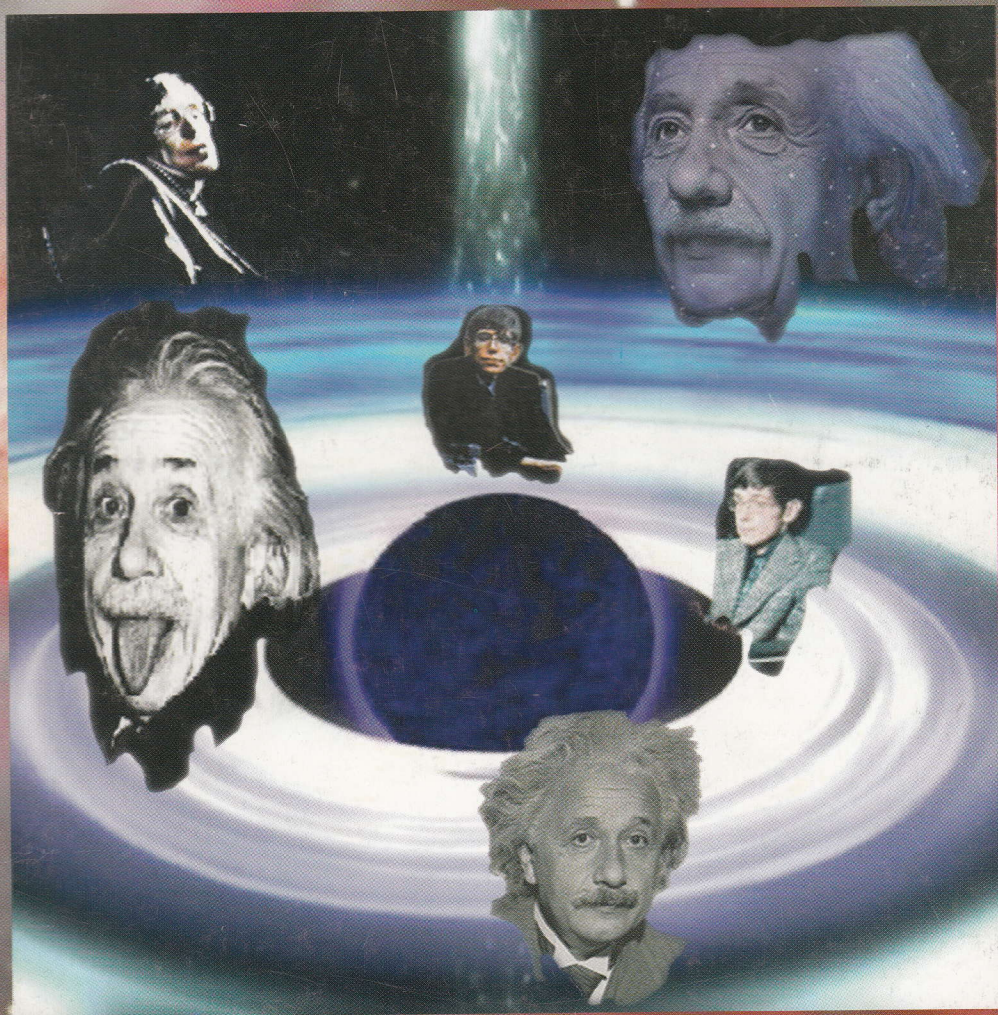


EDUCACIÓN en FÍSICA

ISSN: 0797-9045

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay





EDUCACIÓN EN FÍSICA

Volumen 6 N° 6
Setiembre 2002
Depósito Legal:
299222 / 02

Redactor Responsable:
Sandy Ramírez

Consultores de Redacción:
Mario Guerra
Anna María Cossio
Wellington Mazzoti

Colaboraron en este número:

Ana Piccinino
Adriana Echarte
Álvaro de Souza
Eduardo Cardinal
Adriana Machado
Alejandra Delgado
Daniel Baccino

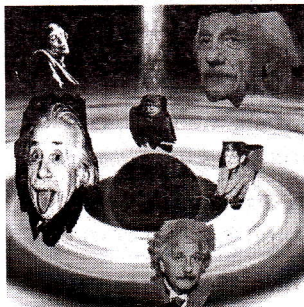
Educación en Física es una revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay, que se distribuye gratuitamente entre sus socios. Precio: U\$S 5

Comisión Directiva de A.P.F.U
Zoraida Viera. Presidenta
Claudia Varaksa
Gustavo González
Federico Manzione
Javier Ávila

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.:Ed. amparada por Decreto 218/996



Portada: Portada composición
Agujero negro - Einstein - Hawking

EDITORIAL

Estimados colegas y lectores, estamos aquí nuevamente a pesar de todo; esta vez con pocos recursos humanos, pero con muchas ganas de seguir apostando a lo nuestro.

