran parte de su tiempo de resolución de problemas en un espacio psíquico de razonamiento científico: hablan cualitativamente de fuerzas, impulsos, cambios de velocidad y de las relaciones entre ellos, sin escribir en ningún momento una ecuación" (el subrayado es nuestro)

Sin duda, la diferencia entre ambas formas de razonar está basada en el distinto nivel de desarrollo de los modelos mentales sobre el fenómeno en cuestión. El "experto", antes de escribir ecuaciones razona en forma cualitativa, es decir, se imagina la solución del problema, lo cual realiza a través de su modelo mental. En cambio al estudiante, que aún no tiene completamente desarrollado el modelo mental del fenómeno, no le queda otra alternativa que la de abordar la solución mediante la aplicación directa de las ecuaciones. Sabemos que los resultados obtenidos, de esta última forma, no siempre son correctos.

De igual modo que en el aprendizaje natural, que se desarrolla mediante la interacción con la realidad cotidiana, partiremos de la base que en el aprendizaje de las ciencias se deben producir modificaciones o creación de nuevos modelos menta-

les, al menos en una gran cantidad de casos. Aunque hay que asumir que esto no es muy sencillo y que generalmente no se produce el reemplazo liso y llano de un modelo por otro, sino que de alguna manera el viejo modelo sigue conviviendo, a veces contradictoriamente, con el nuevo. Un ejemplo clásico, que se dio en la teoría constructivista del aprendizaje es el del modelo "Aristotélico" que vincula fuerza con velocidad y que está relacionado a experiencias cotidianas fuertes, el cual está en contradicción con la teoría Newtoniana, que vincula fuerza con aceleración.

Podemos dar un ejemplo de electricidad: Luego de desarrollada en clase la ley de Ohm y la teoría de circuitos, de realizar varias experiencias y de resolver múltiples problemas, hemos pedido a los alumnos que toquen el "polo vivo" de un toma-corrientes, estando aislados de tierra por su calzado. La inmensa mayoría se niega a hacerlo, lo cual está relacionado al Modelo Mental erróneo que conservan sobre la corriente eléctrica. La imaginan como una especie de fuerza o fluido misterioso que existe en los conductores "electrizados" y que es capaz de electrocutarnos pasando a nuestro cuerpo por el solo contacto con el mismo. No se piensa (íntimamente) que todo nuestro cuerpo es un conductor formado por partículas con cargas eléctricas y que estas sólo pueden circular en forma de corriente por el cuerpo cuando entre dos puntos del mismo se establece una diferencia de potencia permanente, lo cual no se verifica en caso de estar aislados de tierra.

La modificación del modelo mental es entonces un proceso contradictorio y que se extiende en el tiempo. Sería lo que vulgarmente se denomina "decantación de los conocimientos", expresión que hace referencia a un proceso lento.

El concepto de modelo mental tendrá importancia para nosotros en dos sentidos: Como punto de partida para la generación

del modelo explícito, como luego veremos, y además cuando estudiemos el proceso de aprendizaje con ayuda de simulaciones computacionales.

2.2.- MODELO FÍSICO IDEALIZADO

Lo definimos como *una representación idealizada del sistema, con la enunciación de los atributos que se tomarán en cuenta y la explicitación de las simplificaciones realizadas.*

Cuando estudiamos la caída de un vaso, prescindimos de su forma, del material con que está construido, de su color, etc. Lo representamos por una *partícula*. Luego despreciamos la fuerza resistente del aire, la variación del campo gravitatorio con la altura y las fuerzas inerciales producidas por la rotación terrestre. Llegamos así al Modelo Físico Idealizado: una partícula material con una cierta masa, que se mueve bajo la acción de una sola fuerza constante (el peso). Ahora se pueden aplicar las ecuaciones correspondientes, es decir, formular el *modelo explícito*, y resolver el problema de acuerdo a sus datos.

Sobre un determinado sistema físico se pueden plantear distintos modelos físicos idealizados, de acuerdo a los aspectos que nos interesen. Para estudiar la rotación de la Tierra alrededor del sol, podemos considerar a esta como una partícula, como si toda su masa estuviera concentrada en el centro de la misma. En cambio para analizar la rotación alrededor de su eje, pensamos en la tierra como en una esfera, como primera aproximación. En el caso que nos interesara estudiar la dinámica del movimiento de precesión terrestre deberíamos tener en cuenta el achatamiento en los polos.

Volviendo al tema de la caída de los cuerpos, es muy importante que tengamos en cuenta la función y el lugar que ocupa el Modelo Físico Idealizado en el análisis de un problema o fenómeno físico. Por un lado ha sido necesario para la construcción del modelo matemático, pero *para plantearlo hemos utilizado un modelo mental*, es de-

cir: no hemos realizado cálculo alguno, ni consultado datos numéricos, sino que simplemente hemos considerado sobre la base de nuestra experiencia que era posible realizar tales simplificaciones, lo cual puede o no ser correcto. Quizás si hubiéramos tenido que calcular datos de la caída de una hoja de papel, o de algún otro cuerpo desde 15.000 Km de altura, no hubiéramos planteado tan simplemente el modelo de partícula con fuerza constante.

Esto nos muestra por un lado la gran importancia que tiene el modelo mental a la hora de resolver un problema, y al mismo tiempo el lugar que ocupa el Modelo Físico Idealizado, como etapa intermedia entre el modelo mental y el modelo explícito.

2.3.- MODELO EXPLÍCITO

Lo consideramos como *una representación operativa del mundo físico. Como tal, es comunicable, estable y bien definido.*

Como ya se mencionó, el modelo explícito se origina en un modelo mental y en un modelo físico idealizado, actuando este último como nexo entre los primeros. Se podría decir que el grado de coherencia con el modelo mental no siempre es total.

Los modelos explícitos más importantes son los modelos físicos materiales y los modelos matemáticos, aunque se pueden dar combinaciones. Por su importancia para este tema, nos ocuparemos preferentemente de los últimos.

2.3.1.- MODELO FÍSICO MATERIAL

Es la *representación del sistema físico por medio de otro sistema físico, entre los cuales puede haber coincidencia de atributos o simple analogía.*

Un ejemplo podría ser el de cuba de ondas, mediante la cual se generan ondas en la superficie del agua para estudiar varios fenómenos que tienen correlación en otros tipos de ondas. También ciertos modelos a escala, de fenómenos físicos, como el salto de una chispa en un generador electros-

tático, que simula una descarga atmosférica. Son modelos que se utilizan ampliamente en desarrollos tecnológicos.

Hay casos en que los fenómenos comparados son totalmente disímiles y solo se utilizan analogías para realizar comparaciones. Por ejemplo, un sistema masa - resorte con rozamiento puede ser representado por un circuito eléctrico RLC, dado que responden a ecuaciones diferenciales similares.

2.3.2.- MODELO MATEMÁTICO Y SU RELACIÓN CON LA LEY FÍSICA

Llamamos *Modelo Matemático* a la representación de un sistema por medio de ecuaciones matemáticas o distribuciones estadísticas de valores aleatorios.

Los modelos computacionales, a los que nos hemos referido, no son más que modelos matemáticos calculados en computadora. No se debe confundir Modelo Matemático con Ley Física. El primero es la representación de un sistema en particular por medio de expresiones matemáticas, mientras que la Ley Física es un enunciado de carácter general que responde a una determinada teoría sobre el mundo físico. Para generar un modelo matemático, generalmente utilizamos leyes físicas, para lo cual planteamos primero el modelo físico idealizado, es decir, generamos una representación simplificada del sistema, seleccionamos las variables a tener en cuenta y deseamos otras que consideramos no necesarias para el problema, o simplemente de peso despreciable para el grado de aproximación que buscamos.

Plantearemos primero el modelo físico idealizado: los dos conductores están cargados con cargas de igual magnitud y de signo contrario, toda la carga neta reside en las superficies enfrentadas, la densidad superficial de carga es uniforme y el campo eléctrico también es uniforme. Despreciamos los efectos de borde y la existencia de cargas en las superficies exteriores.

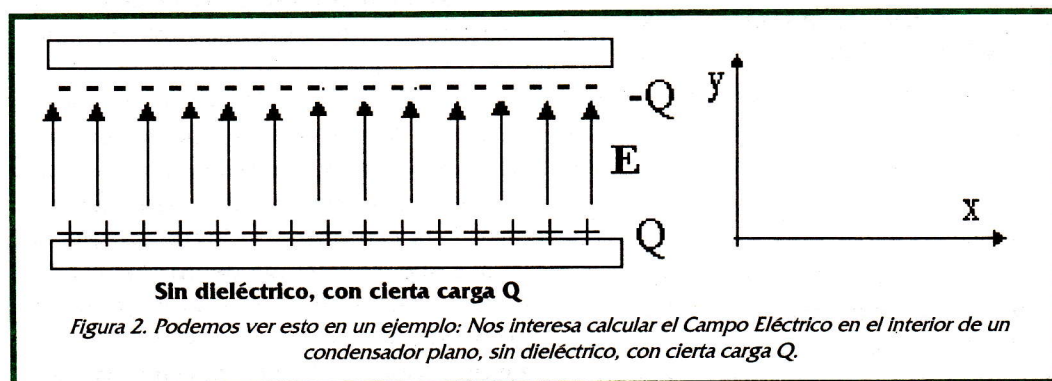
A este Modelo Físico Idealizado, aplicamos ahora la Ley de Gauss (una de las cuatro leyes generales del electromagnetismo), suponiendo que el campo eléctrico es exactamente cero en el interior de los conductores. Luego de ciertas operaciones matemáticas que no nos interesan en este momento, arribamos a la expresión:

$$\vec{E} = \frac{Q}{A\epsilon_0} \vec{j} \quad (1)$$

Hemos llegado así al Modelo Matemático que representa, con cierto grado de aproximación, el campo eléctrico dentro de un condensador cargado.

El modelo físico idealizado que formulamos tiene claras limitaciones, pero cuando el área de las placas es muy grande y la distancia entre las mismas es pequeña, genera un modelo matemático aceptable y útil para muchas aplicaciones prácticas.

Hemos visto además la diferencia y la relación entre Ley Física y Modelo Matemático. Sin embargo, hay que tener en cuenta que algunos modelos matemáticos



no se basan en leyes físicas, dado que resulta menos complicado utilizar expresiones empíricas que ajusten en forma suficientemente adecuada con el fenómeno. Esta forma de proceder es común en cálculos ingenieriles en los cuales intervienen gran cantidad de variables.

Por otra parte, en el análisis anterior, hemos considerado el Modelo Físico Idealizado como una representación de un sistema particular y planteamos la diferenciación entre Ley Física y Modelo. Profundizando un poco en el tema, habría que considerar que las Leyes Físicas responden a un modelo físico idealizado de carácter general. Por ejemplo, la Ley de Gravitación Universal de Newton lleva implícito el modelo de partícula, o las leyes del electromagnetismo clásico suponen que los campos se establecen y propagan en forma continua, lo cual tiene un alto grado de validez a niveles macroscópicos. Es conocido que a nivel atómico se deben utilizar las leyes de la Física Cuántica, la cual implica a su vez un modelo diferente.

En síntesis, podemos decir que las Leyes Físicas son expresiones de carácter general, enmarcadas en cierta teoría, la cual lleva en forma explícita o implícita un modelo general asociado. Esas leyes físicas nos permiten construir los modelos matemáticos de fenómenos físicos singulares sobre la base de la formulación de los modelos físicos idealizados de carácter particular.

2.3.2.1- MODELOS MATEMÁTICOS DETERMINISTAS

Están formados *por ecuaciones que ante un determinado juego de valores de los parámetros iniciales, reproducen siempre la misma solución.*

Son los modelos más comunes, tales como el del campo eléctrico o el de la caída libre que ya se mencionó, o el del movimiento planetario. Las ecuaciones diferenciales representan modelos de este tipo.

2.3.2.2- MODELOS MATEMÁTICOS ESTOCÁSTICOS

Son aquellos que *se componen por el procesamiento de gran cantidad de datos aleatorios que responden a algún tipo de distribución, no reproduciendo los mismos resultados a partir de idénticos parámetros iniciales.*

Se utilizan estos modelos cuando los sistemas se componen de gran cantidad de elementos cuyo comportamiento solo puede ser previsible en términos estadísticos. Un ejemplo clásico es el del frenado de neutrones que dio origen al llamado Método Monte Carlo. El método se utiliza hoy en forma muy amplia, no sólo en la Física, sino en casi todas las ciencias. Hasta el diseño de los sistemas de control de tránsito vehicular se realiza sobre la base de estos modelos.

Para acercarnos más a la idea, describiremos a continuación en forma breve cómo funcionaría un modelo simplificado del blindaje de neutrones que mencionamos.

Se asigna en forma aleatoria una velocidad al neutrón, cuyo módulo está acotado por cierto valor máximo, y sus tres cosenos directores en el espacio son también aleatorios. Con estos parámetros se lo hace ingresar al blindaje, supuesto como una plancha plana de cierto espesor. Para cada neutrón que ingresa, luego de recorrer cierta distancia (aleatoria, de acuerdo a cierto camino libre medio) se produce un cambio aleatorio de dirección y una cierta disminución de la velocidad, lo cual simula un choque parcialmente inelástico con un núcleo de plomo del material. El proceso se repite hasta que la velocidad del neutrón se anula, o hasta que salga por algún lado del blindaje. Para cada neutrón ingresado puede ocurrir que: se detenga dentro del blindaje, salga por el mismo lado por el que ingresó, o salga por el otro lado. Contabilizando el porcentaje de estos últimos casos

para una gran cantidad de ensayos, se podría evaluar la efectividad del blindaje y utilizar esa información para el diseño de ese dispositivo.

El modelo que se utiliza para estos cálculos es bastante más complejo que el descrito, sin embargo éste resulta suficiente como para acercarse a una solución del problema y sobre todo para entender la esencia del método Monte Carlo.

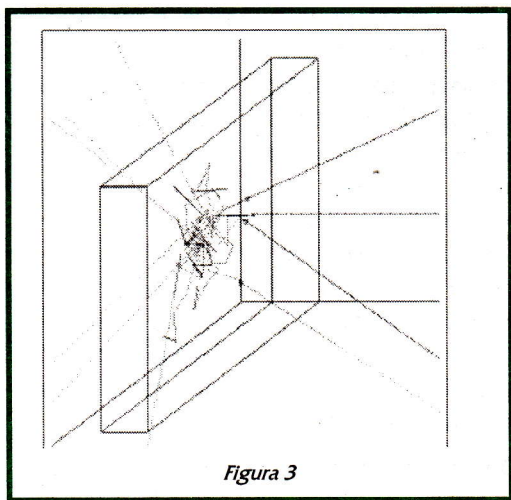


Figura 3

En la Figura 3 se observa el resultado de una simulación en computadora, en el que se han realizado veinte eventos (choques de neutrones), de los cuales 4 pasaron la plancha (azules), 6 rebotaron luego de uno o más choques (verdes) y 10 se detuvieron dentro del blindaje, lo cual nos da un 80 % de efectividad. El programa utilizado (Neutron), se encuentra en el CD-ROM que acompaña la obra y puede ser ejecutado por el lector modificando distintos parámetros para estudiar el comportamiento del sistema.

Hay procedimientos de simulación que pese a la enorme velocidad de las computadoras requieren de varios días o semanas para su ejecución, dada la gran cantidad de datos que hay que procesar.

3.- LA SIMULACIÓN ACTUANDO SOBRE EL MODELO MENTAL

Hemos visto cómo pasamos desde el Modelo Mental al Modelo Físico Idealizado, y de este al Modelo Matemático. De ahí pasamos a la Simulación, que no es más que la experimentación con dicho modelo. Ahora veremos de alguna manera el proceso inverso: cómo la Simulación puede actuar modificando nuestro modelo mental, es decir ubicándonos en una situación de aprendizaje.

La función pedagógica de la Simulación tiene mucho en común con el rol de la experimentación, cuyo valor apreciamos enormemente en la Física:

Observar el movimiento orbital de un planeta alrededor del sol a través de la pantalla de la computadora evidentemente no es igual que verlo en la realidad a través del telescopio o de la visión directa. Esto último produce un impacto mucho más fuerte y resulta más creíble que un pequeño círculo que se mueve en la pantalla, pero con algunos inconvenientes: En la visión directa necesitamos de muchas observaciones a lo largo del año, las cuales se harán desde un sistema de referencia que cambia permanentemente de posición, habrá épocas en que la luz diurna no nos permitirá observar al planeta, y tampoco podemos modificar parámetro alguno del movimiento. Podemos observar, pero no podemos experimentar.

En cambio, una simulación computacional nos permite reducir los tiempos, modificar los parámetros de la órbita, elegir el sistema de referencia y "ver" el planeta en cualquier época del año, sin telescopio. Se puede observar la animación y obtener los datos numéricos que sean necesarios.

De igual manera se puede operar con un simulador de vuelo, de viajes espaciales, de lanzamiento de partículas en el campo

gravitatorio, de difracción de la luz, etc. En todos estos casos, la simulación permite “experimentar” en condiciones que resultan imposibles de generar en el laboratorio. Se trata de programas que permiten un alto grado de interacción del alumno con el fenómeno físico representado.

La función pedagógica central que le asignamos al uso de las simulaciones es entonces la de ayudar en el desarrollo del modelo mental sobre el fenómeno, dada la trascendente importancia que tiene este aspecto del aprendizaje. Pero esta función que está planteada en términos cualitativos, se debe vincular a aspectos cuantitativos, es decir a las expresiones matemáticas del fenómeno.

Dentro de este contexto, se trata de precisar cómo se deben utilizar las simulaciones, dado que representan una herramienta didáctica de nuevo tipo.

4.- MODALIDADES DE USO DE SIMULACIONES EN EL APRENDIZAJE DE LA FÍSICA

Hemos mencionado precedentemente la posibilidad de utilizar simulaciones como simple reemplazo de las experiencias de laboratorio, lo cual brinda posibilidades enormes, dado el carácter irrestricto de la variación de parámetros que nos permiten. Sin embargo, para evitar la imagen de artificialidad que se puede generar en el alumno, se aconseja vincular la Simulación con el experimento real. Se trata de observar sus coincidencias y luego utilizar la simulación como una extensión de la propia experiencia. Esto en la medida que sea materialmente posible.

Comparando la experiencia real con la simulación, el alumno llega a tener una idea más clara del significado de modelo matemático: observar cómo éste se aproxima a la realidad, pero que en ciertas condiciones puede tener importantes discrepancias.

De igual manera resulta útil comparar distintos modelos matemáticos con un sólo fenómeno físico, para ver el rango de validez de cada uno. Al respecto, hemos tenido experiencias interesantes con el tema de la caída libre de los cuerpos, donde se ponen en discusión las condiciones para la aplicabilidad del modelo ideal sin resistencia del aire. La velocidad de cálculo y posibilidades gráficas de la computadora hacen posible esta actividad, en la que los alumnos realizan gran cantidad de simulaciones en condiciones distintas para estudiar el fenómeno. En esta modalidad, el alumno puede escoger entre distintos modelos matemáticos ya programados, que deben presentarse en forma totalmente explícita, y estudiar su funcionalidad al fenómeno. Esto conviene realizarlo con software del tema específico, dado que en el mismo resulta posible incorporar una serie de elementos que hacen a ese problema, con un manejo sencillo en lo que hace a la interfase gráfica.