Esta edición tiene una carga emotiva importante en sus primeros artículos, pues a comienzos de este año estábamos muy en guardia frente a algunos trascendidos de prensa y de otras fuentes; lo cual hizo que el encuentro, resuelto y aprobado en la Asamblea de nuestra Asociación realizada en Durazno, se "*cargara*" con mucha energía, misma que se volcó en las jornadas realizadas en Paso Severino este pasado mes de marzo. En las mismas se discutieron con muchísima profundidad, seriedad y concentración; variados temas referentes a nuestro rol docente; se anotaron muchos ítems que contribuirían al mejoramiento de la labor y se rescató con gran vehemencia el papel que juega la enseñanza de la Física en la formación integral de los individuos.

El trabajo realizado no culminó ahí, sino que fue continuado con distintas acciones que han sido y serán resueltos e informados por los otros ámbitos de nuestra A.P.F.U. El documento emergido en aquellas jornadas está en la punta de un iceberg de mediana complejidad de los muchos que hoy, creemos, existen en nuestro sistema educativo.

Seguiremos apostando desde nuestra labor, con toda nuestra voluntad, por un mejoramiento en la enseñanza de la Física y mayor profesionalización docente.

Que la Física los acompañe, hasta la próxima.

La Redacción

CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN

Como es sabido por los docentes de nuestro país en general, está en marcha el proceso para una reforma del segundo ciclo de nuestra enseñanza media. No es extraño que los docentes de todas las disciplinas manifiesten sus deseos de participar, opinar, incidir y ser parte de los cambios que se vienen.

Damos entonces especial cabida a lo que, desde nuestra disciplina particular, podemos aportar a la discusión sobre la importancia y relevancia de la enseñanza de la Física, incluyendo al inicio de la misma, los *"resúmenes"* en *"crudo"* de las conferencias que tuvieron lugar en Paso Severino el pasado marzo del corriente año.

Agregamos además un artículo sobre Formación en Valores, un tema que ha despertado grandes polémicas desde hace bastante tiempo y para lo cual vienen siendo instruídos un grupo importante de Profesores. El mismo está escrito por una de las Doctoras que concurrió a nuestro país, junto con un grupo amplio, para asesorar sobre el tema.

Por supuesto, no dejamos de incluir artículos de nuestros profesores que, por suerte, siempre están dispuestos a colaborar con sus aportes, observaciones y colaboración.

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, edi-

torial 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

Conferencia

“La Enseñanza de la Física a nivel medio en el Uruguay”

Prof. Gustavo Klein. I.P.A.

Nota de redacción: la presente se incluye tal y cual fue recibida para preservar el espíritu original, aunque cabe destacar que ya en conferencia, la discusión, las preguntas y las diversas intervenciones, enriquecieron y ampliaron muchos de los conceptos e ideas vertidos aquí.

1.- Agradecimientos:

- A la APFU.
- A los profesores de Física
- A los que impusieron la Reforma.

2.- Precisiones:

- a. Fui notificado de la participación en la Conferencia hace 3 días. Por deformación profesional demoro 3 días para contestar una pregunta planteada por los alumnos. Para armar una Conferencia demoro más.
- b. Uno de los materiales que ustedes van a utilizar fue elaborado por mí. Es bueno precisar que es mismo fue elaborado de apuro, por lo tanto, como cualquier material debe ser tomado con “pinzas”.
- c. Pido disculpas a algunos ex estudiantes del IPA porque van a escuchar discursos ya conocidos.
- d. No voy a ser “neutral” frente a la propuesta dominante. Trataré de ser “objetivo”.
- e. Dado que no pude dialogar previamente, quizás lo que diga no es lo esperado por la Comisión.
- f. Como observaran los 20 minutos no me alcanzan para hacer mi exposición. Pero trataré de ser breve, en caso de dudas las preguntas son muy importantes.
- g. Unido a lo anterior, en función de mi planificación, me es imposible desarrollar todos los temas manejados en el material pero quedan “escritos” para ser leídos en otro momento,

3.- Aclaraciones:

La denigración de la labor docente, en los ámbitos que sea, tiene una serie de arquetipos que muchas aceptamos acriticamente. Creo importante indicar que debemos ser cuidadosos en como nos ubicamos:

1. Mostrar que somos docentes pero no corporativismos estancos. Que la conclusión no sea: “Dicen esto porque son profesores de Física y quieren salvarla.” Lo cual es cierto pero en función de una fundamentación pedagógica – didáctica.
2. Por la situación económica – social, estas reuniones sirven para acumular las penurias y las dificultades de nuestro trabajo. Las reuniones no pueden ser (sólo), a nuestro parecer, catarsis colectivas. Es necesario construir propuestas en función de determinados marcos de referencias que engloban algo más que la “Enseñanza de la Física”.
3. No podemos esperar que esta conferencia, como ninguna otra, dé solución a todas nuestras preguntas. La realidad es muy dinámica, cambiante, que son respuestas transitorias para caminar.
4. Discutir, hacer propuestas y que sean aceptadas parecen ser los objetivos del Congreso. Si mi trabajo es un aporte me quedo satisfecho.

4.- Introducción:

- a. El papel de la Enseñanza de la Física, su rol, encuentra ligado estrechamente a la función que debe cumplir la educación, quién la dirige y hacia quién se dirige. Así en la Edad Media el hombre tenía una función estrictamente deter-

minado, su papel está determinado por el contexto donde nace y, en el mejor de los casos, servía para la guerra o para la religión. Para lo primero no necesitaba estudios, para lo segundo se esperaba una formación teológica. En ambos casos la Física no formaba parte de su instrucción. Al consolidarse el Estado democrático, el hombre es un ser político, un ciudadano donde su principal obligación es votar bien. En formas superiores o es político ("el presidente" o un profesional universitario ("M'hijo el doctor"). La idea de progreso, la capacidad de analizar racionalmente la realidad, la explicación y el mantenimiento del mundo a través de leyes (sociales y naturales) dentro de una visión positivista hacen de la Física (en su visión newtoniana) una de las asignaturas esenciales del currículum. Hoy ya no es así en el discurso oficial...

- b. La Enseñanza de la Física, como parte de la educación depende del contexto socioeconómico y cultural donde se ubique. Nuestra educación se mueve dentro de un espacio temporal de Reformas Educativas en la región latinoamericana desde fines del siglo XX que se continuarán durante la década presente. La misma afecta directamente a dos ámbitos: Educación Secundaria Pública Formal y la Formación Docente (especialmente para este nivel). Estas reformas se introducen dentro de una gran crisis, lo cual supone una transformación, del sistema capitalista. La misma se denomina "Neoliberalismo" en los aspectos socio económicos y "Posmodernidad" (conservadora) en lo cultural. Nosotros veremos sintéticamente como se manifiesta la misma en la región y en especial el Uruguay.
- c. Características del Neoliberalismo – Posmodernidad:
 - La priorización de lo económico financiero sobre lo social, cultural o política
 - Crisis económica del Estado Benefactor
 - Participación del Mercado privado empresarial financiero dirigiendo las diferentes actividades humanas.

- Fragmentación societal que diluye las llamadas capas medias.
- Flexibilización laboral. El trabajador trabaja más para ganar lo mismo peor debe estar contento que trabaja.
- Búsqueda de la satisfacción inmediata de las demandas consumistas.
- Predominancia de los servicios sobre los sistemas fabriles.
- La intervención directa de los organismos internacionales fijando pautas de lo correcto y lo incorrecto (Como la CEPAL, el BID o el Banco Mundial).
- La Posmodernidad que supone la pérdida de una cultura modernizadora para las mayorías y una modernización excesiva para unos pocos (todos somos iguales pero algunos somos más iguales)
- La globalización de visiones mesiánicas neoconservadoras y de derecha, con escasas alternativas reales de contrapeso a estas visiones.
- El exilio de los grandes relatos (progreso, un mundo igualitario, la superación de la pobreza, etc.).
- Para los nuevos estereotipos, el hombre es flexible, vive dentro de la incertidumbre y su personalidad se encuentra en constante mutación.
- El individuo Adán, homocentrista, individualista y buscando la seguridad en pequeños grupos (los equipos de gestión y relacionamiento) y la misma se expresa en la posibilidad de comprar – consumir para contrarrestar los efectos anteriores, El hombre debe buscar la satisfacción donde el sexo y el cuerpo joven es la expresión.
- El simulacro, lo virtual y lo aparente es más importante que lo real.
- EL discurso se modifica según a quién se dirija, de uno altamente racional, excluyente centrado en lo tecnológico – científico a un discurso irracional, afectivo, subjetivo diluido para muchos.
- d. En la educación... En el ámbito educativo estos aspectos tienen una serie de elementos a considerar. Los mismos se engloban en lo que se llama paradigma tecnoeconomicista de la educación. Este