Otra modalidad de encarar el problema es a través de algún sistema editor, en el cual los alumnos escriban o modifiquen las expresiones matemáticas, lo cual desplaza un poco el centro de atención hacia el propio modelo matemático, sin que ello implique dejar de lado los aspectos fenomenológicos. Esta segunda forma implica una mayor dificultad y una mayor penetración con el modelo matemático y su relación con el fenómeno.

Una tercer posibilidad, consiste en la programación de modelos computacionales por parte de los propios alumnos, lo cual, además de requerir un estudio teórico previo del tema, implica el manejo de estructuras algorítmicas y de un lenguaje de programación. Tal elaboración representa un análisis amplio del problema, considerando todas las alternativas posibles, lo que significa el mayor grado de aprendizaje en la resolución del problema.

Las tres alternativas planteadas, que en sí mismas pueden contener distintas variantes, están propuestas en orden creciente de dificultad y también de profundización de conocimientos.

En este trabajo centramos la atención en la primera de las modalidades propuestas, en la cual los alumnos trabajan en forma grupal con modelos computacionales previamente desarrollados, en el cual pueden seleccionar distintos modelos, pero no escriben ni modifican expresiones matemáticas.

5.- LA SIMULACIÓN COMO RECURSO DIDÁCTICO EN FORMA DE AMBIENTE VIRTUAL DE APRENDIZAJE

Como ya se mencionó, los modelos computacionales, pueden ser utilizados en forma combinada con las experiencias de laboratorio, las que a su vez pueden automatizarse por computadora, o como simple reemplazo de las mismas. Abordaremos esta última modalidad, la que puede hacerse extensiva a la primera.

En pocos minutos los alumnos aprenden las funciones del programa y su forma de operación. Se trata de ambientes virtuales de aprendizaje, de carácter interactivo, en los cuales los efectos y representaciones gráficas, además de ser representativas del fenómeno estudiado, deben generar una motivación adicional.

El modo de trabajo que privilegiamos se conoce con el nombre de Exploratorio, lo cual significa que el alumno tiene libertad para explorar distintas alternativas e ir definiendo su propio camino para alcanzar ciertos objetivos. Este mecanismo está fundamentado en el constructivismo y se diferencia del modelo conductista, que va guiando al alumno a través de recorridos previamente establecidos, inclusive, en cier-

tos casos, asignándole puntaje de acuerdo a los aciertos o errores.

Para fijar ideas, se puede ejemplificar cómo se plantea resolver una misma cuestión sobre la caída libre de los cuerpos con un software específico de simulación gráfica o elaborado mediante una planilla de cálculo, a través de una u otra metodología:

1 - (**Constructivista - Exploratoria**) Determine mediante la simulación, cómo se relacionan matemáticamente el tiempo de caída, la velocidad final y la altura en la caída libre sin resistencia del aire.

2 - (**Conductista**) Realice simulaciones de caída libre sin resistencia del aire desde 100 m, 200 m y 300 m de altura. Mida en cada caso la velocidad final y el tiempo de caída. Determine con tales valores, si se cumplen o no las siguientes relaciones de proporcionalidad:

- a) h con v (SI) (NO)
- b) h con t^2 (SI) (NO)
- c) h con v^2 (SI) (NO)
- d) h con v (SI) (NO)
- e) v con t (SI) (NO)
- f) v con t^2 (SI) (NO)

En la primera modalidad, el alumno debe tomar varias decisiones, trabajando por prueba y error, de acuerdo a una modalidad exploratoria basada en el constructivismo:

- Realizar simulaciones de caídas desde distintas alturas.
- Establecer las variables a relacionar.
- Probar con distintas expresiones matemáticas de acuerdo a su intuición o inventiva.

En el segundo caso el alumno sólo realiza los pasos previamente establecidos y comprueba numéricamente las relaciones propuestas por el docente y puede inclusive obtener un puntaje de acuerdo a lo que responde. Se trata de una metodología conductista.

No se plantea simplemente desechar esta última posibilidad, dado que para cierto nivel y objetivos puede resultar adecuada: los alumnos se familiarizan con el fenómeno y ejercitan el cálculo de proporcionalidad. Además, no hay que perder de vista que la propuesta constructivista representa una mayor dificultad, y que si el alumno no está en condiciones de abordarla, puede representarle una frustración.

Además, para resolver el mismo problema, puede haber más de un enunciado constructivista. En vez de la propuesta (1) se podría haber formulado la siguiente:

3) Encuentre las regularidades entre variables extremas en el movimiento de caída libre sin resistencia del aire mediante la simulación.

Esta propuesta representa mayor dificultad aun que la primera. De esta manera se explica que la formulación de una propuesta constructivista requiere de una elaboración cuidadosa, que se adecue al grupo de alumnos.

A pesar de estos problemas, se considera necesario privilegiar esta metodología, dado que la misma potencia la creatividad, la autonomía en el aprendizaje y la capacidad de razonamiento. Para ello, el aprendizaje debe plantearse más basándose en metas a alcanzar que en tareas enunciadas a desarrollar. Un aspecto no menos importante a tener en cuenta es el carácter colaborativo de esta modalidad: los alumnos trabajan en grupos, con aportes de ideas y debate de conjunto.

En lo que hace a contenidos específicos, el alumno se familiariza con los fenómenos, comprende el significado de Modelo Matemático, y la posibilidad de trabajar con modelos más o menos cercanos a la experiencia real. Para esto es necesario explicitar el modelo y en lo posible el método de cálculo. El alumno, cuando trabaja con una simulación debe ser plenamente consciente del modelo que utiliza, su expresión matemática y que el mismo es sólo una aproximación al fenómeno real.

6.- EL DESARROLLO DE LA CLASE

Además de las características deseables sobre el software y de la adecuación de la guía de actividades, de acuerdo a los criterios antes discutidos, se hace necesario tener en cuenta algunos aspectos prácticos en el desarrollo de este tipo de clase. Es de mucha importancia la definición del número de alumnos que trabajan en cada máquina. Con grupos de tres o cuatro alumnos se garantiza un trabajo colaborativo con importante intercambio de opiniones, sin que se anulen ciertas participaciones individuales. Los alumnos deben rotar en el manejo de la computadora y en la toma de notas sobre los aspectos relevantes que vayan observando o comprobando.

En general es conveniente que las notas sean tomadas en borrador, con papel y lápiz, de manera que se mantenga el centro de atención en el trabajo y su análisis. La elaboración del informe de trabajo debiera hacerse a posteriori, para lo cual se pueden repetir ciertas experiencias para copiar algunos gráficos o tablas de valores en un procesador de textos o planilla de cálculo, utilizando por ejemplo el "portapapeles" de Windows. La experiencia indica que si los alumnos realizan esta última operación al mismo tiempo del trabajo de análisis, centran la atención en aspectos de la presentación (formales) en desmedro del problema central. Finalizado el trabajo de los grupos pequeños, se pasa al debate de todo el curso, a través del cual se enriquecen los conceptos y se corrigen aspectos erróneos.

En todo esto, el docente debe evitar una excesiva intervención en el trabajo de los alumnos, manteniéndose en una actitud de colaboración, aclarando dudas sobre los objetivos y a lo sumo sugiriendo "pistas" sobre posibles alternativas a recorrer.

En síntesis, hemos propuesto una típica modalidad de taller, que es muy conocida por los docentes, pero que adquiere ciertas particularidades en función de las posibilidades que brinda la herramienta computacional utilizada.

LIBROS COMENTADOS

Colaboración: Prof. Daniel Baccino

TÍTULO: EL CÁNTICO DE LA CUÁNTICA.

SUBTÍTULO: ¿Existe el mundo?

AUTORES: S. ORTOLI Y J.-P. PHARABOD / **EDITORIAL:** GEDISA, Barcelona, España

EDICIÓN: Tercera, octubre de 1991, 130 páginas / **I.S.B.N.:** 84-7432-231-6

- (1) *Los peces solubles.*
- (2) *El nacimiento de una nueva física.*
- (3) *Lo esencial de la teoría.*
- (4) *De la paradoja EPR a la experiencia de Aspect.*
- (5) *Las ondas de átomos y el gato de Schrödinger.*
- (6) *¿Existe el mundo?.*
- (7) *Las teorías de variables ocultas no locales.*
- (8) *Las interpretaciones cuánticas propiamente dichas.*
- (9) *Orientalismo y parapsicología.*

Estos son los nombres (como se ve, algunos sugestivos) de los capítulos del libro escrito originalmente en francés por dos personas vinculadas al trabajo científico (el primero es doctor en física de sólidos y periodista científico, el segundo ingeniero en telecomunicaciones y matemático).

Presenta algunas de las cuestiones básicas de la Cuántica de forma tal que está casi exento de formalismo (en un apéndice se trata cuantitativamente «La desigualdad de Bell», como excepción). Se plantean a lo largo de los primeros capítulos algunas experiencias e ideas aparecidas a lo largo del siglo: la paradoja Einstein - Podolsky - Rosen (1935); experiencia de Aspect (1975); paradoja del gato de Schrödinger; entre otros.

Intentan mostrarse con cierta perspectiva las diferentes posiciones filosóficas asociadas con las interpretaciones de la Teoría Cuántica, incluso aquellas que tienen aceptación minoritaria entre los científicos, a lo largo de la historia de esta disciplina.

En el capítulo 8 desemboca una clasificación de las interpretaciones de la Teoría Cuántica que se había desarrollado en capítulos anteriores (de «corte filosófico»), que se complementa con una nueva clasificación (de corte físico) a partir de tres criterios: cuestionamiento del concepto de espacio, cuestionamiento del concepto de

tiempo y cuestionamiento de la idea de unicidad del universo. Se plantea un cuadro de doble entrada en el que se señalan nombres de defensores destacados de cada postura existente. En el capítulo penúltimo los autores anotan algunas vinculaciones que físicos de renombre han tenido con culturas orientales, pero básicamente se lo dedica a presentar la postura de Fritjof Capra sobre «Física y Taoísmo».

Las conclusiones de los autores están plasmadas en un último capítulo en donde plantean temas como «la bomba atómica, 'invento cuántico' », su postura sobre una actuación basada en cierta definición de «lo racional», así como «el materialismo mecanicista» y su fin.

Es un libro cuyas características hacen que pueda leerlo cualquier persona, con una formación científica básica, interesada en el tema. Quizás particularmente útil para los docentes que tratamos algunos temas básicos de la Teoría Cuántica en nuestras clases de Bachillerato, con la posibilidad de comenzar a entender (ya que el libro podría considerarse una introducción o de nivel de divulgación) la «meta-física» asociada a esta porción del conocimiento humano. Probablemente sea éste uno de los caminos para que podamos extender nuestro trabajo a esas tierras áridas.



ENTREVISTA CON EL CONSEJERO PROF. J. CARBONELL

Por resolución de la Asamblea Anual de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay, llevada a cabo el día 19 de setiembre de 2000 en la ciudad de Maldonado, la Comisión Directiva solicita la entrevista con el Consejero Prof. J. Carbonell, realizada el día 21 de noviembre.

En esta entrevista se le plantean al Consejero las mociones aprobadas en la Asamblea.

- ¿Qué rol desempeña la Física en la Educación Secundaria, y cómo se instrumentará en el futuro, tanto en la reforma del Ciclo Básico actualmente en curso como en la proyectada para Segundo Ciclo?
- ¿Qué rol desempeñará el Profesor Ayudante Preparador y cómo se instrumentará su tarea a partir del 2001?
- Plantear la opinión unánime de la Asamblea de luchar desde la APFU por

un redimensionamiento de la Educación en el país, apuntando a la formación (y no capacitación) de individuos transformadores, contrariamente a la tendencia de promover individuos que solamente se adapten al mundo que les toca vivir. Para esto se deben cambiar las condiciones de trabajo (menos horas de trabajo mejor remuneradas, menos alumnos por grupo, horas de coordinación entre todos los docentes en todos los ciclos).

(La entrevista fue grabada y está a disposición de los asociados.)

CURSO ORGANIZADO POR APFU

Se está llevando a cabo en el liceo IAVA el curso que consta de dos módulos de doce horas sobre:

- Relatividad y teoría electromagnética
- Cuántica

A cargo del **Prof. Mario Guerra**, habiéndose inscripto 40 socios (resaltamos la participación en el mismo de colegas del interior del país).

V SIMPOSIO DE INVESTIGADORES EN EDUCACIÓN EN FÍSICA

El Simposio de Investigadores en Educación en Física es un evento bianual de la Asociación de Profesores de Física de Argentina (APFA), que tiene por objetivos brindar un ámbito de comunicación, debate y reflexión para la comunidad de los investigadores en Educación en Física,

así como elaborar recomendaciones sobre temas de interés en el ámbito de la Investigación en Educación en Ciencias.

El V SIEF realizado en Santa Fe, Argentina, entre el 18 y el 20 de octubre del año 2000, contó con el apoyo del FONCYT y con la participación de más de 1000 investigadores en el área. Las actividades desarrolladas contaron la presencia de especialistas y de docentes e investigadores; se dictaron 5 conferencias y se realizaron: un panel, una mesa redonda, reuniones de grupos, exposiciones de proyectos noveles y tesis de posgrado y exhibición de software educativo.

Destacamos por novedosa la conferencia **"PHYSICS EDUCATION ACCORDING THE KARLSRUHE PHYSICS COURSE (KPC) IN GERMAN SECONDARY SCHOOLS - RESULTS OF AN EVALUATION STUDY -"** dictada por: E. Starauschek

(Departement for Didactics of Physics,
University of Karlsruhe

D-76128 Karlsruhe, Germany,
Erich.Starauschek@physik.uni-karlsruhe.de)

Transcribimos un resumen de la misma:

Desde hace diez años se les da a cerca de 2000 alumnos alemanes, entre 14 y 17 años, clases de física según el "Curso de físicas de Karlsruhe". En el "Curso de físicas de Karlsruhe" se intenta mejorar la enseñanza de física, presentando el contenido con un lenguaje nuevo. El plan de estudios ha sido reestructurado. Algunas magnitudes físicas, que anteriormente no se utilizaban en la escuela, se les ha dado una interpretación nueva. Sin embargo, también se ha optado por utilizar magnitudes

nuevas. No obstante, el método de enseñanza y su contexto siguen su desarrollo tradicional.

Hay una característica de este curso, la cual no es tan obvia en un primer plano. Esta podría resultar importante para el aprendizaje y la correcta comprensión para el alumno. El curso ofrece una estructura redundante y un lenguaje también redundante.

Alguno resultados importantes serán expuestos e interpretados.

A modo experimental, en la Universidad de Santa Fé se está aplicando el KPC. Nos mantendremos en contacto con ellos para conocer su evolución y resultados.

En la Asociación está a disposición de los socios el CD del V SIEF.

¡ CHAU 2000 !

Queremos despedirnos este año sabiendo que aún nos queda mucho por hacer y aprender. El trabajo desarrollado en esta etapa hubiera sido imposible de lograr sin la valiosísima participación constante de numerosos compañeros. Como es nuestro estilo seguimos abiertos a las nuevas propuestas, y los invitamos a integrarse al trabajo de la APFU.

El viernes 8 de diciembre despedimos el año con una gran fiesta, jerarquizada este año por la celebración del X ANIVERSARIO DE LA APFU. Agradecemos la presencia de las Comisiones Directivas de estos 10 años y la amplia participación de socios y amigos.

COMISIÓN DIRECTIVA

FÍSICA DEL HUMOR

El ejército acaba de enviar un cohete a la luna. El coronel programó dos preguntas para el computador: (1) ¿Va a llegar el cohete a la luna? y (2) ¿Va a volver a la tierra?

El ordenador pensó un momento y salió una tarjeta que decía

- Sí.

El coronel, furioso porque no sabía si el sí contestaba a la primera pregunta o a la segunda o a las dos juntas, programó un sí, ¿qué?.

Tras pensarlo un momento salió otra tarjeta que decía:

- Sí, mi coronel

• • •

Un Ingeniero piensa que sus ecuaciones se aproximan a la realidad.

Un Físico piensa que la realidad se aproxima a sus ecuaciones.

Un Matemático realiza ecuaciones en la proximidad de su pensamiento.

Un Político realmente no está próximo a pensar.

• • •

Según afamados científicos extranjeros, se ha descubierto una nueva escala para medir la inteligencia humana. La nueva unidad de medida es el *TAR*. Así es, el *TAR* es una medida nueva e infalible para medir el coeficiente intelectual de los seres humanos, por ejemplo Albert Einstein debió tener un *MegaTAR*, por lo tanto se deuce que existe la inteligencia *MegaTAR*, la inteligencia *DecaTAR*, la inteligencia *TAR* y la inteligencia *miliTAR*.

• • •

Durante un examen oral de Física, un estudiante hace unos cálculos en el pizarrón y concluye embarazosamente que " $F = -m \cdot a$ ". Sonrojado, le dice al profesor:

- Bueno, obviamente he cometido algún error ...

- No señor, usted ha cometido un número IMPAR de errores.

• • •

Se abre el telón y se ven tres vectores linealmente independientes. ¿Cómo se llama la película? *Rango 3*.

• • •

Jesús a sus discípulos:

- En verdad os digo, $y=x^2$

Los discípulos comentan entre sí, y dice Pedro: - Maestro, no entendemos ...

- ¡Es una Parábola torpe!

• • •

¡ESA PREGUNTITA!!!

• ¿Por qué cuando manejas buscando una dirección bajas el volumen de la radio? ¿Acaso vas a ver mejor?

• Si una palabra estuviese mal escrita en el diccionario, ¿cómo lo sabríamos?

• ¿Por qué cuando llueve levantamos los hombros? ¿Acaso nos mojamos menos?

• Si cárcel y prisión son sinónimos, ¿por qué no lo son carcelero y prisionero?

• ¿Por qué no hacen los aviones con el mismo material que usan para hacer la caja negra? Si estamos compuestos en un 80% de agua, ¿cómo podemos no ahogarnos?

• • •

"VERDADES" HECHAS

• Si los hechos no se ajustan a la teoría, deben ser desechados.

• Cualquier cable cortado a la medida quedará demasiado corto.

• La lógica es la forma correcta de llegar a la respuesta equivocada pero sintiéndote contento contigo mismo.

• Si no eres parte de la solución, eres parte del precipitado.

• Ley de Cahn: cuando todo lo demás falle, lee las instrucciones.

• Ley de Flugg: cuando se necesita tocar madera es cuando nos damos cuenta de que el mundo está compuesto de aluminio y vinilo.

• Nunca permitas que un objeto mecánico sepa que estás apurado.

• Ningún camino fácil lleva a algún sitio interesante.

• Si tiene solución, ¿por qué te preocupas?; si no tiene solución, ¿por qué te preocupas?

• En una discusión lo difícil no es defender nuestra opinión; es conocerla.

El hombre es el más inteligente de los animales ... Según dice él.

• Una mujer bonita no siempre es inteligente, una mujer inteligente siempre es bonita.

PREPARANDO SEÑALES DE SONIDO PARA ACTIVAR LA INTERFACE CASSY

(SEGUNDA PARTE)

Edgar W. Gómez y Marlel Mayero

Profesores y Ayudantes Preparadores de Física

Liceo N°1 "Carlos Brignoni Mosquera", Trinidad, Flores-Uruguay

Convertidor de señal analógica en Lógica

Como ya se dijo en la revista 1 del volumen 4 con el título «**REGISTRANDO CANTIDADES DE MAGNITUD CON ORDENADOR**», potenciar la interface Cassy es ampliar su rango de trabajo sobre la base de agregado de sensores adecuados que adapten un fenómeno para que el ordenador pueda interpretarlos, obteniendo un Laboratorio de Ciencia en Potencia...

El objetivo perseguido a partir de esta segunda entrega es aprovechar la onda sonora como señal para que la interface sea activada y a partir de ahí realizar una serie de experimentos interesantes como son procesamiento de señales de sonido, movimiento armónico, medidas de tiempo, medidas de frecuencia etc....

Lo cierto es que si convertimos la onda sonora en señal eléctrica usando un micrófono, sigue una forma puramente analógica con altibajos que no lleva un orden ya que dependen de la intensidad sonora y de la frecuencia.

Trataremos el integrado CD 4093B, como una caja negra. El integrado es un disparador de Schmitt o Trigger.

Se arma el circuito presentado en la figura 1, alimentando con 9,0 voltios de corriente continua pura, los que pueden provenir de una batería.

La resistencia de 220 kW es un preset que se utilizará para variar el voltaje (señal de entrada), por el pin número 2.

Es de tener en cuenta que la señal que ingresará al pin 2 será **siempre positiva**.

El estudio se realizará usando el programa Cassy en la opción Osciloscopio en sus entradas B y C, en la escala de 10V, para poder estudiar el comportamiento del integrado frente a la presencia de señal de entrada. El canal B registrará el voltaje presente en el pin N° 2 y el canal C nos mostrará la señal de salida en el pin N°3

El funcionamiento es fácil de entender si consideramos que, es un dispositivo al que le va a aplicar una determinada diferencia de potencial (9,0 voltios), entre dos de sus PINES (7 y 14). Aplicaremos entonces una

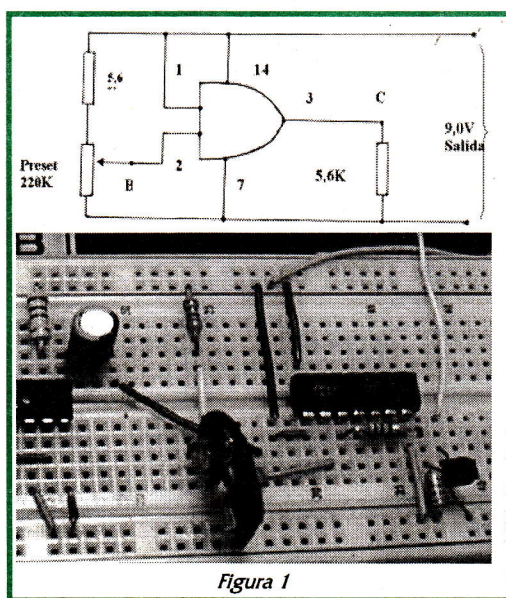


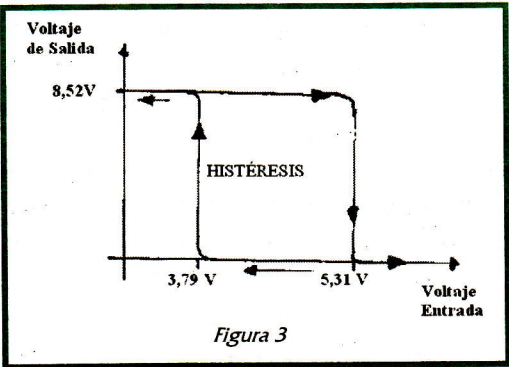
Figura 1

señal de entrada variable, cuyo valor máximo supera un determinado umbral y podemos o no encontrar variaciones en una señal de salida.

Para obtener a la entrada una señal variable que es proporcional con el tiempo, se variará el potenciómetro obteniendo voltajes en aumento; encontraremos en la salida una señal con una tensión constante.

Al ir aumentando el voltaje de entrada nos encontraremos con una particularidad que es la siguiente: al llegar a un umbral de tensión (por ej. 5,31 voltios) a la entrada, tendremos que la tensión de salida baja bruscamente al mínimo permaneciendo en ese valor.

Si ahora comenzamos a disminuir la tensión de entrada por debajo de los 5,31 voltios, al llegar a 3,79 voltios la señal de salida aumenta bruscamente (ver figura 2).



La señal con valor 5,31 voltios es la de bloqueo o corte y por debajo de los 3,79 voltios tendremos un arranque.

La diferencia entre el voltaje de la señal de arranque y la de bloqueo la llamamos histéresis (en nuestro caso $5,31V - 3,79 V = 1,52 V$).

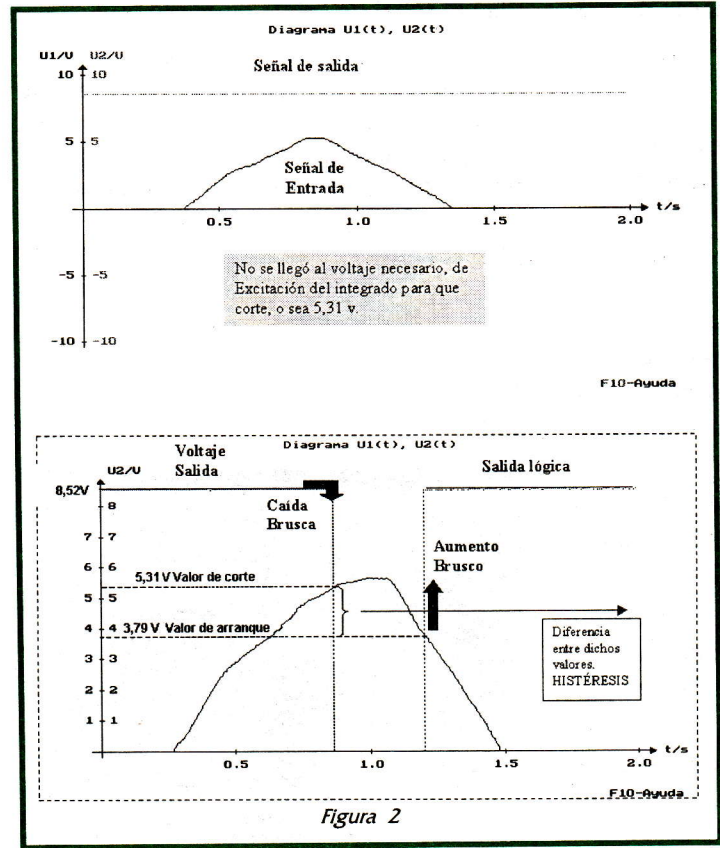
El gráfico de la figura 3 representa el ciclo de histéresis obtenido en nuestro estudio. Es de hacer notar que los valores de

tensión indicados son experimentales y dependerán del voltaje aplicado al integrado y solo sirven para explicar el principio de funcionamiento.

Este experimento puede ser realizado con el fin de estudiar el comportamiento de este integrado y los valores obtenidos serán similares a los nuestros si se aplica un voltaje de alimentación de 9,0 voltios proveniente de una batería.

Observando los esquemas gráficos (ver figura 4) nos damos cuenta que si la señal de entrada es variable igual tendrá a la salida una señal tipo lógico ya que va a tener forma cuadrangular.

En otras palabras, el dispositivo nos servirá para convertir la señal analógica en lógico.



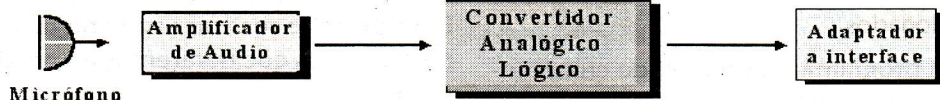


Figura 4. El esquema en bloques, representa el dispositivo que pretendemos armar

Lo que se pretende lograr es conseguir a partir de una señal variable en la entrada, una señal lógica a la salida. Es de destacar que la señal que llegará al integrado va a ser siempre positiva ya que la señal variable se hará llegar a través de un condensador.

Se preparará el integrado de tal manera que el pin nº 2 tenga presente una tensión media entre la de bloqueo y la de arranque y se hará llegar una señal variable que se «montará» sobre esa tensión de referencia de aproximadamente 4,6 V (ver gráfico), de tal manera que al sumarse supere el umbral de bloqueo y al disminuir pase el umbral de arranque.

Es de destacar que esta señal puede ser proveniente de un micrófono que deberá ser previamente amplificada para lograr un voltaje de pico a pico de aproximadamente 2,0 voltios.

ADAPTADOR A INTERFACE

Tomando en cuenta que un transistor puede trabajar como interruptor abierto o cerrado según el voltaje presente entre base y emisor (Ver pág.47 Volumen 6 N° 1 Rev.Educación en Física), y aprovechando que entre los conectores E y tierra o F y tierra de la interface Cassy, hay presentes 5,0 voltios y que si se cortocircuitan dichos terminales aparecerá un pulso entrante a la interface, la que lo interpretará como órdenes de activar o desactivar el cronómetro de tiempos parciales, contar pulsos

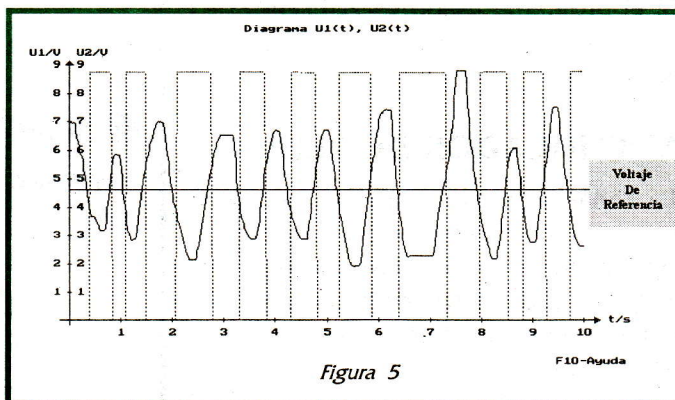


Figura 5

o medir frecuencias, activar el relé, etc.; lo utilizaremos como adaptador entre el convertidor y la interface.

El circuito es simple porque basta con colocar un transistor entre E o F y tierra y atacarlo con la señal pulsante obtenida en el convertidor, para que de esta manera se active la interface. Ver figura 6.

En el circuito práctico empleamos un transistor BC337 (NPN).

Cuando no se reciben pulsos en la base del transistor este se presenta como abierto (entre E o F y tierra hay 5,0 V), ya que la resistencia de 2,2 KW pone a potencial de tierra la base.

Cuando aparece un pulso, la cadena de resistencias R1 y R2 hará aparecer una d.d.p.

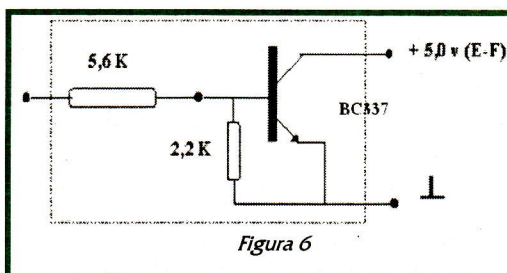


Figura 6

entre emisor y base, haciendo que el transistor conduzca cortocircuitando los bornes mencionados.

Si el programa usado es el de cronómetro tenemos arranques y detenciones según como esté programado el sub-menú «tiempo/impulso» en su opción «impulsos arranque/parada».

Si el programa usado es PULSÓMETRO podemos hacer mediciones de ratas o de frecuencias.

AMPLIFICADOR DE AUDIO.

La señal de sonido va a ser recogida con un micrófono electroto y pasada a un amplificador integrado LM 386 que viene en una cápsula DIP de 8 pines y puede operar con tensiones desde 5 voltios a 18 voltios.

Se optó por este integrado por ser muy común en plaza y de bajo costo.

Con pocos elementos discretos podemos llevar la señal del micrófono a valores suficientes como para atacar al convertidor. Cuando se habla de atacar el convertidor se hace referencia a que la señal que llegará será alterna y deberá ser montada sobre el voltaje de referencia logrado para activar o desactivar el 4093. (4,6 V)

Este voltaje es de un valor medio entre el de bloqueo (5,31V) y el de arranque (3,79V).

La resistencia variable R1, que puede ser un preset o un potenciómetro, fija el nivel de señal de entrada y la combinación R2C2 determina la ganancia de voltaje.

La ganancia puede ser variada desde 20 hasta 200, sustituyendo R2 por un potenciómetro de 200 KW

El amplificador debería dar voltajes que alcancen 2,0 V de pico a pico para superar los dos límites y así asegurar, la conversión.

Uniando los tres bloques de circuitos que hemos analizado se consigue un con-

junto convertidor de señales analógicas en lógicas, las que al atacar las entradas E o F permite realizar una serie de experimentos, los que trataremos en próximas entregas.

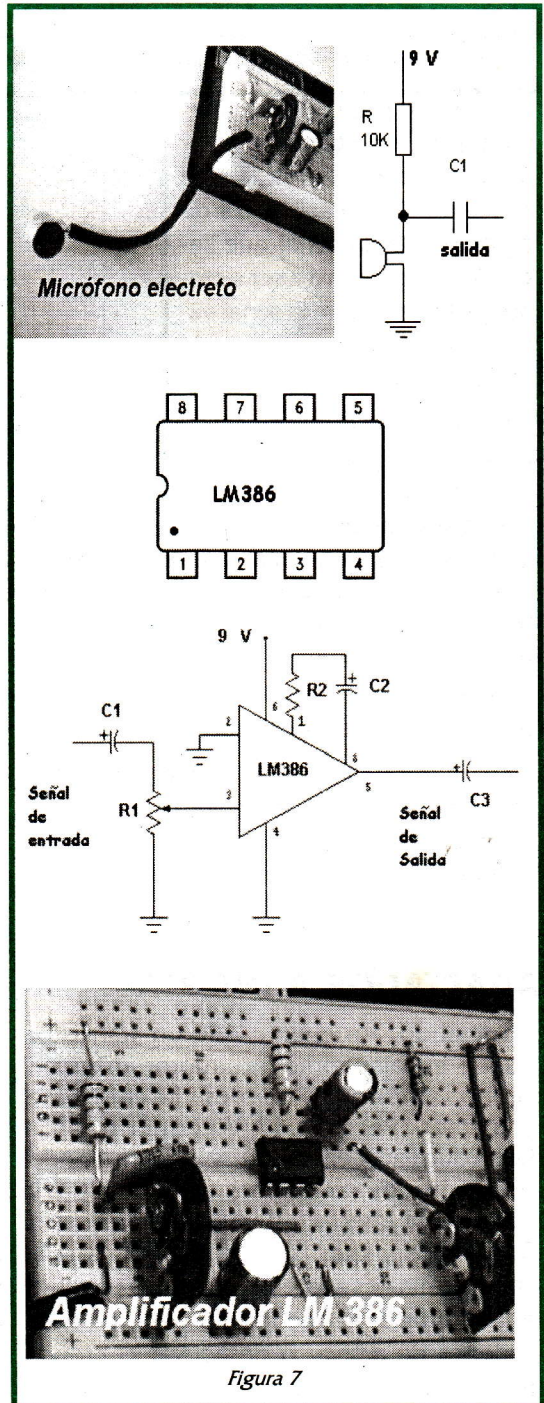


Figura 7

complejos, elaborados y explícitos". Esta caracterización del aprendizaje da una posible explicación a las observaciones realizadas durante nuestra práctica docente en referencia a cómo aprenden los alumnos, y será usada como sustento teórico de la propuesta de intervención didáctica que desarrollaremos a continuación.

LA ENSEÑANZA DE LA DINÁMICA DE LA PARTÍCULA

El estudio de la Dinámica de la partícula es fundamental y en general todos los cursos de Física Básica comienzan con la descripción de movimientos (uno o más Capítulos de Cinemática) como paso previo al desarrollo de la Dinámica.

No es necesario aquí abundar sobre los numerosos estudios referidos a las concepciones alternativas que tienen los alumnos sobre los conceptos de fuerza y movimiento y sus relaciones (ver por ej. Driver, Guesne y Tiberghien, 1992, Hierrezuelo y Montero, 1988), y en nuestro medio hemos replicado, incluso, algunas investigaciones referidas a las concepciones no newtonianas de estudiantes y docentes (Ragout, Cárdenas y Katz, 1988).

En la actualidad, no nos parece conveniente ni aconsejable comenzar el desarrollo de la dinámica con pruebas para detectar la existencia de concepciones alternativas y provocar "conflictos cognitivos" porque, además de resultar muy frustrante para los alumnos, en general todos los docentes comprometidos con su rol de educadores y actualizados en temas de didáctica de las Ciencias, ya conocen estos resultados de la investigación educativa profusamente difundidos.

Comenzar con el tratamiento de la dinámica de la partícula, es plantear justamente a qué llamamos partícula, explicitar que el desarrollo de la Ciencia se hace con mo-

delos y que durante el curso vamos a perfeccionar (o reestructurar) un "mapa" de la realidad (Claxton, 1995, pp35). En lo que respecta a la secuencia de elaboración de los contenidos, discrepamos con la habitual presentación de la Cinemática como un capítulo previo y separado de la Dinámica, por considerar que el estudio de la Cinemática integrado al de la Dinámica, favorece el aprendizaje y la correcta conceptualización de ambos temas (Cárdenas y Ragout de Lozano, 1991). Por otra parte, y como bien lo hace notar Bunge (1983, pp 39), la Cinemática es deducible de la Dinámica, pero no a la inversa, lo que constituye un importante aspecto epistemológico y metodológico: mostrar la imposibilidad de deducir, a partir de la mera observación y conocimiento del movimiento y sin recurrir a una teoría, las fuerzas, interacciones, etc, presentes en un sistema mecánico.

Para comenzar el aprendizaje de contenidos sobre la Dinámica de la partícula, se presupone que los alumnos ya deben tener claros y bien discriminados los conceptos de posición, desplazamiento, velocidad media, velocidad instantánea y aceleración. Dentro de las dificultades que presenta este aprendizaje, es sabida la indiferenciación entre los conceptos de posición, velocidad y aceleración. Es importante entonces, como paso previo a la introducción de las definiciones operacionales de los mismos, y de sus relaciones funcionales, proponer actividades que faciliten la dilucidación y discriminación de estos conceptos.

La observación, comparación y el análisis cualitativo de movimientos reales, permiten la comprensión de los atributos esenciales de los citados conceptos, lo que habilita para la introducción de sus definiciones operacionales. De otra manera, el formalismo matemático es un escollo difícil de superar para los estudiantes, pues no comprenden ni el simbolismo ni su manejo, que requieren un grado de abstracción al que en general no pueden acceder, dado que

muchos alumnos adolescentes no manifiestan "actuación" en el estadio del pensamiento formal, como ha sido comprobado en numerosas investigaciones (Ragout de Lozano y Cárdenas, 1987).

Después de haber logrado la conceptualización de las magnitudes cinemáticas, el profesor procederá a hacer una introducción de los antecedentes históricos que culminaron con la enunciación de los tres axiomas de Newton. La actividad de enseñanza y aprendizaje, o sea la ayuda pedagógica, se basará en la exposición y en el intercambio verbal entre el profesor y los estudiantes, lo que se ajusta perfectamente a las exigencias del proceso de construcción del conocimiento que llevan a cabo los alumnos (Coll, C., 1990, pp 11)

Los objetivos que se persiguen con la actividad anterior son múltiples:

- a) Poner en evidencia que la Ciencia es una construcción colectiva y cultural, influida por el contexto social
- b) Mostrar al alumno cómo las teorías newtonianas, si bien explicaban algunos aspectos de ciertos fenómenos físicos, no resistieron la prueba experimental
- c) Mostrar cómo hacer Ciencia es hacer un discurso sobre lo posible y no sobre lo real a partir, por ejemplo, de la lectura de fragmentos de obras originales de Galileo. (Nos referimos en particular al conocido fragmento del *Diálogo sobre los grandes sistemas del mundo*, donde mediante experiencias ideales se logra que el lector arribe a la conclusión enunciada en la ley de inercia. Por otra parte, este mismo procedimiento, aunque en el terreno de lo concreto, y mediante un "pasaje al límite", es el que usan Inhelder y Piaget (1972) en su conocida obra "De la lógica del niño a la lógica del adolescente"
- d) Reiterar la importancia de la construcción del modelo (en este caso la partícula), como objeto de estudio

- e) Que el alumno tome conciencia de que la Física y sus leyes describen el comportamiento de modelos que se aproximan en menor o mayor medida a "objetos reales" (sean éstos lo que fueren) de acuerdo al problema particular que se trata de resolver.
- f) La explicitación de este último objetivo es sólo una reiteración, ya que desde el comienzo de un curso de Física, ésta es y debe ser una meta permanente.