traduce una educación en función de lo económico (Formación de recursos humanos, participación directa de la actividad privada, fondos a la educación según la situación del Mercado, fortificación de una mentalidad consumista, adaptación y flexibilidad de la educación frente a las demandas, en especial del Mercado de empleos, búsqueda de la competitividad), que se expresa en reformas que recorren América Latina, y el mundo, durante la década del 90. Mencionaremos, para el caso latinoamericano, las características más destacadas de estas reformas en los diferentes documentos elaborados en esa década (aunque no todas ellas aparecen en todos los países):

- a. La misma pretende tener un carácter "refundacional" o "mítico" (como lo llama Moulian). Su reforma es la mejor reforma, la más profunda y pretende solucionar todos los problemas que las reformas anteriores no pudieron solucionar dentro de un contexto de crisis "casi existencial".
- b. Se basa en un enfoque de gestión empresarial aplicada al campo educativo que supone diagnósticos de mercados, campañas publicitarias, recursos humanos dentro de una estrategia de marketing (el producto se debe "vender").
- c. Utilización, participación de docentes y estudiantes, adaptación al medio, alumno crítico, reflexivo frente a la realidad, entre otros).
- d. Dentro de este lenguaje introduce una serie de "ideas fuerza" como la calidad, la equidad y la eficiencia como ejes de la superación de la actual crisis educativa. En la traducción de las mismas es donde se observa el carácter tecnoeconomicista que mencionábamos antes, por ejemplo, la eficiencia se logra con una menor repetición o más egresados.
- e. La reforma es continúa, gradual y no tiene plazos establecidos, es por aproximación sucesiva. Esto supone una gran adaptabilidad de la reforma a los nuevos contextos e impide una crítica en su conjunto.

- f. Afecta todos los niveles (escuela, formación docente, liceo) aunque los ámbitos de educación media y de formación docente son los preferidos.
- g. Es cooptativa con una gran selección del personal que es preparado para que se comprometa con la institución a la cual va a servir, separándolos de los "inadaptados".
- h. Es importante, en primera instancia, mantener el "antiguo" sistema para establecer una comparación permanente entre lo inadecuado y lo adecuado (IPA -CERP, liceo sin reforma junto a un liceo de reforma).
- i. Promueve la "descentralización" educativa donde cada región (e instituto) debe conseguir sus propios apoyos financieros y que los docentes dependan de estas unidades para realizar sus reclamos, perdiendo la posibilidad de actuar a nivel nacional.
- j. Evaluaciones nacionales masivas estandarizadas del producto y el proceso en el curriculum, la institución y los diferentes actores educativos (padres, docentes, estudiantes) dentro de una aparente cientificidad.
- k. El Estado, que es el gran reformador, modifica sus roles, subsidia a los sectores medios que terminan reforzando algunas instituciones privadas, deja libertad de acción a las instituciones educativas privadas de jerarquía (diversificación de la oferta educativa) y se dedica sólo a los "sectores carenciados" a través de un discurso de la equidad, limitando de esta forma su accionar a ámbitos sociales más reducidos.

5.- La Enseñanza de la Física ¿Razones para desaparecer?

- a. Cuando nosotros vamos, ellos vuelven. La reforma educativa uruguaya coincide con el resto de la realizada en América Latina pero sus propuestas en Planes y Programas están desfasadas negativamente con los países de mayor peso en la región. Mientras que Brasil y México (y Espa-

ña) dejaban de lado las "Ciencias Integradas", Uruguay, importando desde Argentina, la imponía. La razón es modificar lo existente pero no partir de una investigación de lo ocurrido en otros contextos.