La secuencia se continuará con la enunciación, hecha por el profesor, de las tres leyes de Newton, presentadas como un "paquete", a partir del cual, y por sucesivas aproximaciones, se construirán los conceptos de sistema de referencia inercial, masa y fuerza, ésta última como una consecuencia y medida de la interacción entre dos cuerpos.

CONTENIDOS CONCEPTUALES DE LA DINÁMICA

A partir de este punto, se debe iniciar una secuencia de actividades dirigidas a lograr sucesivos cambios cualitativos, que permitan construir el concepto de fuerza propio de la mecánica clásica a partir de la idea sensorial de esfuerzo físico, que es la que usualmente ha dado lugar a generalizaciones erróneas y a la atribución de características, que hacen que el concepto de fuerza no se discrimine del de energía o del de cantidad de movimiento

Está suficientemente detallado en la bibliografía (por ej. Hierrezuelo y Montero, 1988; Driver y col, 1992) cuáles son las notas esenciales que los alumnos atribuyen al concepto de fuerza.

La tarea del docente es la de lograr una revisión crítica de las creencias, a través de ejemplos y contraejemplos que las pongan a prueba. El profesor deberá mencionar y

Hay textos que en el capítulo de Cinemática prescriben extensos listados de "fórmulas" para resolver problemas de caída libre, tiro vertical, tiro oblicuo, etc., lo cual incita al alumno a una búsqueda no razonada de la posible solución, sin lograr dar significado a todas estas ecuaciones para él puramente formales y carentes de contenido físico. En definitiva, indican *procedimientos* que no son útiles sin una *conceptualización previa*.

Nos resulta difícil y sobre todo poco útil transcribir una secuencia o "libreto" de actividades rígidamente establecidas, por cuanto pensamos que para que los alumnos se hagan preguntas (reflexión sobre sus representaciones), debemos partir de las preguntas que *nos* hacen. En este sentido, nos parece una condición *sine qua non*, que en el aula se establezca un clima emocional de mutua confianza y libertad para que todos se atrevan a exteriorizar, en forma espontánea, sus creencias y sus dudas, y a defender sus ideas. Por ello el profesor debe disponer de una gran variedad de ejemplos, un profundo conocimiento del tema, más una considerable dosis de honestidad para hacer frente a situaciones imprevistas. Se trata, obviamente, de la transmisión de actitudes (contenidos actitudinales) a través de la *vivencia* de valores relacionados con el espíritu crítico, la creatividad, el respeto por la opinión de los demás, la honestidad para reconocer las propias limitaciones, el valor del trabajo en equipo, de la cooperación necesaria para llegar a un mismo fin (acceder a un contenido de índole conceptual o procedimental). La generación de este clima de trabajo no puede dejarse librada a las circunstancias, sino que debe ser buscada y planificada por el docente, como una meta actitudinal, cuyo logro seguramente requerirá un esfuerzo consciente al comenzar un curso hasta que se transforme, gradualmente, en un valor comparado en el aula.

Una vez logrado un nivel mínimo de conceptualización de las tres leyes de Newton, es necesario proveer al alumno de *estrategias*

que les faciliten la aplicación de los contenidos conceptuales para resolver situaciones problemáticas concretas de la Dinámica de la partícula.

UN CONTENIDO PROCEDIMENTAL DE LA DINÁMICA

Nos abocaremos ahora a aspectos de la enseñanza de un contenido procedimental íntimamente relacionado a los conceptuales de esta unidad temática, cual es el trazado del "diagrama de cuerpo libre", al que generalmente no se le da el énfasis necesario durante la instrucción.

Opinamos que lograr competencia en el uso de este contenido procedimental es fundamental, no sólo como *parte* de una estrategia para encarar con éxito la resolución de problemas de dinámica de la partícula, sino porque su empleo habitual favorece el afianzamiento de los contenidos conceptuales vinculados.

La correcta aplicación de esta técnica por parte de los alumnos se constituye también en un valioso indicador del logro de aprendizaje significativo de contenidos conceptuales, útil en la evaluación de los aprendizajes.

Etapas en la enseñanza de la ejecución de un diagrama de cuerpo libre

Consideramos que aprender a realizar un diagrama de cuerpo libre incluye también aprender a *traducir* la información literal que se obtiene de la lectura del enunciado de un ejercicio o problema, primero a lenguaje gráfico y luego, a partir de una correcta interpretación de éste, al diagrama de cuerpo libre como paso previo al empleo del lenguaje matemático indispensable para la resolución posterior. Por tanto, es fundamental indicar una secuencia ordenada y

precisa de los pasos a seguir para adquirir el recurso procedimental buscado.

Como primer paso, corresponde explicar que, para realizar un diagrama de cuerpo libre, se debe aislar mentalmente el cuerpo (partícula) cuyo movimiento se desea estudiar y analizar *con qué otros cuerpos interactúa* (o sea, buscar qué otros cuerpos ejercen fuerzas sobre él).

Como dice Feynman (1987, 9-5) sobre las leyes de Newton, “*pongan atención a las fuerzas. Si un objeto está acelerado, algún agente está trabajando: encuéntralo*”

Para poder realizar esta tarea, el alumno debe tener muy claro lo siguiente:

- a) el concepto de *sistema físico*
- b) el concepto de partícula
- c) que toda fuerza es la medida de una interacción
- d) el tercer axioma de Newton
- e) que cada fuerza se *representa* por medio de un vector aplicado al cuerpo

Destacamos que en la lista precedente, los cuatro primeros ítems corresponden a contenidos del dominio conceptual, y que son indispensables para la construcción del contenido procedimental cuya enseñanza estamos tratando.

Durante la clase, el docente procederá a construir, a modo de ejemplos, diagramas de cuerpo libre correspondientes a diferentes situaciones dinámicas.

La etapa siguiente es elegir un sistema de ejes coordenados conveniente para describir el estado de la partícula, ya sea de reposo o de movimiento. La elección del sistema de coordenadas no es una tarea que resulte sencilla a los alumnos, pues depende de los datos y del problema concreto a resolver: se debe insistir sobre el criterio de economía como *un valor* importante en la tarea de resolución de problemas. Naturalmente, sabemos que si buscamos fuerzas y aceleraciones, el resultado del pro-

blema no depende del sistema de referencia inercial elegido, pero el grado de dificultad en la formalización y resolución matemática que se derivan de dicha elección, sí depende de éste. Por lo tanto, el docente debe insistir sobre este criterio de ahorro de consumo cognitivo, mostrando que la elección más conveniente es generalmente aquella en la cual uno de los ejes coordenados coincide con la dirección de la aceleración que experimenta la partícula en su movimiento bajo la acción de las fuerzas presentes. Una vez elegido el sistema de coordenadas, el profesor mostrará la conveniencia y la forma de descomponer las fuerzas en la dirección de los ejes coordenados elegidos. En este momento, se está en condiciones de “traducir” el diagrama de cuerpo libre (o representación geométrica efectuada), a las expresiones analíticas propias del formalismo newtoniano.

La ecuación vectorial simbólica $\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a}$ representa las tres ecuaciones homólogas entre las componentes de los vectores que intervienen y se debe mostrar que una igualdad vectorial es sólo una forma abreviada de representar las tres igualdades correspondientes a las componentes.

En los cursos de Física Básica se trabaja generalmente en dos dimensiones por lo que la segunda ley de Newton se desdoblará en las ecuaciones

$$\sum F_x = ma_x \quad \text{y} \quad \sum F_y = ma_y$$

Si el diagrama de cuerpo libre es correctamente construido y su “traducción” a expresiones algebraicas se realiza coherentemente, el problema, desde el punto de vista de la Dinámica, está resuelto, ya que el procedimiento que resta efectuar es puramente matemático.

Sin embargo, aquí conviene hacer una importante advertencia: si lo que se desea es *describir el movimiento* de la partícula,

el docente debe insistir en la importancia de las condiciones iniciales de un sistema físico: *no es suficiente* conocer la fuerza resultante sobre una partícula para predecir cómo se moverá, como hemos leído en algún texto universitario. Elegido un sistema de coordenadas, la trayectoria depende tanto de la fuerza resultante (o de la aceleración resultante, si estamos interesados en los aspectos cinemáticos), como de la posición inicial y del vector velocidad inicial, como ya quedó expresado en las ecuaciones (1), que incluyen los valores iniciales aquí señalados.

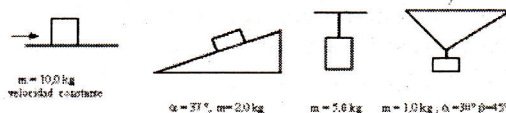
Se destaca, además, que las dos “traducciones” aludidas anteriormente presentan serias dificultades si los contenidos conceptuales previos no están claros. Pero, de igual manera, el entrenamiento en el uso de estos procedimientos redundará en el afianzamiento de los contenidos conceptuales. Esto nos indica, desde el punto de vista de la didáctica, la conveniencia de insistir en la ejercitación en esta técnica, pues se transforma en un proceso de ida y vuelta entre lo conceptual y lo procedimental que se realimentan mutuamente.

El docente, sin embargo, debe cuidar que la aplicación del procedimiento no se haga en forma acrítica, recomendando y controlando que, antes de proceder algebraicamente, el alumno haga un análisis cualitativo que le permita controlar si las predicciones que pueden hacerse a partir del diagrama son compatibles con el comportamiento del sistema físico estudiado. Por otra parte, deseamos destacar que la evaluación sistemática de los resultados cuantitativos, es una actitud cuyo desarrollo el docente debe tener en cuenta al planificar su tarea, particularmente en esta época en la que los estudiantes recurren, cada vez más, a la calculadora como herramienta “infalible”, que parecería liberarlos de la obligación de examinar críticamente los resultados numéricos obtenidos al resolver un problema.

Presentamos a continuación ejemplos de las tareas de aprendizaje relacionados con la utilización del diagrama de cuerpo libre como procedimiento necesario en la resolución de problemas de dinámica. Como se verá, los primeros ejercicios son sencillos desde el punto de vista conceptual, a fin de que la atención de los alumnos se centre en el aprendizaje y ejercitación de la técnica que hemos expuesto. Los enunciados de los ejercicios incluyen, como tareas explícitas para realizar, la secuencia ordenada de pasos a seguir. A medida que se observa y se controla, a través de las preguntas y tareas que realizan los estudiantes, que éstos van logrando un cierto dominio del procedimiento, los enunciados de los ejercicios y problemas son cada vez menos guiado hasta llegar al planteo de situaciones más abiertas y complejas, cuya resolución requiere tanto el dominio conceptual deseado como la utilización correcta de las estrategias ya desarrolladas.

EJEMPLO 1

Ejercicio tipo para el aprendizaje del procedimiento: “En cada una de las situaciones presentadas, indique :



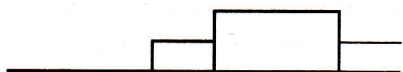
- ¿Se puede considerar al cuerpo de masa m como una partícula? Explique
- ¿Con qué cuerpo o cuerpos está interactuando?
- Identifique las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y los pares de acción-reacción correspondientes
- Represente mediante vectores las fuerzas que actúan sobre el mismo (diagrama de cuerpo libre)
- Elija un sistema de ejes coordenados que le parezca apropiado para estudiar el movimiento del cuerpo

- f) Determine cuánto vale cada una de las fuerzas que actúan sobre el cuerpo

Ejemplo 2

Problema para relacionar contenidos conceptuales y procedimentales

“Un hombre empuja dos cajas que están en contacto sobre una superficie horizontal lisa. Las cajas deslizan en contacto entre sí, con una aceleración de $0,5\text{m/s}^2$ ”

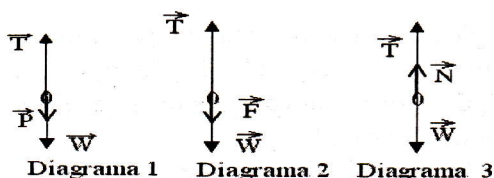


- ¿Qué fuerza horizontal aplica el hombre?
- ¿Cuánto vale la fuerza de contacto entre las cajas?
- Su respuesta a b) ¿sería la misma si la caja grande estuviera delante de la chica y el hombre aplicara la fuerza sobre ésta? Masa del cuerpo chico = $2,0\text{ kg}$. Masa del cuerpo grande $4,0\text{ kg}$.

Ejemplo 3

Tarea de evaluación del procedimiento

“Un montacargas M con un pasajero P asciende acelerando a razón de $0,2\text{ m/s}^2$. El montacargas pesa 9000 N y el pasajero 800 N . Se muestran los diagramas de cuerpo libre correspondientes al montacargas M, que fueron realizados por tres estudiantes. Elija el diagrama correcto y justifique su respuesta.



- T = tensión del cable
 W = peso del montacargas
 P = peso del pasajero
 N = fuerza que ejerce el montacargas sobre el pasajero
 F = fuerza que ejerce el pasajero sobre el montacargas

COMENTARIOS ACERCA DE UNA TAREA DE EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE DE CONTENIDOS DE DINÁMICA

Con el objeto de evaluar el aprendizaje de contenidos de la Dinámica (conceptuales, procedimentales y valorativos), se analizaron las respuestas que dieron en exámenes parciales 253 alumnos universitarios que cursaban su primera signatura de Física Básica, al problema que se transcribe a continuación:

Ejemplo 4

Tarea de evaluación del aprendizaje de la dinámica: “Un bloque sube con velocidad constante de $2,0\text{ m/s}$ por un plano inclinado liso, arrastrado por una fuerza F constante paralela al plano.”

- Hacer un diagrama de cuerpo libre correspondiente al bloque
- Si se desea determinar la masa del bloque, sabiendo que $\alpha = 37^\circ$ y $F=4,0\text{ N}$ ¿cuál de las leyes de Newton aplicaría?, ¿por qué?
- ¿Cuánto vale la fuerza que el plano ejerce sobre el plano?
- Si deja de actuar la fuerza F , ¿qué tipo de movimiento tiene el cuerpo? ¿Por qué?. Describalo cualitativamente
- Desde que se quita la fuerza F ¿qué desplazamiento tiene el bloque hasta que se detiene?

La mayoría de los alumnos realizó correctamente el diagrama de cuerpo libre y escribió correctamente las ecuaciones de movimiento.

La dificultad más grave fue el apartado d), ya que la descripción cualitativa del movimiento del bloque fue realizada en forma correcta y completa por sólo el 20% de los estudiantes. Nos parece conveniente detallar los errores más frecuentes y que consideramos más significativos, ya que el análisis de los mismos puede ser útil para orientar al profesor durante la etapa de instrucción:

- 1) Dificultad en la descomposición de vectores en dos direcciones perpendiculares, por confusión en el uso de las funciones trigonométricas.
- 2) No saber operar algebraicamente
- 3) No realizar el análisis dimensional del resultado final, como una forma de control
- 4) Realización incorrecta del diagrama de fuerzas
- 5) En la descripción cualitativa solicitada en d), no tener en cuenta la existencia de una velocidad inicial, y en consecuencia, considerar la situación como un simple descenso de un cuerpo por un plano inclinado liso.
- 6) A pesar de responder mal en d), determinar correctamente el valor del desplazamiento solicitado en e), contradiciendo así la respuesta dada en el apartado anterior.

Los errores del tipo 1) y 2) obedecen, a nuestro criterio, a las graves falencias de los estudiantes en el dominio de los contenidos elementales de matemática que deberían haber adquirido en el nivel medio. Estas falencias fueron muy notorias por cuanto los alumnos mencionados en el presente estudio no realizaron Cursos de Nivelación o Ingreso.

Como ya dijimos anteriormente, los errores del tipo 3) obedecen a que los alumnos no han desarrollado aún una actitud crítica ante los resultados obtenidos en la resolución de problemas de Física. Consideramos que es tarea permanente del docente insistir en la enseñanza de esta actitud, destacando permanentemente su importancia en cualquier ámbito. Los errores del tipo 4), evidencian que esos alumnos no dominan todavía el contenido procedimental, quizás debido al escaso tiempo que llevan estudiando contenidos de Dinámica, o por falta de estudio o porque no asisten a las clases teóricas que no son obligatorias y recurren a libros o apuntes para preparar sus exámenes. Los errores mencionados en los puntos 5) y 6) son, a nuestro criterio, los que merecen un análisis más profundo: la respuesta errónea más frecuente fue considerar que como la fuerza resultante es la componente del peso paralela al plano, el cuerpo simplemente "caerá por efectos de

la gravedad" (Respuesta puramente memorística al problema tipo de movimiento de un cuerpo en un plano inclinado que aparece en los textos)).

Debe destacarse que, en el apartado d), algunos estudiantes calcularon correctamente la aceleración $a = g \cdot \sin \alpha$ del bloque (tanto los que hicieron un nuevo DCL, y otros empleando directamente la segunda Ley de Newton). Sin embargo, la totalidad de los errores en las respuestas se debió a que los alumnos no tuvieron en cuenta la velocidad v_0 que tenía el bloque en el momento de quitarse la fuerza F y de aparecer la aceleración " $g \cdot \sin \alpha$ ".

Lo anterior indica que si bien la mayoría de los alumnos son capaces de realizar con éxito el DCL y de escribir las leyes de Newton correctamente, no han interiorizado la relevancia de las condiciones iniciales del problema, para poder describir el movimiento subsiguiente. El análisis anterior nos sugiere que, cuando se enseñan las leyes de Newton y la realización e interpretación del DCL, debe enfatizarse en forma sistemática, la importancia que tienen las condiciones iniciales en el movimiento subsiguiente. En las ecuaciones (1), éstas han sido debidamente explicitadas, pero parecería que los estudiantes no han logrado captar aún su relevancia.

Hemos realizado una revisión de los textos más usados en los cursos de Física Básica, y hemos comprobado que en su casi totalidad, incluyen el DCL en cada problema presentado como ejemplo. Sin embargo, casi ninguno de los textos, excepto el de Alonso y Finn, consideran en los capítulos correspondientes a la aplicación de las leyes de Newton, cuerpos con velocidad inicial distinta de cero. En estos textos (Resnick, Tipler, Bueche, Wilson, Cromer, Eisberg y Lerner, Giancoli, etc), en tales capítulos las incógnitas de los problemas y ejercicios son fuerzas y aceleraciones, y en el caso que se solicite el cálculo de alguna velocidad, corresponde a situaciones en las que el cuerpo partió del reposo.