- b. La justificación al exilio de la Enseñanza de la Física en los planes actuales se encuentra en dos argumentos que pasaremos a desarrollar. Creemos que ambos se basan en la "ignorancia" de las autoridades (tecnócratas superiores) sobre la Física y su enseñanza. Uno de los argumentos es la necesidad de disminuir el número de las asignaturas en el Ciclo Básico y el otro es la escasez de egresados del IPA.
- c. La disminución de Asignaturas.
 - No corresponde a la realidad sociológica del alumno hoy.
 - Supone una infantilización (escolarización) del nivel medio
 - Tercer año. El plan se adapta a las necesidades. Biología se desintegra. Química y Física en la ensalada. Si se sabe preparar se digiere rápidamente y hasta puede ser una mezcla rica. Si observa que sucede a largo plazo, la mezcla no sirve, con elemento bien diferenciados, algunos docentes hablaran del aceite, el inicio del programa, y otro del final el vinagre.
 - Esto no justifica la unión de Física y otras asignaturas pueden ser otras y para tercer año podemos separarlas.
- d. Los pocos egresados del IPA.
 - Esta última justificación puede ser una justificación válida dado el 16% de egresados pero...
 - El mestizaje docente como elemento positivo. Los docentes de Física son muy particulares, con formaciones muy diversas, cuidadosos en lo conceptual, donde un mayor igualitarismo entre los pares, en general con un mayor compromiso social y que participa en la Reforma a diferencia de las otras asignaturas.
 - ¿La única medida de lo correcto es el título docente? Creo firmemente que el que trabaja en la docencia debe tener el

título de docente pero hay muchos docentes que sin tener un título por alguna razón como puede ser el acceder al Instituto que son buenos docentes, que saben mucha Física o ambos aspectos. Por otro lado el título se valora en función de la formación recibida. Un ejemplo es la formación didáctica. En el IPA existe una diversidad tan grande que las diferentes propuestas aparecen hasta contradictorias pero todas tienen un eje fuertemente disciplinar. Pero en los CERP, el profesor de Didáctica es un tutor sin formación específica en la disciplina y la práctica se realiza en un curso que no coincide con el que desarrollará el futuro docente. Por ejemplo un futuro docente de la mención Física tiene un tutor formado en Biología en grupo de Ciencias de la Naturaleza de 1er. Año. La didáctica dada por los directores de los IFD del Interior es más absurda.

- Los egresados. Desde la década del 90 los egresados del IPA en Física cubre gran parte del país especialmente en la zona metropolitana.
- Existe una gran cantidad de estudiantes en el Interior con una o dos asignaturas para recibirse. Los mismos siguen estando abandonados.

6.- Constructores en el "corralito".

- a. Muchas veces, por parte de los técnicos "reformistas", se plantea que el resto de los docente no proponen alternativas a la situación actual. El aislamiento y el desconocimiento por parte de los docentes, unido a un espíritu hipercrítico que resulta limitante nos lleva a confirmar (aunque sea pasivamente) esta expresión. La realidad no es así...
- b. El camino se hace al andar.
 - La posibilidad de ser profesor de Didáctica nos permite poder visitar a los docentes y observar como se elaboran las guías para los estudiantes con un mayor nivel conceptual que otras guías elaboradas con papel fino.

- En otro ámbito la realización de estos congresos es un momento de reunión y intercambio de experiencias o la misma revista de la APFU puede ser otro ejemplo.
- En el año 2000 un conjunto de profesores de la especialidad Física presentó, a pedido de las autoridades y MESYFOD, un proyecto de intercambio docente, especialización y formación a partir de la red de Internet utilizando la página Web de la Dirección de Formación y Perfeccionamiento Docente. Hoy el proyecto fue rechazado y la línea telefónica del Laboratorio para tal fin desconectada.

c. Propuestas:

- Existe una actividad que debería realizarse junto a la Inspección y es investigar cuánto docentes formados en Física trabajan en 3er. año del Plan 96, que porcentaje del programa dedicada a la Física se cumple y con que conocimiento los alumnos llegan a 4to año.
- También debería existir mecanismos de intercambio entre las diferentes realidades de Montevideo y las del Interior.
- A su vez, el sistema tiende a la Enseñanza Media como unidad superando Secundaria y UTU, los docentes deben integrarse para observar las diferentes realidades.
- Los docentes que saben apoyarse y dialogar sobre sus clases, debemos aprender a visitarnos.- Esto enseña mucho al observado y al observador.
- Necesidad de un "mapa docente" sobre los profesores de Física, su formación, la relación efectivo/interino, la antigüedad en el sistema, las necesidades futuras en la enseñanza.
- Por último es fundamentar el Ayudante Preparador. Es el puente de comunicación entre los estudiantes y el docente, los docentes entre sí y entre los docentes y la institución. Creemos que su pérdida es la desaparición de un referente para la asignatura.

7.- Conclusiones o ¿Por qué enseñar Física?

a. Aclaraciones:

- Por el planteo anterior surge que no existe ninguna asignatura o disciplina de conocimiento que sea imprescindible en el Plan de Estudios (El ejemplo del Latín es muy claro). Aún Idioma Español podrá obviarse en un futuro de teleinternet.
- El mantenimiento o la eliminación de una asignatura no debe tener requisitos científicos. La ignorancia de la asignatura puede ser la justificación más creíble para eliminarla en algunos casos.
- La pregunta surge no de una inquietud platónica de los docentes sino justamente por la sensación que la misma está moribunda.

- b. Lo anterior supone que la justificación pasa por una infinidad de aspectos pero ¿que justifica que la Física se enseñe hoy a nivel medio? La cuestión no es pensar "¿qué "cosas" sólo puede aprenderse a través de la Física?" sino "¿qué aportes realiza la Enseñanza de la Física al estudiante, la ciencia y el contexto cotidiano?". Para responder a esta pregunta hemos realizado divisiones ("arbitrarias" por supuesto) para justificar la importancia de la Enseñanza de la Física:

• **El modelo**

La Física es una de las asignaturas que permite la elaboración de un modelo de interpretación y predicción a partir de base racional en su relación concreta con la realidad.

La construcción de modelos físicos permite la presunción de la existencia de otros modelos en otras ramas del conocimiento, con otros parámetros pero... Estos modelos, bien elaborados, permitirían esquemas liberadores frente a dogmatismo, misticismos o propuestas pseudocientíficas.

En situaciones menos extremas, permite actitudes y acciones críticas para justificar lo que se realiza por parte del estudiante y el medio. Lo subjetivo es limitado por planteos más objetivos de la realidad.

• **Los estudiantes y lo cotidiano**

A partir del estudiante, la Física permite explicar fenómenos cotidianos que otras asignaturas lo decretan.

La Enseñanza de la Física permite una discusión constante con el estudiante con respecto a las diferencias entre un lenguaje científico y uno cotidiano.

La Física asume un rol fundamental como elemento de construcción de la psicología del alumno. De allí que gran parte de las investigaciones constructivistas partan de situaciones físicas.

• **Sociedad y Ciencia**

A pesar que se considera a la Física como suprahumana, la misma permite el pasaje desde problemas dentro de contextos globalizados a problemas particulares y viceversa.

Gran parte de los “problemas” y soluciones del Medio Ambiente actual pasan por una correcta aplicación de los conocimientos físicos.

A través de la Física se puede observar una integración entre Ciencia – Tecnología y Sociedad como puede ser la visita a Fábricas o el funcionamiento de una cámara.

La Física permite comprender hechos sociohistóricos a partir de la evolución de la misma (Watt para la revolución industrial).

La Enseñanza de la Física influye en el desarrollo económico de un país (especialmente en un sistema del tipo fabril). Resolución de Problemas. A través de la Enseñanza de la Física se pueden plantear problemas desde muy simples hasta con gran complejidad, con un gran nivel de abstracción hasta problemas de resolución “cuasi intuitiva”, desde problema altamente cualitativos hasta situaciones cuantitativas. Y, a su vez, la mezcla de los mismos.

• **La Física y otras asignaturas.**

A través de la Física determinadas asignaturas como las matemáticas adquieren elementos de aprendizaje esenciales para su comprensión (Ejemplo Gráficas).

La Física es la asignatura base (“primiti-

va”) de otras ramas del conocimiento como la Química y la Biología.

Unido a lo anterior, la Física es la asignatura ideal para plantear las características de una Ciencia Natural en lo referente a la relación entre lo experimental y lo conceptual.

También la Física permite una gran interdisciplinariedad con asignaturas como Historia, Geografía, Astronomía hasta asignatura como Inglés o Literatura.

Existen vínculos muy estrechos con ramas de conocimiento como la Lógica y la Epistemología.