Observamos que *no se integra* en estos textos la Cinemática ya vista en capítulos anteriores con los nuevos conocimientos de Dinámica. El excelente libro de Alonso y Finn sí incluye casos de cuerpos con velocidades iniciales $v_0 \neq 0$, pero no compartimos la *forma* de representación vectorial utilizada, puesto que en el *mismo* diagrama se incluyen fuerzas y velocidades “aplicadas” al cuerpo, prestándose a que los alumnos reafirmen sus habituales y conocidas confusiones entre fuerzas, velocidades y aceleraciones.

Numerosos estudiantes respondieron mal el apartado d), sosteniendo que el bloque deslizaría hacia abajo al quitarse la fuerza **F**, pero determinaron correctamente el valor del desplazamiento efectuado por el bloque hasta detenerse.. Este hecho puede atribuirse a que la palabra “detenerse” actuó como palabra clave que los indujo a aplicar la ecuación que vincula velocidades con desplazamientos ($v_f^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$), colocando $v_f = 0$, a pesar de haber afirmado en d) que el bloque descendería aumentando su velocidad .

Otra vez aparece aquí la falta de sentido crítico ya mencionada, más una falta de integración de las diferentes preguntas incluidas en un mismo problema: cada ítem parecería ser un problema en sí mismo, desvinculado de los demás, lo que refleja, lamentablemente, una larga tradición en no integrar los aprendizajes sucesivos, y evidencia, como afirma Claxton (1994, pp 38) que los alumnos conciben a las lecciones de Ciencia en el ámbito escolar, como sucesos aislados, autónomos, y con escasa relación entre sí.

Es entonces tarea del docente, y sobre todo en los cursos de Física Básica, revertir esta visión disgregada del conocimiento científico y tratar, a lo largo de todo el curso, de enfatizar las relaciones que existen entre los diferentes contenidos conceptuales.

En lo que respecta al DCL, consideramos que es un contenido procedimental muy va-

lioso, pero proponemos, sobre la base de lo expuesto anteriormente, que se destaquen y jerarquicen, junto al DCL, las condiciones iniciales del problema físico tratado.

Por último, insistimos también en la conveniencia de integrar la Cinemática con la Dinámica, particularmente en los ejercicios y problemas de aplicación, aunque su enseñanza se haya realizado en la forma secuencial adoptada en la mayoría de los textos.

BIBLIOGRAFÍA

- Bunge, M. 1983. Controversias en Física- Tecnos, Madrid, España
- Cárdenas y Ragout de Lozano, 1991. “¿Por qué mantener la separación tradicional cinemática-dinámica al enseñar?”. Memorias de la VII Reunión Nacional de Educación en la Física. Mendoza, Argentina.
- Claxton, G. , 1984 . Vivir y aprender- Alianza Psicología
- Claxton, G. 1994 Educación mentes curiosas. Visor-Madrid
- Coll,C., 1990.- Concepción constructivista y planTEAMIENTO curricular. Cuadernos de Psicología, Nº 188
- Driver et al, 1992. Ideas científicas en la infancia y la adolescencia, 2ª ed. Morata
- Feynman et al. 1987. Física Vol 1, Addison-Wesley Iberoamericana
- Hierrezuelo Moreno et al, 1988. La ciencia de los alumnos. Barcelona-Laia/MEC
- Halbwachs, F. 1983. En Psicología genética y aprendizajes escolares. Comp: C. Coll- Siglo XXI
- Inhelder y Piaget, 1972. De la lógica del niño a la lógica del adolescente. Paidós. Buenos Aires
- Pozo, J.I. 1996 .”No es oro todo lo que reluce ni se construye (igual) todo lo que se aprende: contra el reduccionismo constructivista”. Anuario de psicología, nº 69, 2.
- Ragout de Lozano, Cárdenas y Katz. 1988. Revista de Enseñanza de la Física, 2, (2), 115-123
- Ragout de Lozano y Cárdenas, 1987. “Ingreso a la Universidad: investigación sobre las capacidades operatorias” Memorias de la V Reunión Nacional de Educación en Física y IV RELAFI- Argentina
- Roederer, 1966. Mecánica Elemental , 2ª ed. EUDEBA- Buenos Aires

LA RADIACIÓN Y EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN

Prof. Mario Guerra. Consultor de UNESCO

Generalmente, la introducción del índice de refracción se realiza en los cursos elementales, a partir de la ley de Snell, aplicada a la luz que modifica su medio de propagación. Sin embargo, las propiedades observables de esa magnitud, no se explican en forma satisfactoria a menos que indagemos en la naturaleza de la luz y elaboremos un modelo explicativo sobre el comportamiento electromagnético del medio. Un modelo sencillo basado en las propiedades generales de los osciladores armónicos, permite extraer consecuencias de interés.

LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS - Campo de la Carga Acelerada

A. Asuntos Previos

Las ecuaciones generales de los campos, descubiertas por Maxwell, son relaciones que consideradas en conjunto admiten infinitud de soluciones posibles, según las condiciones que planteemos. Con la palabra «solución», queremos decir que es posible a partir de ellas determinar funciones que se ajustan al comportamiento de los campos en cada punto y en cada instante. Las ecuaciones de Maxwell, son «completas». ¿Qué significa esto? Significa que las ecuaciones permiten averiguar los campos, si damos datos suficientes y recíprocamente, TODA solución de estas ecuaciones es una solución REAL, con campos efectivamente existentes. Esto es esencial para lo que sigue.

Toda pareja $E=E(x,y,z,t)$ y $B=B(x,y,z,t)$, que reconozcamos como campos y que además satisfagan las ecuaciones, son campos que EXISTEN. Entre las infinitas parejas de soluciones posibles tenemos parejas de campos (uno eléctrico y otro magnético), de direcciones mutuamente perpendiculares, que avanzan en el vacío con la velocidad de la luz. En realidad, Maxwell demostró en forma general, que estos campos avanzan en un medio de cualquier naturaleza con una velocidad «v» que cumple: $v^2 \epsilon \mu = 1$, donde « ϵ » es la permitividad eléctrica del medio y « μ » su permeabilidad magnética. En el caso concreto del

vacío, esta velocidad coincide con el conocido valor: 3.0×10^8 m/s.

¿De donde proviene esta conclusión general? La raíz del asunto se encuentra en la naturaleza «acoplada» que muestran la ley de Faraday-Lenz y la ley de Ampere, complementada esta última con la llamada «corriente de desplazamiento». Para Maxwell, existen dos tipos de corrientes:

- a) las corrientes formadas por portadores (electrones, iones, ...), que generalmente se denominan c «corrientes convectivas»;
- b) las corriente de desplazamiento, que NO transportan cargas concretas, sino que se definen como flujos de campo eléctrico variable a través de una sección. Siempre que existe un campo eléctrico variable en el tiempo, que a través de una superficie define un flujo de campo variable, esto EQUIVALE a que por esa sección pasara una corriente.

Pero esto es el comienzo de la historia. Es claro, que si la luz es una pareja de campos viajeros, al encontrar una carga en su camino, esta debe acelerarse, dado que operan fuerzas originadas en esos mismos campos. Y aquí aparece una importante propiedad, que tiene que ver con las cargas aceleradas.

Todos conocemos el resultado fundamental descrito con la ley de Coulomb, según la cual, el campo eléctrico de una carga puntual, es inversamente proporcional a « r^2 ». Si las cargas, independientemente de su movimiento, SOLAMENTE generaran campo de este tipo, es claro que a través

de una esfera suficientemente grande, el flujo de campo eléctrico, se compensaría exactamente con el crecimiento del área atravesada, que se incrementa en forma directamente proporcional a « r^2 ». Como la carga crea además un campo magnético dependiente de « $1/r$ », el vector de Poynting asociado a estos campos sería dependiente de « $1/r^3$ ». En consecuencia, el flujo calculado a partir de un campo coulombiano origina un vector de Poynting proporcional a « $1/r^3$ », cuyo flujo a través de una esfera de radio « r » depende de « $1/r$ » y decrecería, en consecuencia, rápidamente. NO podría explicarse entonces la razón por la cual, cargas en movimiento en una antena emisora, pueden colocar en movimiento resonante a las cargas de otra antena receptora colocada a distancia muy grande. Tampoco explicaríamos la razón por la cual recibimos señales desde el Universo lejano de naturaleza electromagnética como ocurrió con el descubrimiento de Wilson y Penzias de las «ondas de 21 cm» y el llamado «ruido de fondo».

La cuestión es de naturaleza teórica y técnica, fundamental.

B. Un Desarrollo Elemental- El problema del «retraso»

Imaginemos una carga « q » que acelera en el eje Oz. Llamemos « $a(t)$ » a esta aceleración. La pregunta clave es esta: en un punto lejano como P, ¿qué campo eléctrico se mide? Maxwell demostró un hecho fundamental: el campo preponderante que se crea en P, NO es coulombiano, sino inversamente proporcional a la distancia « r » que separa a la carga del punto P. El asunto encierra algunas sutilezas. La creación de un campo en P, de cualquier naturaleza, consiste desde un punto de vista físico, en enviar información a ese punto desde la posición ocupada instantáneamente por la carga « q ». La información viaja en cualquier medio con la velocidad de la luz, ya que ese proceso se basa en una onda electro-

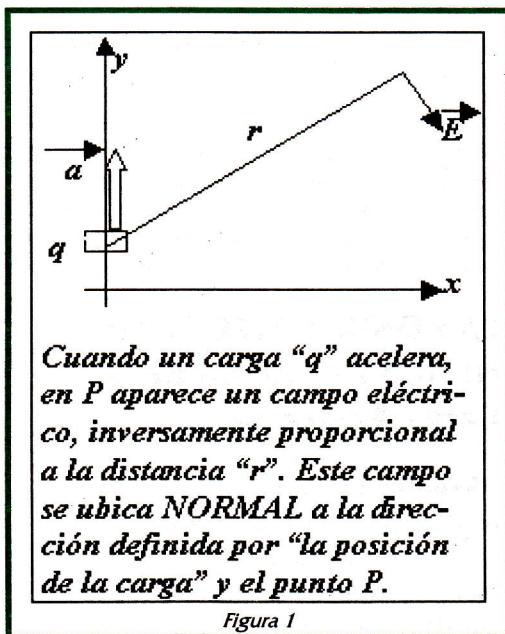


Figura 1

magnética que parte de la carga en $t=0$, y llega al punto P en $t=\tau$. La comunicación de información, se realiza con la velocidad de la luz en el medio. En consecuencia, cuando la señal ha llegado a P, la carga q , que emitió la señal ya NO se encuentra en la posición original. Si « v » es la velocidad instantánea cuando la carga emite la señal, al llegar esta a P, la carga se encuentra muy aproximadamente en « $v \cdot \tau$ ».

¿Qué importancia tiene esto? Que el campo en P, se debe a la posición original de la carga y no a la posición actual. ¿Cómo escribimos este «retraso»? Es claro, que debemos hacer intervenir, de «algún modo» al instante « $\tau - (r/c)$ », en el cual la carga se encontraba en la posición donde se registró la partida de la información. **Las conclusiones de Maxwell son esencialmente las que siguen:**

1.- El campo eléctrico en P, es inversamente proporcional a « r », y además es proporcional a la aceleración de la carga « q » en el instante con retardo:

$$E(\tau, r) = \frac{q \cdot a_n [\tau - (r/c)]}{4\pi c^2 \epsilon_0 \cdot r}$$

La aceleración « a_n [$\tau \cdot (r/c)$]» que figura en esta igualdad, se refiere estrictamente a la componente normal de la aceleración de la carga a la dirección definida por « r »

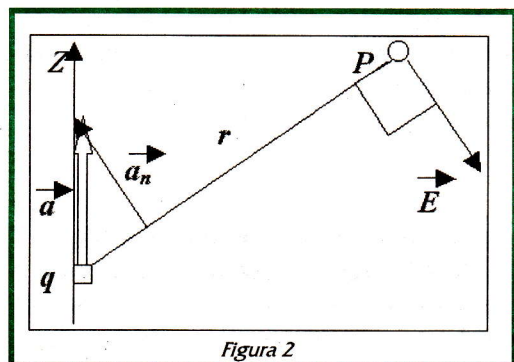


Figura 2

Esquema de la posición del campo de radiación respecto a la aceleración de la carga « q ». Si la aceleración es de sentido contrario, el campo invierte su sentido.

Si el punto P es muy lejano respecto a las posiciones de la carga que acelera, es claro que la componente normal mencionada puede «confundirse» con la aceleración total.

2.-La dirección del campo es ortogonal a la dirección de « r ». Este campo, es el llamado «campo de radiación» de la carga « q » acelerada. La demostración general de que las cargas aceleradas generan radiación electromagnética es algo complicada desde el punto de vista algebraico. Por este motivo, no es este trabajo panorámico el lugar adecuado para realizar una deducción completa.

Observemos no obstante, que la carga « q », crea en P , además, un campo magnético, inversamente proporcional a « r », que en el caso indicado en la figura está dirigido normal al plano del dibujo y «hacia atrás». En consecuencia, existe un vector de Poynting en el punto P , dirigido en forma radial, saliente y dependiente de « $1/r^2$ », que compensa exactamente el crecimiento en área de una esfera de radio « r ». En consecuencia existe una «potencia saliente» a distancia.

C. Un modelo para una placa material

Imaginemos una placa material. Los átomos que la forman pueden considerarse como cajas resonantes. En particular, podemos asumir, que los electrones realizan oscilaciones de amplitud máxima « A » y pulsación « ω » y que en primera aproximación, ajustan su comportamiento al de un oscilador armónico de la forma:

$$x(t) = A \cdot e^{j\omega t}$$

La aceleración de esta oscilación, como en cualquier movimiento armónico es proporcional a la elongación: $a(t) = -A \cdot \omega^2 \cdot x(t)$.

Supongamos que la placa es cubierta por osciladores de este tipo, de manera que a distancia, se produce un campo de radiación. Supongamos que la placa está recubierta con una densidad superficial de osciladores « η ». Si se adiciona (integra para todos los osciladores) el efecto de todos los osciladores en la distancia « r », se obtiene el siguiente resultado:

$$E(\text{total}) = \frac{\eta \cdot q \cdot v}{2\epsilon_0 \cdot c}$$

donde « v » es aquí la velocidad « dx/dt » que instantáneamente tiene cada oscilador, asumiendo por simplicidad, que todos se movieran en forma similar. Observemos que si la placa es infinitamente extensa, el campo queda dependiente de la velocidad, al adicionar el efecto de los infinitos osciladores, aunque cada uno de ellos, genera un campo proporcional a la aceleración.

¿Qué aplicación podemos dar de esta conclusión? Una de ellas, es la formulación de un modelo que explica la naturaleza «íntima» del índice de refracción. A esto se refiere el apartado que sigue.

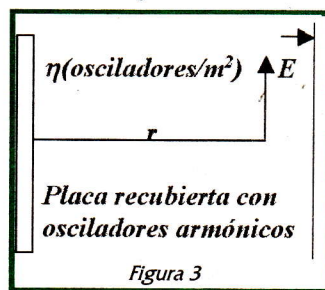


Figura 3

D. La radiación de una antena- Potencia radiada

La densidad de potencia está dada en cada punto por la expresión del vector de Poynting. La teoría de Maxwell revela que los campos «E» y «B» que viajan en una onda electromagnética, NO son independientes, sino que existe entre ellos la relación: $E = c.B$. Esta vinculación, no es un hecho casual, sino que está profundamente relacionado con la naturaleza real del «campo magnético» que es un efecto relativista del movimiento de la carga eléctrica, de la invarianza de esta última y de la transformación de Lorentz. Tomemos la ecuación anterior y recordemos además que se cumple: $\mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot c^2 = 1$

Si combinamos esta ecuación con la anterior, y recordamos además la expresión del vector de Poynting, tenemos, promediando en el tiempo: $\langle S \rangle = \epsilon_0 \cdot c \cdot \langle E^2 \rangle$. En una antena, que radia potencia, esta expresión es válida y el coeficiente $1/[\epsilon_0 \cdot c] = 377 \Omega$. Este valor, recibe generalmente el nombre de «impedancia de vacío», puesto que todo ocurre como si el vacío tuviera esa propiedad y la radiación al viajar, lo hiciera por una «línea de transmisión» con esa impedancia de entrada.

El campo eléctrico de radiación para una carga acelerada cumple, al sustituirlo en la expresión del vector de Poynting:

$$\langle S \rangle \cong \frac{[q \cdot a \cdot \sin \theta]^2}{[4\pi \epsilon_0 c^2 \cdot r]^2}$$

donde « θ » es el ángulo que forma el vector posición en el punto del espacio por el cual pasa en el instante genérico «t» la potencia « $\langle S \rangle$ » (véase la Figura 1 anterior).

Para calcular la potencia radiada, debemos considerar una esfera de radio «r» y calcular el flujo de « $\langle S \rangle$ » a través de esa esfera. El cálculo de este flujo es entonces:

$$P = \frac{(q \cdot a)^2}{6\pi \epsilon_0 c^3}$$

Esta expresión mide la potencia que el oscilador entrega al «espacio exterior». Se trata de una cantidad proporcional a la cuarta potencia de la pulsación.

E. Un modelo para explicar el significado del «índice de refracción»

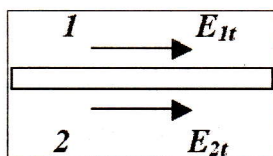
Usualmente, el índice de refracción se introduce en los cursos elementales, a partir de la ley de Snell. Esta ley básica, NO explica las razones profundas por las cuales la radiación, en particular la luz, experimenta las desviaciones que se observan al cambiar de medio.

En realidad, la luz, y la radiación en general, es interpretada en el modelo electromagnético de Maxwell, como una pareja de campos en oscilación que se propagan en forma automantenida. El mecanismo de automantenimiento es el juego simultáneo de las leyes de Ampere y Faraday-Lenz. Cuando los campos eléctrico y magnético cambian de medio, experimentan modificaciones importantes. Este problema, conocido en la teoría general con el nombre de «transiciones vectoriales de los campos», podemos establecerlo así:

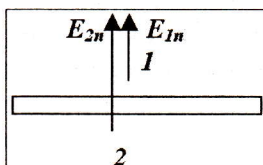
a.- consideremos dos puntos «1» y «2» cercanos a la frontera que separa los dos medios. El medio «1» tiene permitividad eléctrica ϵ_1 ; en el punto «2», las condiciones están determinadas por la permitividad eléctrica ϵ_2 . Imaginemos que la frontera estuviera en general recubierta con una densidad de carga « σ » (C/m^2). El campo eléctrico en 1 podemos descomponerlo en dos componentes: una tangente a la superficie frontera (la llamamos E_{1t}); otra normal a la frontera (la llamamos E_{1n}).

En forma análoga, en el punto 2, perteneciente al otro medio tendremos las componentes: E_{2t} y E_{2n} . Es posible demostrar a partir de la ley de Gauss y del carácter independiente del camino del campo eléctrico que crean las cargas, que:

$$E_{1t} = E_{2t} ; \epsilon_1 \cdot E_{1n} - \epsilon_2 \cdot E_{2n} = \sigma$$



Las componentes tangenciales del campo eléctrico son iguales en dos puntos cercanos a la frontera.



Las componentes normales del campo eléctrico NO son iguales en dos puntos cercanos a la frontera. Esta componente al modificarse es responsable de la «refracción» observada.

En general, la frontera NO está recubierta por densidad de carga alguna, de manera que podemos asumir para los vidrios que: $\sigma=0$.

En esta hipótesis: la relación entre las componentes normales, es: $E_{2n}/E_{1n} = \epsilon_1/\epsilon_2$

Por otro lado, la teoría deduce que la velocidad de la luz en cada medio se puede calcular así: $c_1 = (\epsilon_1 \cdot \mu_2)^{-1/2}$; $c_2 = (\epsilon_2 \cdot \mu_2)^{-1/2}$.

En los medios transparentes, es correcto suponer con gran aproximación que las permeabilidades magnéticas son aproximadamente iguales a la del vacío.

Con este dato físico, tenemos que el cociente de velocidades es: $c_1/c_2 \cong (\epsilon_1/\epsilon_2)^{1/2}$, que se puede escribir entonces, como el cociente de las componentes normales del campo eléctrico a uno y otro lado. Pero el

primer miembro de la igualdad anterior es, por definición, el índice de refracción del medio 2 respecto al 1: n_{21}

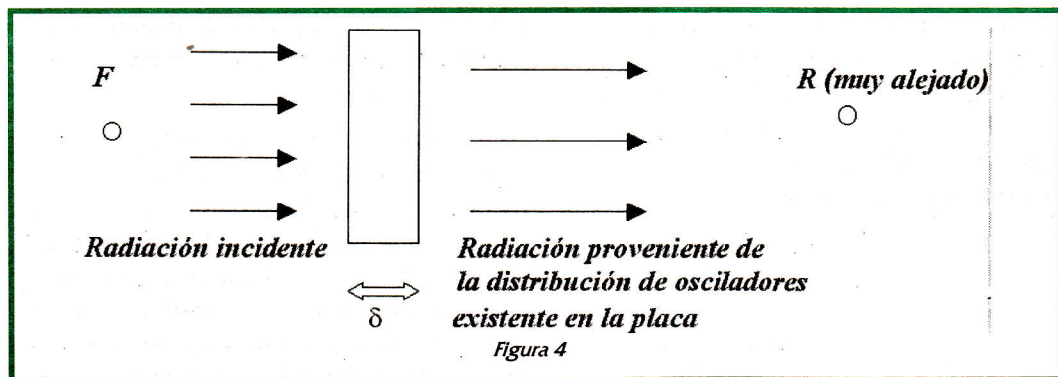
En consecuencia, la teoría electromagnética explica al índice de refracción como una medida del cambio experimentado en la componente NORMAL del campo eléctrico al pasar de un medio a otro. ¿Podemos dar otra explicación? Es posible si apelamos al resultado anteriormente establecido del campo de radiación creado por una placa recubierta por osciladores armónicos.

Consideremos una placa de espesor « δ » y un manantial de ondas electromagnéticas «F» ubicado a la izquierda. La radiación proveniente de esta fuente, incide sobre los osciladores elementales que forman la placa y aceleran las cargas, las cuales, producirán en consecuencia una radiación secundaria hacia el receptor «R» ubicado en la derecha del esquema. Ver figura 4.

Un resultado conocido de la Óptica es este: *si la luz viaja por un medio de índice de refracción «n», la velocidad es «c/n»*. Esto significa, que si quitamos la placa el tiempo que demora la luz en recorrer el espesor δ será: $\Delta t = \delta/c$. En cambio, si colocamos la placa en el camino, el tiempo invertido en recorrer ese mismo espesor ha de ser: $\Delta T = \delta/(c/n) = n \cdot \delta/c = n \cdot \Delta t$. En general, para los «vidrios» es $n > 1$, de manera que la interposición de una placa transparente, ocasiona un retraso.

Es necesario aclarar aquí, que NO siempre es $n > 1$, como veremos más adelante.

El retraso ocasionado por la placa es: $\tau = \Delta T - \Delta t = (n-1)\delta/c$. Supongamos que en la placa hay «N» osciladores por metro cúbico. Supongamos que la placa realiza una reflexión pequeña, de manera que, prácticamente la radiación proveniente de «F» llega en su casi totalidad a «R». El coeficiente de reflexión de una onda es proporcional a (n^2-1) , de manera que la hipótesis realizada equivale a suponer que $n \approx 1$.



Supongamos que el campo creado en «R» si no hubiera retraso:

$$E = E_0 \cdot e^{j\omega(t-r/c)}$$

Si tenemos en cuenta el retraso, la igualdad anterior se cambia en:

$$E = E_0 \cdot e^{j\omega[t-(n-1)\delta/c-r/c]}$$

Esta última expresión del campo en «R» se puede escribir en forma equivalente así:

$$E = E_0 \cdot e^{j\omega(t-r/c)} \cdot e^{-j\omega(n-1)\delta/c}$$

Como «c» es muy grande, podemos suponer que el exponente del segundo factor es muy pequeño si «δ» es también pequeño (porque «ω» es de orden 10^{14} en el rango de luz visible). En este caso, podemos utilizar el desarrollo de Taylor de la función exponencial:

$$e^x \approx 1 + x$$

En nuestro caso:

$$e^{-j\omega(n-1)\delta/c} \approx 1 - j\omega(n-1)\delta/c$$

En consecuencia, podemos expresar el campo total en «R», en forma aproximada así (1):

$$E \approx E_0 \cdot e^{j\omega(t-r/c)} - j\omega(n-1)\delta/c \cdot E_0 e^{j\omega(t-r/c)}$$

Esta expresión nos dice que el campo en «R» se puede interpretar como una superposición de dos campos: uno debido a la fuente «F», SIN la placa interpuesta y otro

campo originado en el retraso que ocasiona la interposición de la placa. Podemos decir que el segundo sumando es el campo creado por radiación de los osciladores distribuidos en la placa.

Ahora debemos dar la forma adecuada al campo eléctrico. Los osciladores de la placa tienen una pulsación de resonancia « ω_0 », que no depende de la excitación externa (como ocurre con el sistema masa-resorte, donde la pulsación de resonancia depende de «k» y de «m»). Si desde el exterior aplicamos una oscilación de pulsación « ω », obtenemos una oscilación forzada. La ecuación de Newton para estudiar la oscilación de un resorte es (sustituyendo «k» por su expresión a partir de la pulsación de resonancia « ω_0 »): $m \cdot a + m \cdot \omega_0^2 \cdot x(t) = q \cdot E_0 \cdot e^{j\omega t}$. ¿Podemos hallar la solución estacionaria de esta ecuación? La solución general encierra un transitorio que no interesa en este caso, porque se amortigua rápidamente, tal como ocurre cuando la fuente de tensión se conecta mediante un cierre de llave a los componentes de un circuito R-L-C. En este caso, la corriente debe previamente «acomodarse» a la oscilación regular que impone la fuente. La transición se realiza mediante un transitorio que generalmente, en la mayoría de las aplicaciones sencillas despreciamos. Aquí la situación es semejante. Para ello, buscamos una solución de la forma:

$$x(t) = A \cdot e^{j\omega t}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior (previamente hallamos «a», derivando $x(t)$ dos veces), obtenemos:

$$x(t) = \left\{ q \cdot E_0 / m \cdot [\omega_0^2 - \omega^2] \right\} \cdot e^{j\omega t}$$

Esta es la solución estacionaria de la oscilación que cumplen los osciladores armónicos de la placa. La velocidad de estos osciladores es:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} = \frac{j \cdot q \cdot E_0 \cdot \omega \cdot e^{j\omega t}}{m \cdot [\omega_0^2 - \omega^2]}$$

Si tenemos la expresión de la velocidad y suponemos que la placa es muy extensa (teóricamente infinita), podemos calcular el campo de radiación en un punto lejano, siempre que susutituyamos «de alguna manera» a la densidad superficial de osciladores « η » por la densidad volumétrica « N ».

Esto podemos hacerlo así. Consideremos un área « S » en la placa y tomemos un cilindro de espesor « δ ». En este volumen, existen ($N \cdot S \cdot \delta$) osciladores. Si asimilamos esta distribución volumétrica a la distribución plana equivalente que crea el mismo campo, tenemos que en esta última hay: ($\eta \cdot S$) osciladores equivalentes. Entonces (2):

$$\eta \cdot S = N \cdot S \cdot \delta \rightarrow \eta = N \cdot \delta$$

En consecuencia el campo creado por la placa podemos expresarlo así (3):

$$E \cong - \frac{(\eta \cdot q / 2\epsilon_0 \cdot c) \cdot [j\omega q E_0 \cdot e^{j\omega(t-r/c)}]}{m \cdot [\omega_0^2 - \omega^2]}$$

Si comparamos esta expresión con la obtenida en (1), tenemos que debe registrarse esta igualdad:

$$- \frac{j \cdot \omega \cdot \eta \cdot q \cdot E_0}{2\epsilon_0 \cdot c \cdot (\omega_0^2 - \omega^2)} = - \frac{j \cdot (n-1) \cdot \delta \cdot E_0}{c}$$

De esta igualdad, podemos obtener una expresión para el índice de refracción « n »:

$$n(\omega) = 1 + [N \cdot q^2] / 2 \cdot \epsilon_0 \cdot [\omega_0^2 - \omega^2]$$

que nos explica en forma aceptable la razón por la cual el índice de refracción es función del «color» de la radiación.

Podemos examinar dos consecuencias sencillas de este modelo, contrastables con el experimento:

- a. Para la mayoría de los gases, y las sustancias transparentes, la pulsación de resonancia propia « ω_0 », se ubica en la zona del ultravioleta muy lejano. En consecuencia, si la excitación externa la produce una radiación en el espectro visible, la pulsación $\omega \ll \omega_0$. En consecuencia, la expresión anterior de « n » se puede aproximar así:

$$n \cong 1 + [N \cdot q^2] / 2 \cdot m \epsilon_0 \cdot \omega_0^2$$

que nos dice que, *para estas sustancias que estamos considerando, el índice debe ser prácticamente constante. El experimento avala este resultado.*

- b. Si analizamos el comportamiento de la función $n = n(\omega)$, tenemos que es *claramente creciente* con la pulsación creciente (hacia el ultravioleta). Esto significa que si consideramos la placa y la iluminamos con luz roja en un caso y azul en otra, al ser $\omega_{\text{azul}} > \omega_{\text{rojo}}$, tenemos que *el índice para el color azul debe ser mayor que para el color rojo*. Esto explica la dispersión observada de la luz NO monocromática.

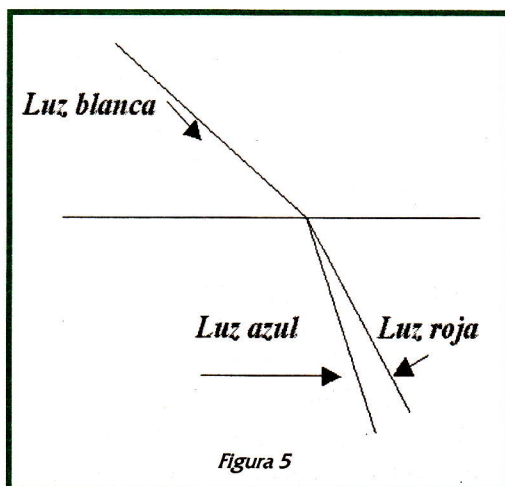


Figura 5

CIENCIAS INTEGRADAS

Profesora Patricia Linn

La reforma educativa promovida por el Consejo de Educación Secundaria propone para los primeros años de Liceo la enseñanza por áreas. Por ejemplo para las Ciencias se instrumentó un curso llamado Ciencias de la Naturaleza que integra Biología, Química y Física. Una de las ideas que sustenta la decisión de enseñar las ciencias en forma integrada se basa en la afirmación de que la naturaleza es una sola, y que por ello no se debe de estudiar en porciones, encasillada en diferentes asignaturas, puesto que impide al alumno ver el todo.

La enseñanza de las ciencias en forma integrada generalmente consiste en la observación y descripción de algunos fenómenos naturales junto a una explicación sencilla de los mismos. Es un curso que puede considerarse útil en la niñez o pre-adolescencia, cuando se está en la época del desarrollo del "romance" con la ciencia. Posteriormente es necesario el estudio independiente y riguroso de la física, la química y la biología, si se desea que el alumno comprenda los principios que las rigen. Pasada esta etapa recién podrá comprender el universo desde un punto de vista holístico, es decir como un todo.

Es cierto que la naturaleza es una sola, pero lo que se enseña no es la naturaleza, sino Ciencias de la Naturaleza o Ciencias Naturales. La ciencia es el arte que creó el ser humano para el estudio de los fenómenos naturales. Según el tipo de fenómenos que se estudie los científicos han desarrollado, a lo largo de generaciones, diferentes disciplinas, es decir diferentes procedimientos y metodologías, diferentes conjuntos de principios o leyes básicas. Esto no ha ocurrido por azar.

Los filósofos de la ciencia se han ocupado de estudiar y analizar los puntos en co-

mún y las diferencias entre las diferentes ciencias. La tendencia era a considerar que todas se podían reducir a una sola, la física, ciencia básica que intenta explicar el universo y su comportamiento a partir del estudio de las partículas que lo constituyen y sus interacciones. La posición contraria era apoyada por muchos, pero generalmente con la pasividad de la negación, ya que tenían dificultades para justificar la independencia de las ciencias que proclamaban. En la última década ha surgido una escuela de nuevos filósofos de la ciencia de formación química que intentan justificar los procedimientos e ideas característicos de su disciplina, intentando resaltarla como independiente de la física, no reducible a esta. En sus trabajos argumentan que una forma de distinguir las diferencias y de reconocer sus dominios y diferentes niveles de complejidad es a través de la enseñanza de las disciplinas en forma rigurosa e independiente.

En una de las pocas revistas de estudios filosóficos, históricos e interdisciplinarios de la química, "Foundations of Chemistry" (que puede traducirse por: Fundamentos, Bases o Cimientos de la Química) cuyos primeros números son del año 1999, hay numerosos trabajos que insisten en la separación de las ciencias. En el ejemplar de octubre de 1999 Pierre Laszlo, un químico orgánico francés y además estudioso de la literatura francesa, escribe sobre como los conceptos de la alquimia influyen sobre la actual estructura de la química. Con el mismo espíritu filosófico el químico croata Hrvoj Vancik se refiere a los diferentes niveles de complejidad en las ciencias, y critica el reduccionismo. En un trabajo sobre la bioquímica Roger Strand, noruego, discute el problema central de dicha ciencia que es la justificación de los estudios in vitro, para asignarlos a sistemas vivos.

DIFERENCIAS ENTRE FISICA Y QUÍMICA

La Física, escribe Laszlo es una ciencia especulativa que intenta explicar la naturaleza. En ella el experimento siempre jugó un rol secundario (estos han servido mayormente para dar forma o verificar teorías), por lo tanto es básicamente una disciplina teórica. La química en cambio evolucionó de la alquimia en la que el experimento era básico. El objetivo del experimento para el alquimista no era apoyar ni refutar una teoría sino imitar los procesos de la naturaleza. Esta filosofía de la alquimia, en la que imita los procesos naturales debió originarse, según dice Mirce Eliade, en los procedimientos metalúrgicos prehistóricos. El maestro metalúrgico no solo aislaba los materiales para su interés personal sino como una colaboración con la naturaleza. El experimento-procedimiento se consideraba como una forma condensada de los procesos que ocurren en el interior de la tierra. En el libro de alquimia "Suma perfectionis" se puede leer: Lo que la naturaleza puede mejorar en un largo período de tiempo, nosotros lo podemos terminar en corto tiempo utilizando nuestro arte y destreza.

Las diferencias básicas de estas ciencias surgen entonces a partir del hecho de que la química se desarrolló como una ciencia que directamente manipula la materia, mientras que en la física se elaboran teorías que involucran al universo entero partiendo de las partículas elementales que lo constituyen. Los biólogos a su vez estudian sistemas muy complejos por lo que no es posible que sean tratados con la precisión y exactitud con que se trabaja en química. Pero, como señala Vancik, las diferencias se pueden identificar mejor si ordenamos las ciencias según la complejidad del tema investigado. Normalmente se coloca a la Física como primera, básica, seguida por la química, luego biología, antropología y finalmente las ciencias sociales.

La posición reduccionista de muchos pensadores establece que este orden señala una jerarquía de las ciencias, de superior a inferior. Es una idea que se basa en la concepción filosófica de que todo el universo puede ser reducido a los primeros principios. En consecuencia la física está en la cumbre (o en la base) puesto que ella estudia las partículas elementales con las que se construye todo.

INDEPENDENCIA

Los no reduccionistas plantean la existencia de saltos conceptuales al pasar de un nivel de complejidad a otro. En este caso el orden de las ciencias no las jerarquiza por importancia, sino que identifica los saltos. Ocurre que aunque las propiedades químicas de las moléculas se pueden explicar con conceptos físicos estos son incapaces de predecirlos. Los postulados de la mecánica cuántica (física) no predicen las propiedades que adquieren un conjunto de átomos cuando se combinan formando moléculas (química). Estas nuevas propiedades resultan de la reunión de las propiedades de los diferentes elementos, sumas explicables y predecibles solamente sobre la base de conceptos químicos.

Lo mismo ocurre con la biología. Las propiedades de los seres vivos se obtienen a partir de la suma de las propiedades individuales de los componentes químicos, pero son propiedades que químicamente no se pueden predecir, son explicadas sobre la base de leyes biológicas.

Estos saltos de la física a la química, y de esta a la biología, fueron llamados por Konrad Lorentz (etnólogo, premio Nobel de ... en 19) "fulguratio". Vancik escribe que Lorentz tomó el término de la mística medieval. El destello, que es el que a partir de un subsistema "los átomos" construye un sistema "molécula", o que de una mezcla de sustancias (subsistema) construye el sistema "ser vivo", es la base del concepto holístico del universo.

La visión holística (holos:todo) de la naturaleza, y el universo, combate el reduccionismo de las ciencias o del conocimiento. Se basa en la idea de que no es posible establecer un sistema lógico que formule leyes para todo el universo a partir de axiomas. Esta es la razón por la que se construyen sistemas axiomáticos en los diferentes niveles de complejidad, sistemas que representan las ciencias autónomas. Una visión holística de la naturaleza por ende no unifica las disciplinas, sino que al contrario las distingue como independientes. Para lograr una visión global del universo, es crucial que se identifique los sistemas de diferente grado de complejidad, cómo el mundo mineral, el de los seres vivos, o el de las sociedades animales, se debe estudiar cada disciplina y así desarrollar, según dice Vancik, la habilidad para reconocer patrones en cada sistema. Es necesario adiestrar el pensamiento hasta un alto grado de resolución para poder distinguir la línea de separación de las ciencias, sutil y poco marcada, para reconocer el destello al que se refiere Lorentz.

BIOQUÍMICA

Otro ejemplo de la necesidad de conocer los conceptos que se desarrollan dentro de una disciplina para comprender el conocimiento que se obtiene con ella está en la Bioquímica. En química se estudian reacciones entre sustancias en estado atómico o molecular en cualquier contexto, en cambio en bioquímica interesan solo las reacciones entre algunas sustancias en particular y en contextos específicos. Dicho contexto es el ser vivo, pero es imposible analizar reacciones en vivo, por lo que surge el dilema: in vivo - in vitro, que es traducir el conocimiento obtenido in-vitro a los sistemas vivos. La bioquímica no es la única ciencia o área que se basa en la posibilidad de obtener conocimiento en determinada situación a partir de una semejante. Pero para ella el problema es central, la

disciplina se desarrolla alrededor de ese problema, motivo por el cual se da mucha importancia a la metodología.

Las biomoléculas, o moléculas dentro del sistema de un ser vivo, son inestables y a menudo se descomponen al aislarlas. Son muy grandes, de cientos de miles de átomos, lo que hace que su reactividad dependa mucho de su estructura espacial. Las fuerzas intramoleculares e intermoleculares definen la estructura en el espacio, por lo que al aislar la molécula no es posible determinarla. Otra dificultad es que el contexto in-vivo es tan complejo que si se intenta reproducir in-vitro será muy difícil determinar lo que ocurre.

La metodología en bioquímica se vuelve central y aparece una teoría de la metodología que pretende justificar la validez (en cuanto a similitud con la realidad) de los sistemas in vitro desarrollados para cada estudio en particular. Un químico que no conozca la metodología dudaría, en una primera lectura, de las conclusiones que sacan los bioquímicos.

Aunque los alumnos liceales no profundicen demasiado en cada ciencia, el aprender por la práctica, por experiencia directa, que hay diferentes enfoques para el estudio de los fenómenos naturales según cuáles sean estos, les aporta un mejor conocimiento de dichos fenómenos a la vez de que les da una imagen más realista del trabajo de los científicos en la búsqueda de conocimiento. Esto último es un aporte importante para todos, pero especialmente para él que no continúa el estudio de las ciencias, ya que a lo largo de su vida deberá de tomar decisiones en temas éticos y prácticos vinculados a las ciencias, algunos muy conflictivos, como dónde colocar un depósito para residuos radioactivos, o si permitir la clonación de embriones. En estas situaciones le será muy útil conocer la forma en que se adquiere el conocimiento puesto que le permite confiar o no, según el caso, en la veracidad de lo que se le informa, en lo que funda su decisión.

WEB

Saliendo un poco de nuestra costumbre de chequear los sitios que visitamos para luego recomendarlos ponemos, en esta ocasión, un "Buscador" como recomendación inicial. Tiene una extrema sencillez de uso, una rapidez de búsqueda más que aceptable aunque, por ahora, no acepta operadores de búsqueda.

<http://www.google.com>

Google 10 resultados Todos los idiomas

Búsqueda en Google Me siento afortunado

Búsqueda Sugerencias Opciones de idioma (Español) Language Options (English)

En Español
Buscó WWW páginas

Resultados de Google 51-60 de aproximadamente 89,900 para "universidad física". La búsqueda tardó 1.29 segundos.

[Iniciativa Científica Milenio](#)

... Transporte resonante en sistemas mesoscópicos. Pedro Orellana D. Departamento de Física, Universidad Católica del Norte, Antofagasta, Chile. Resumen. ...

www.mideplan.cl/milenio/04.html - 80k - [Mostrar coincidencias \(en caché\)](#) - [Páginas similares](#)

◀ Google ▶

Página de resultados: [Anterior](#) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 [Next](#)

Búsqueda en Google [Buscar en resultados](#)

Como se puede apreciar, basta con ingresar, dentro del campo de búsqueda, una palabra, una frase, o una cierta cantidad de palabras o frases entre comillas y "pegaditas" unas de otras para que, como en el ejemplo, Google nos brinde, en 1,29.s, 89900 direcciones de lo pedido; algo que puede ser muy bueno o muy pesado de manejar, según sea el caso. Pero esto se soluciona con la selección de idiomas y con la opción que aparece más abajo: Buscar en resultados. Ésta última le permitirá buscar nuevas frases dentro de los sitios que ubicó en primera instancia para "refinar" su búsqueda. Como ejemplo, incluimos algunos de los resultados dados por Google a la requisitoria del ejemplo: "universidad" "física"

<http://www.fisica.ufc.br/>



Clicando na imagem de Einstein traz de volta a esta página

física.ufc

Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará

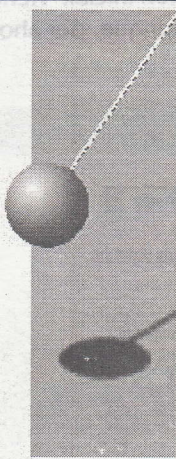
<http://www.virginia.edu/ep/>

Welcome to the University of Virginia Engineering Physics Homepage



Jefferson's Rotunda
University of Virginia

<http://www.df.uba.ar/>

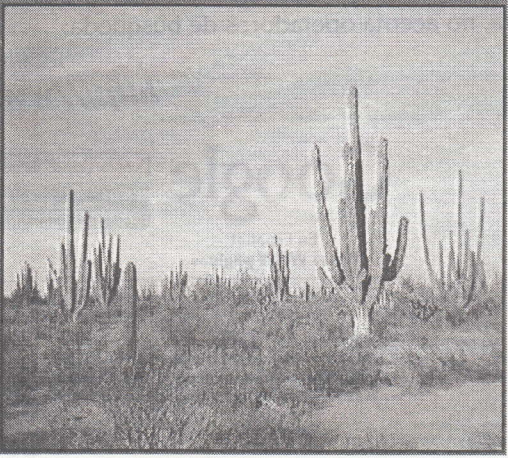


**Departamento
de Física
Juan José
Giambiagi**

**Facultad de Ciencias
Exactas y Naturales
Universidad
de Buenos Aires**

<http://www.fisica.uson.mx/>

Departamento de Física, Universidad de Sonora



<http://www.uh.cu/>

<http://www.smf.mx/Catalogo98/CUBA/UH/ffuh.html>



Universidad de La Habana

Mapa del sitio Búsqueda Índice Ayuda

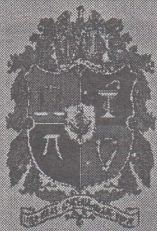
?



[http://](http://www.ciencias.unal.edu.co/FISICA/)

www.ciencias.unal.edu.co/

FISICA/




Universidad Nacional
de Colombia

Facultad de Ciencias

DEPARTAMENTO DE FISICA

2000. Escuela de Física.

Universidad de Costa Rica

<http://www.efis.ucr.ac.cr/>



Escuela de Física -UCR

Planes de Estudio	Centros de Investigación
Física	Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales
Meteorología	Centro de Investigaciones Geofísicas
	Laboratorio de Física Nuclear Aplicada
Posgrado	Grupos
Física	Física Teórica
Astrofísica	Estado Sólido
Meteorología	Astrofísica

VELOCIDAD DE GRUPO SUPERLUMINOSA EN ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Ismael Núñez. Prof. de Física del Liceo Bauzá

En este trabajo se presentan en forma simple los principios que permiten obtener una velocidad de grupo de un pulso luminoso en la materia, mayor que la velocidad de la luz en el vacío. La intención del mismo es explicar los resultados de un reciente experimento efectuado por L. J. Wang y colaboradores en el NEC Research Institut¹, mostrando la plausibilidad de dicho resultado a partir de las leyes conocidas sobre la propagación de la luz en la materia. No se incurre en ninguna discusión del significado que pueda tener el mismo para la física básica actual (Teoría de la Relatividad).

1- Paquetes de ondas

Sea una onda que se propaga en una dimensión en la dirección positiva del eje x . Se dice de ella que es *monocromática* o una *onda continua* cuando se puede expresar en la forma

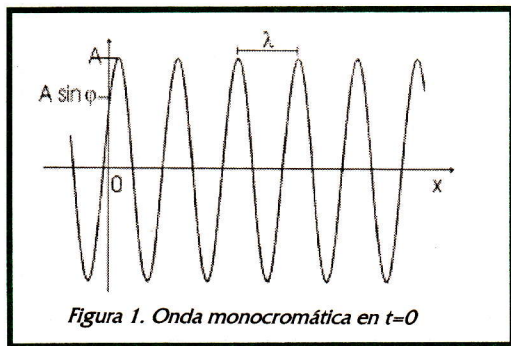
$$f(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \phi) \quad (1)$$

donde $k = 2\pi / \lambda$ siendo λ la *longitud de onda*, $\omega = 2\pi f$ siendo f la *frecuencia* de la onda, ϕ es la *fase inicial* de la onda y A es su amplitud.

En el instante $t = 0$ se representa la onda (1) en la figura 1. Obsérvese que la fase inicial ϕ indica la posición de la onda respecto al eje de coordenadas.

Los tres parámetros fundamentales que definen una onda monocromática, y que son independientes entre sí, son A , k , ϕ , o bien A , ω , ϕ . Esto es porque la frecuencia angular (ω) y el número de onda k (o, lo que es lo mismo, la frecuencia f y la longitud de onda λ) están vinculados entre sí por las propiedades del medio. La *velocidad de fase* de la onda en el medio es $c = \lambda f$ que podemos escribir como

$$c = \frac{\omega}{k} \quad (2)$$



La velocidad de fase c de la onda depende de las propiedades del medio en la cual viaja y, generalmente (salvo para las ondas electromagnéticas en el vacío), depende de la frecuencia de la propia onda.

Es sabido que la luz se propaga con diferentes velocidades según su frecuencia (o longitud de onda) dentro de un mismo medio material transparente. Esto produce el fenómeno de separación de los colores, conocido como *dispersión*.

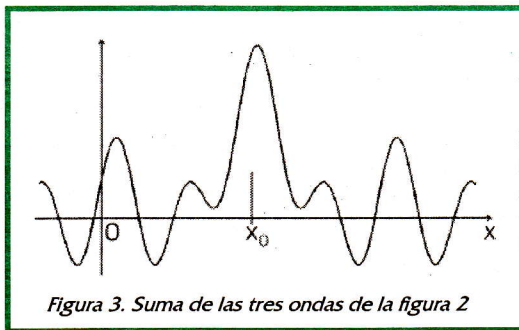
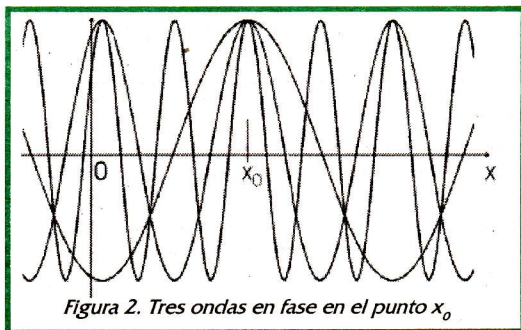
Para resaltar el hecho de que la velocidad de una onda monocromática depende de la frecuencia, escribimos $c = c(\omega)$. La relación (2) se puede poner como

$$k(\omega) = \frac{\omega}{c(\omega)}, \text{ o bien } \omega(k) = kc(k) \quad (3)$$

La relación (3) entre k y ω es de fundamental importancia en la teoría ondulatoria, y se llama *relación de dispersión* para las ondas en un determinado material.

Para las ondas electromagnéticas en el vacío, la velocidad de fase c es independiente de la frecuencia ($c \approx 300000 \text{ km/s}$) y la relación de dispersión (3) es lineal.

Una onda monocromática como la (1) es un fenómeno que se extiende desde $x = -\infty$ hasta $x = +\infty$ en el espacio, así como en el tiempo. Por tal motivo carece de realidad física, si bien uno puede utilizarla como una aproximación a la realidad cuando trata con luz *cuasimonocromática*, como por ejemplo, el láser. Cualquier radiación es de extensión finita en el tiempo y el espacio, es lo que se denomina un *paquete de ondas*.



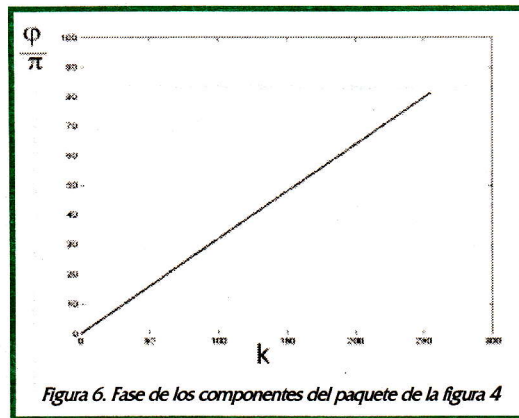
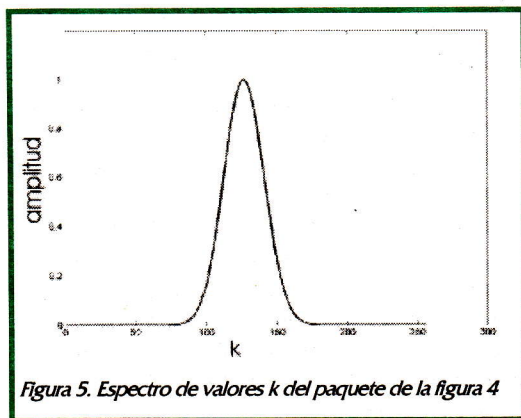
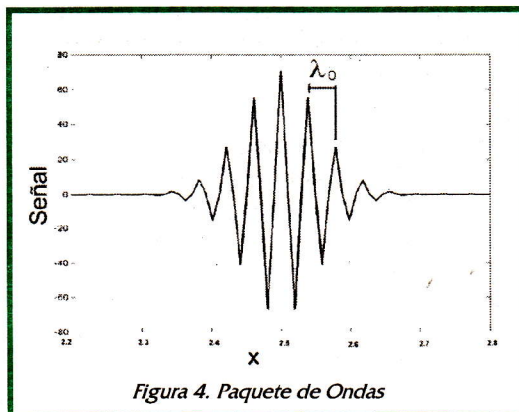
Un paquete de ondas es una superposición de ondas monocromáticas con diferentes amplitudes, fases iniciales, y longitudes de onda (por lo tanto, diferentes frecuencias de acuerdo a la relación (3)). En la figura 2 se muestran tres ondas (en este caso, de igual amplitud) con diferentes longitudes de onda y fases iniciales, en cierto instante, digamos, $t = 0$. Las fases iniciales están corridas adecuadamente para que las tres ondas se superpongan en fase (coinciden sus máximos) en cierto punto x_0 del eje de coordenadas.

En la figura 3 se muestra el resultado de la suma de las tres ondas. Obsérvese el máximo valor de la amplitud de la onda resultante en torno al valor x_0 .

Para formar un paquete de ondas que se anule para tiempos y posiciones en el infinito, se necesita sumar una cantidad infinita de ondas monocromáticas, con valores de longitudes de onda (o núme-

ros de onda) infinitesimalmente separados entre sí. Esto es, una distribución continua de ondas monocromáticas.

Por ejemplo, para formar el paquete mostrado en la figura 4 centrado en el punto $x_0 \approx 2.5$ y que prácticamente se anula más allá de 2.5 ± 0.2 , se necesitan los valores de amplitudes de ondas monocromáticas graficados en función de k en la figura 5, con las fases iniciales de la figura 6.



2 - Velocidad de grupo y dispersión

Usualmente los paquetes de ondas tienen una longitud de onda predominante, como λ_0 en la figura 4, por lo que tienen un número de onda predominante $k_0 = 2\pi / \lambda_0$, cuyo valor es el que corresponde a la amplitud máxima en el espectro de la figura 5 ($k_0 \approx 125$).

Aún cuando cada componente de un paquete de ondas se propague con distinta velocidad, el paquete como un todo (o el «centro del paquete») se propaga con una cierta velocidad, llamada *velocidad de grupo* del paquete. Ésta es la velocidad con la cual se transporta la energía de la señal, y se puede demostrar que es igual a la derivada de la expresión (3) de ω respecto de k , evaluada en el valor central $k=k_0$. Esto es

$$v_g = \left(\frac{d\omega}{dk} \right)_K \quad (4)$$

Si la velocidad de grupo (4) es independiente del valor de k_0 , esto es, si

$$\frac{d^2\omega}{dk^2} = 0 \quad (5)$$

entonces el paquete conserva su forma cuando se propaga y no hay dispersión, o el medio se dice que es *no dispersivo*. De acuerdo con la relación de dispersión (3), para que esto suceda la velocidad de fase c debe de ser constante para todas las frecuencias (o para todos los números de onda k). En cambio, si

$$\frac{d^2\omega}{dk^2} \neq 0 \quad (6)$$

se deduce de (3) que debe de ser $\frac{dc(k)}{dk} \neq 0$,

con lo que la velocidad de fase depende de la longitud de onda (y, por consiguiente, de la frecuencia). En este caso existe dispersión y el paquete se va deformando a

medida que se propaga, aunque su centro continúa con la velocidad de grupo v_g definida en (4).

3 - Índices de refracción

El *índice de refracción* para una onda electromagnética monocromática de frecuencia ω en un medio donde esta onda se propaga con velocidad de fase $c(\omega)$, se define como

$$n(\omega) = \frac{c_0}{c(\omega)} \quad (7)$$

donde c_0 es la velocidad de las ondas en el vacío. De forma similar, para los paquetes de ondas existe el *índice de refracción de grupo* (centrado en cierto valor de k_0 o ω_0) definido con la velocidad de grupo a esa frecuencia, como

$$n_g = \frac{c_0}{v_g} \quad (8)$$

Existe una relación útil entre ambos índices de refracción. Si calculamos $\omega \, dn / d\omega$ utilizando (7), obtenemos

$$\omega \frac{dn}{d\omega} = \omega \frac{c_0}{c^2} \frac{dc}{d\omega} \quad (9)$$

Sustituyendo en (9) el valor de c de (2) resulta

$$\begin{aligned} \omega \frac{dn}{d\omega} &= -\omega \frac{c_0}{c^2} \left(\frac{1}{k} - \frac{\omega}{k^2} \frac{d\omega}{dk} \right) = \\ &= -\frac{\omega c_0}{c^2 k} + \frac{\omega^2 c_0}{k^2 c^2} \frac{d\omega}{dk} \end{aligned} \quad (10)$$

Sustituyendo en (10) las expresiones (2) y (4) tenemos

$$\omega \frac{dn}{d\omega} = -\frac{c_0}{c} + \frac{c_0}{v_g} \quad (11)$$

Si ahora introducimos en (11) las definiciones (7) y (8) de los índices de refracción, esta expresión resulta

$$\omega \frac{dn}{d\omega} = -n + n_g$$

de donde:

$$n_g = n + \omega \frac{dn}{d\omega} \quad (12)$$

Para los gases se tiene que $n \approx 1$ para todas las frecuencias, con lo que la (12) arroja una conclusión interesante. Si la derivada del índice de refracción con respecto a la frecuencia es positiva, resulta $n_g > 1$ en (12), lo cual significa que la velocidad de grupo es menor que la de la luz en el vacío, según la definición (8).

Pero si existe en el material considerado la posibilidad de que la derivada en (12) sea negativa, entonces resultará que $n_g < 1$ y, por consiguiente, $v_g > c_0$. La velocidad de grupo, que es la velocidad de transporte de la energía, resultaría mayor que la velocidad de la luz en el vacío. En este hecho se basa el experimento de L. J. Wang y sus colaboradores.

4- Dispersión normal y dispersión anómala

El origen del índice de refracción está en la posibilidad de radiación de ondas electromagnéticas por parte de los electrones dentro del material, cuando son excitados por el campo eléctrico oscilante de la onda incidente.

Desde el punto de vista clásico, un electrón ligado en el interior del material se puede considerar como un sistema mecánico que puede vibrar sujeto a un potencial elástico (en primera aproximación), sometido también a una fuerza de amortiguación.

El electrón clásico tiene, como todo sistema oscilante, una frecuencia propia o natural de resonancia. Si el campo de la onda incidente tiene esta misma frecuencia, el sistema oscilante entra en resonancia y vibra con su máxima amplitud, absorbiendo la mayor parte de la energía del campo electromagnético.

Desde el punto de vista cuántico, que es un modelo mucho más preciso para tratar las interacciones de la radiación con la materia, esta frecuencia de resonancia corresponde a la diferencia de energías entre dos niveles de los múltiples estados que puede ocupar el electrón ligado.

Tanto la teoría electromagnética clásica como la cuántica arrojan resultados cuantitativamente similares para el cálculo del índice de refracción en función de la frecuencia. Lo esencial a resaltar en el tema, es que la existencia del índice de refracción está indisolublemente vinculado a la existencia de absorción en el material. Solamente cuando el índice de refracción no varía con la frecuencia (el vacío) entonces no existe absorción de la energía de la onda electromagnética.

El coeficiente de absorción $K(\omega)$ es un valor real y positivo que interviene como un factor de atenuación exponencial en la propagación de la onda. Para una onda monocromática de número de onda k que se propaga en la dirección de las x positivas, la amplitud de la misma resulta multiplicada por $\exp(-Kx)$. Dependiendo de cuán grande es el valor del coeficiente de absorción K , la onda se extingue más o menos rápidamente a medida que penetra la distancia x en el material.

La figura 7 presenta el índice de refracción n y la figura 8 el valor del coeficiente de atenuación K que inevitablemente lo acompaña, ambos en función de la frecuencia de la radiación. Las gráficas están calculadas para un gas hipotético en la vecindad de una frecuencia de resonancia del material $f_0 = 5 \times 10^{14}$ Hz.

En la figura 7 se indican los valores de frecuencia a las que el índice de refracción presenta sus valores extremos, $f_1 \approx 4.5 \times 10^{14}$ Hz para el máximo y $f_2 \approx 5.5 \times 10^{14}$ Hz para el valor mínimo del índice. Estos dos valores de frecuencia coinciden con los que determinan el ancho de la curva de absor-

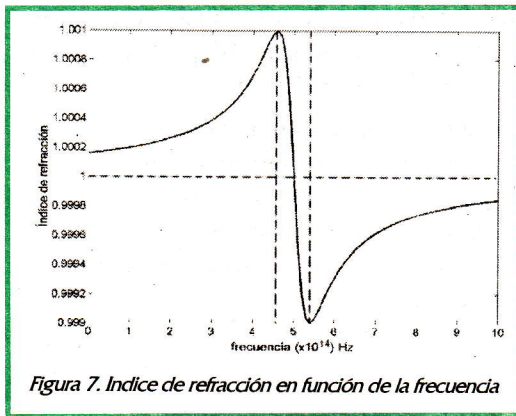


Figura 7. Índice de refracción en función de la frecuencia

ción de la figura 8, donde el pico de atenuación se reduce a la mitad del máximo.

En la figura 7 se observa que la derivada del índice de refracción respecto a la frecuencia es positiva para frecuencias menores que f_1 y mayores que f_2 . Estas regiones se llaman de *dispersión normal*. Según lo establecido en la ecuación (12), el índice de grupo n_g es mayor que la unidad y la velocidad de grupo es menor que la de la luz en el vacío.

No obstante, en la vecindad de la frecuencia de resonancia de la figura 7, tenemos una derivada negativa del índice de refracción respecto a la frecuencia. Esta zona de frecuencias se llama de *dispersión anómala*, y de acuerdo a la ecuación (12), el índice de refracción de grupo es menor que la unidad, lo que resulta en una velocidad de grupo del paquete mayor que la de la luz en el vacío, si el paquete tuviese su frecuencia central próxima a f_0 .

El problema es que, entorno a la frecuencia de resonancia, la figura 8 muestra que la absorción de la radiación es máxima. Esto determina que la luz se extinga completamente en el material y el concepto de velocidad de grupo carece de sentido en este caso. Dicho de otra forma, el material es completamente opaco para la luz de frecuencias en la vecindad de f_0 .

En esto se basa la espectroscopía de absorción. Si se hace incidir luz blanca (luz de

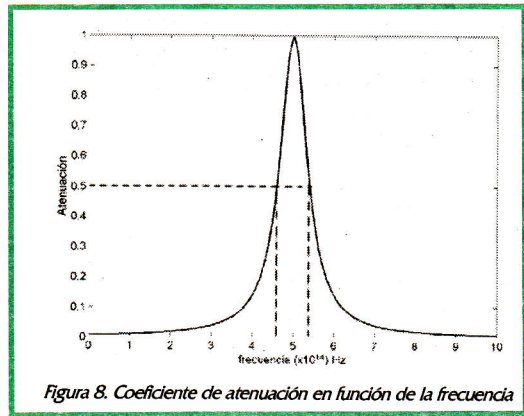


Figura 8. Coeficiente de atenuación en función de la frecuencia

amplio espectro de frecuencias) sobre el gas, y a la salida del mismo se observa el espectro con una red de difracción, se observarán todos los colores en forma continua, con excepción de una raya oscura justamente a la frecuencia f_0 . El grosor de esta línea oscura está dado por los valores de las frecuencias f_1 y f_2 que determinan el ancho de la curva de absorción de la figura 8 (aproximadamente 1×10^{14} Hz).

Para resolver este problema, deberíamos lograr una región de dispersión anómala en el material, pero sin absorción de la luz en ese intervalo de frecuencias. Esto se resuelve con lo que se llama la *ganancia asistida* para la propagación de la luz en el material.

5- Sistema con dos transiciones

Antes de estudiar el fenómeno de la ganancia asistida, veremos el caso de un material con dos líneas de absorción próximas.

Como se sabe, los estados posibles de un electrón en un átomo o molécula son muchos. Cuando a diferentes estados corresponden diferentes valores de energía, existen varias frecuencias de resonancia diferentes en el material (una para cada transición posible).

Si hay dos estados excitables próximos con energías E_1 y E_2 , y un estado base con

energía E_0 donde se encuentra normalmente el electrón, entonces éste puede absorber una radiación electromagnética de frecuencia f_1 , tal que

$$hf_1 = E_1 - E_0 \quad (13)$$

donde $h=6.62 \times 10^{-34}$ J.s es la constante de Planck.

En este caso, muchos de los electrones que están en el estado base (que indicaremos como $|0\rangle$) absorben los fotones de la radiación y pasan al primer estado excitado (que indicaremos como $|1\rangle$). Esta situación se muestra esquemáticamente en la figura 9. Si solamente existiera esta transición, obtendríamos las curvas del índice de refracción de la figura 7 y de atenuación de la figura 8 centradas en esta única frecuencia de resonancia f_1 dada por la ecuación (13).

Sin embargo, existe la posibilidad de transición de los electrones del estado base $|0\rangle$ al otro estado excitado $|2\rangle$, como se ilustra en la figura 9. Esta transición tendrá lugar si se ilumina el material con una frecuencia f_2 tal que

$$hf_2 = E_2 - E_0 \quad (14)$$

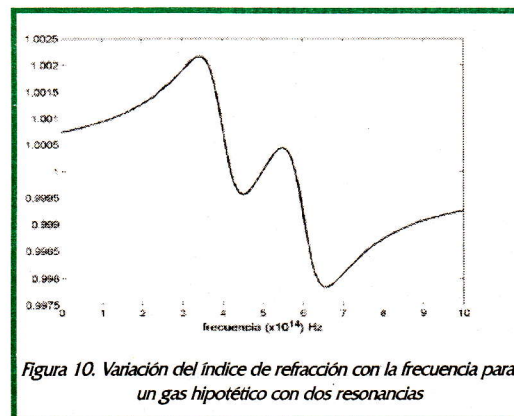
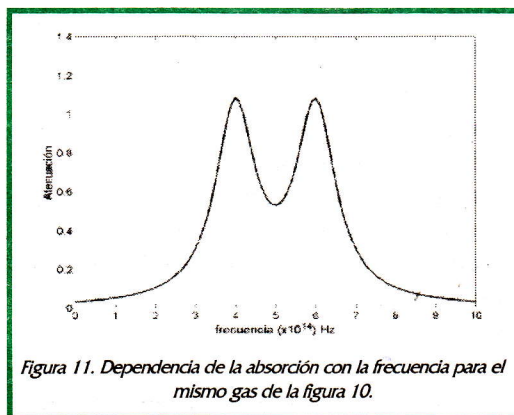
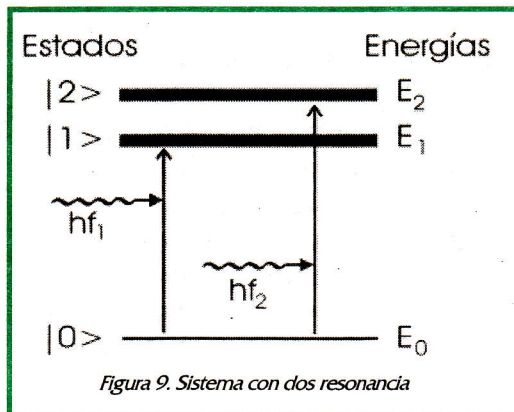
donde E_2 es la energía del estado excitado $|2\rangle$. A esta transición le corresponde una frecuencia de resonancia f_2 y una dependencia del índice de refracción y atenuación como las de las figuras 7 y 8 centradas en esta frecuencia.

La linealidad de las ecuaciones involucradas hace que la dependencia del índice de refracción y de la atenuación total de este sistema con dos transiciones posibles, sea la suma de las dependencias individuales para cada frecuencia de resonancia. Esto resulta en la suma de dos gráficas similares a la de la figura 7 para el índice de refracción, pero centradas en diferentes frecuencias de resonancia. Lo mismo para la gráfica de la figura 8 para la atenuación.

En la figura 10 se muestra la variación en el índice de refracción con la frecuencia para este sistema. En la figura 11 se muestra la variación de la atenuación con la frecuencia.

Las frecuencias de resonancia para el gas hipotético de las figuras 10 y 11 fue fijada en 4×10^{14} Hz y 6×10^{14} Hz.

Obsérvese en la figura 10 que el sistema tiene ahora dos dispersiones anómalas y tres dispersiones normales. Para poder observar velocidades de grupo mayores que la de la luz en el vacío, sigue subsistiendo el problema de que las dispersiones anó-



malas en la figura 10 se presentan entorno a las frecuencias de resonancia. De acuerdo a la figura 11 la atenuación de la onda es máxima en estas regiones.

En la figura 11 vemos que existe, entre ambas resonancias, una región de atenuación no muy severa (≈ 0.8) que permite el pasaje de luz con frecuencia alrededor de 5×10^{14} Hz. Pero precisamente en esta zona, la figura 10 nos muestra que la dispersión es normal, por lo que la velocidad de grupo será menor que la de la luz en el vacío.

En lo que respecta a la espectroscopía, la situación presentada con esta simulación de un sistema de dos transiciones corresponde a las rayas dobles de absorción que se muestran en los gases. A veces tan próximas que no es sencillo separarlas, como se puede deducir de la observación de la figura 11, suponiendo que los dos picos de absorción estuviesen aún más próximos entre sí. En este ejemplo simulado, la separación entre ambos picos es de $6 \times 10^{14} - 4 \times 10^{14} = 2 \times 10^{14}$ Hz.

6 - Ganancia asistida

El fenómeno de absorción ocurre porque los electrones se encuentran originalmente en el estado $|0\rangle$ de la figura 9, y para pasar a los estados excitados $|1\rangle$ y $|2\rangle$ deben absorber fotones de la radiación a las frecuencias correspondientes a esas transiciones, según las ecuaciones (13) y (14).

Sin embargo, si logramos hacer que el sistema *emita* radiación a dos frecuencias próximas f_1 y f_2 en lugar de absorberla, convertiríamos la *absorción* en *ganancia*.

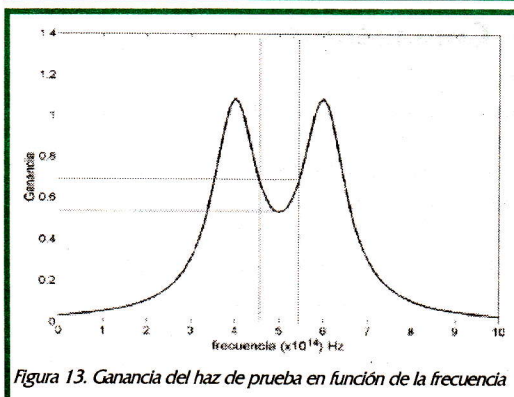
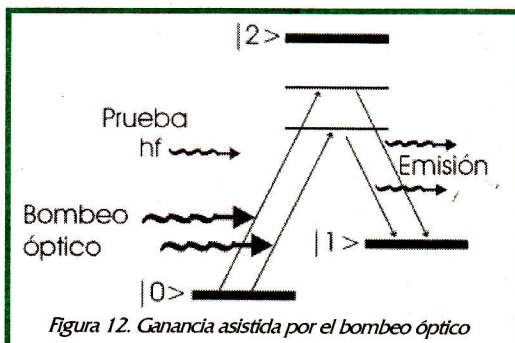
Esta situación se puede explicar cualitativamente en un sistema con niveles de energía mostrados en la figura 12.

Se irradia el sistema, con sus átomos en cierto estado base $|0\rangle$, con dos ondas continuas y potentes (llamadas radiaciones de «bombeo óptico») a frecuencias ligeramente

diferentes f_1 y f_2 , cuidando de que ninguna de estas frecuencias provoque alguna transición atómica (a los estados $|1\rangle$ o $|2\rangle$ de la figura). En estas condiciones los átomos permanecerán aún en su estado base $|0\rangle$.

No obstante, si se irradia el sistema con un pulso de baja intensidad y de frecuencia central f (haz de prueba), se pueden estimular a los átomos en el estado $|0\rangle$ para que absorban un fotón de alguna de las dos radiaciones de bombeo subiendo a ciertos estados intermedios indicados en la figura 12. De allí caen al otro estado base $|1\rangle$ emitiendo radiación. Esta emisión es más intensa cuando el pulso de prueba tiene las frecuencias f_1 o f_2 .

Lo interesante de esta nueva situación, es que los picos de absorción de la figura 11 se convierten en picos de ganancia (figura 13), y la gráfica del índice de refracción de la figura 10 resulta simétrica respecto del valor $n = 1$ (figura 14). Observando la gráfica de la figura 14, vemos que en



la región alrededor de la frecuencia de 5×10^{14} Hz existe dispersión anómala ($dn/d\omega < 0$), la cual es, por otra parte, bastante lineal ($d^2n/d\omega^2 \approx 0$).

Esto implica que podamos expresar el índice de refracción en la vecindad $\omega_0 = 2\pi \times 5 \times 10^{14}$ de en la figura 14 con una aproximación lineal

$$n \approx \alpha(\omega - \omega_0) + 1 \quad (15)$$

donde α es la pendiente de la gráfica en $\omega = \omega_0$. Utilizando la definición (7) del índice de refracción en (15) y el hecho de que $c = \omega/k$, resulta

$$\frac{c_0}{c} = c_0 \frac{k}{\omega} = \alpha(\omega - \omega_0) + 1 \quad (16)$$

de donde

$$c_0 k = \alpha(\omega - \omega_0)\omega + \omega \quad (17)$$

Derivando dos veces la (17) respecto de k , encontramos que

$$0 = 2\alpha \frac{d^2\omega}{dk^2} \quad (18)$$

De acuerdo con lo dicho respecto a la expresión (5), esto determina que un paquete de ondas con frecuencias en este intervalo entorno a ω_0 no se deforme, aparte de que viaja con una velocidad de grupo mayor que c_0 por encontrarse en la zona de dispersión anómala.

Observando la gráfica de la figura 13, vemos que en esa misma zona de frecuencias, la ganancia es suficientemente elevada (entre 50% y 70%) como para no extinguirse el pulso en su viaje por el material.

7- Conclusiones

Los hechos a destacar en este trabajo experimental de Wang, Kuzmich y Dogariu son fundamentalmente dos. Por una parte, la casi nula deformación que sufre el pulso en su viaje permite considerar que se trata *del mismo pulso*, lo cual no significa otra cosa que transmite a la salida la misma información que tenía a la entrada. De otra parte, el pulso viaja a velocidad de grupo mayor que la de la luz en el vacío, lo cual parecería significar que se pue-

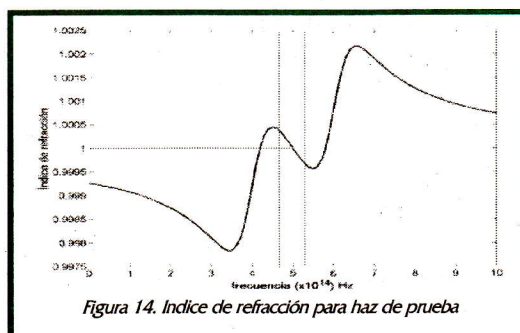


Figura 14. Índice de refracción para haz de prueba

de transmitir información a velocidades mayores que la considerada límite en la Física actual. Los propios autores insisten en que sus resultados no contradicen la Física actual, porque se basan en las propias ecuaciones que regulan la propagación de las ondas electromagnéticas en la materia, y, por lo tanto, no pueden violar la causalidad. No sé si se puede atar tan estrechamente la causalidad a la Teoría Especial de la Relatividad.

Existen otras salidas posibles que mantengan la Relatividad, como que la velocidad de transmisión de la información no sea la del «centro del paquete», sino alguna otra velocidad vinculada al paquete pero que se mantenga menor que la de la luz en el vacío.

De todas formas, los propios autores reconocen al final de su trabajo que «las implicaciones del presente experimento sobre propagación de señales y su velocidad deben ser posteriormente analizados, particularmente para el caso en que el pulso de luz consiste en solamente unos pocos fotones.»

8 - Bibliografía

- L. J. Wang A. Kuzmich and A. Dogariu, "Gain-assisted superluminal lighth propagation", Nature, Vol. 406. 20 July 2000, pp. 277-279
- Hetch y Zajac, Óptica. Fondo Educativo Latinoamericano (1977)
- Cohen-Tannoudji, Diu, Laloë. Quantum Mechanics. (Complement A_{XIII}). Jhon Wiley & Sons (1977)
- L.Brillouin, Wave propramation and group velocity. Academic Press, New York (1960)
- A. M. Steimberg, R. Y. Chiao, "Dispersionless, Highly superluminal propagation in a medium with a gain doublet". Phys. Rev. A Vol 49, pp 2071-2075 (1994)

EDUCACIÓN en FÍSICA

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay
Volumen 6 Número 3

Diciembre, 2000

S u m a r i o

CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN

CÓMO ENVIAR SUS TRABAJOSpág. 2

DE LA SIMETRÍA A LA PERMANENCIA (PRIMER CONTACTO)

Gustavo Carbonellpág. 3

SENSORES

Pablo Garateguypág. 5

CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSASpág. 8

CAOS (NUEVA CONTINUACIÓN)

Enrique Inzaurrealdepág. 9

MODELOS Y SIMULACIONES COMPUTACIONALES EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Hugo Alberto Kofmanpág. 13

LIBROS COMENTADOS

Daniel Baccinopág. 23

ESPACIO DE A.P.F.U.pág. 24

FÍSICA DEL HUMORpág. 26

PREPARANDO SEÑALES DE SONIDO

PARA ACTIVAR LA INTERFACE CASSY (Segunda Parte)

Edgar Gómez y Mariel Mayeropág. 27

EN UNA OPCIÓN PARA LA ENSEÑANZA DE LA DINÁMICA ELEMENTAL, POR QUÉ, PARA QUÉ Y CÓMO REALIZAR E INTERPRETAR EL DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE COMO UN CONTENIDO PROCEDIMENTAL

Silvia Ragout de Lozano y Marta Cárdenaspág. 31

LA RADIACIÓN Y EL ÍNDICE DE REFRACCIÓN

Mario Guerrapág. 41

CIENCIAS INTEGRADAS

Patricia Linnpág. 48

W E Bpág. 51

VELOCIDAD DE GRUPO SUPERLUMINOSA EN ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Ismael Nuñezpág. 53