Relacionado con lo anterior, la Física es la asignatura puente ideal entre las dos ciencias, las naturales y las sociales.

***[Paréntesis Recto,** La importancia de la Física y la importancia en la humanidad no está en duda. Pero en su enseñanza ya se hecho un gran daño desde el momento que la misma se diluyó del Ciclo Básico. Carl Sagan en sus películas y en su libro preguntaba “¿cómo es posible que la ciencia de los griegos se perdiera durante siglos?” Fueron capaces de “medir” el radio terrestre o elaborar una teoría heliocéntrica pero fue olvidada. Él se lo atribuía a un hecho: La ciencia griega era de unos pocos para unos pocos. La burguesía que fundó los Estados Nacionales (representados, en el Uruguay, por Varela, Batlle, Eduardo Acevedo) creía que todos, independiente de su origen social, podían acceder a este conocimiento, formaba parte de una concepción democrática de la ciencia. Hoy al comenzar un nuevo siglo esto se ha perdido. Varela decía que la diferencia entre el tren francés y el norteamericano era que el primero era para pocos y el segundo para el pueblo. Hoy, en el mundo el tren es el medio terrestre por excelencia, en el Uruguay sirve para transportar vacas y palos...]*

• Por último, lo primero. Sólo a partir de la enseñanza de la Física se puede aprender una de las ramas del conocimiento humano más importante de la humanidad: La Física...

Gracias

“¿ Tiene Física algún rol formativo convincente que justifique su permanencia en el currículo de la Educación Media del Uruguay?” (o “el Ecclesiastés ¿volverá a tener razón?”)

Prof. Mario Guerra - Consultor de UNESCO

Prólogo

Ante la acción emprendida en la Reforma Educativa del País ahora en el Ciclo Superior y dada la comprometida situación en la cual se encuentra Física como disciplina curricular (ya seriamente lesionada por el disparatado Plan elaborado para del Ciclo Básico), creemos de importancia establecer lo que a nuestro juicio son razones fundamentales, que deberían ser tenidas en cuenta por los actuales encargados del currículo. No somos muy optimistas, si consideramos lo lamentablemente realizado en el Ciclo Básico, con el diseño de Ciencias de la Naturaleza y el papel que ha jugado Física, si es que tiene alguno.

En 1637, el considerado fundador de la Filosofía Moderna, René Descartes escribió su “*Discurso del método para bien conducir la Razón y buscar la verdad en las ciencias*”. Un intento racionalista, que entre otras cosas incluye la “Física Cartesiana”. Tal vez, sea algo de esto lo que esta faltando en esta hora oscura, para la Física del Ciclo Medio en el Uruguay.

Trataremos de explicar algunas de las razones por las cuales, a nuestro juicio y el de muchos, Física *debe ocupar* el sitio que siempre tuvo y que insólitamente, una generación de educadores, aparentemente no tienen en cuenta, al formular sus tesis reformistas.

1º) Razones Filosóficas

El pensamiento físico nace con el desarrollo del pensamiento positivo, tal vez alrededor del año 600 CHA. Los presocráticos, fueron exponentes señalados de esta forma de

pensamiento objetivo, vinculado a una inquietud inherente al Hombre: la explicación del mundo que los rodea, como explicación tal vez de sí mismo, y como recurso para el control de la Naturaleza. En consecuencia, al incluir Física en el currículo, con la carga horaria que *debe tener, al resaltar su importancia formativa*, se pone al estudiante en contacto directo con formas de pensamiento muy caras al hombre civilizado.

Los sistemas filosóficos de los últimos 800 años, han girado, se han corregido y se han expandido, alrededor de ideas provenientes de las grandes construcciones intelectuales de la Física. *No es concebible, y no existe, una real sociedad culta, donde las Ciencias Fáticas, y la Física en forma primordial, no desempeñen un rol esencial, como fuente de problemas de interpretación.*

No esta de más, recordar aquí, una relevante opinión:

“Me parece casi milagroso que hayamos aprendido tanto sobre el mundo, aunque todo este conocimiento sea conjetural y esté plagado de problemas sin resolver que nos recuerdan constantemente cuán poco sabemos. Me parece que la Ciencia (es decir, la producción y contrastación de teorías acerca del mundo, acerca de la realidad) es la empresa más creativa de que sean capaces las personas, después del arte o a la par de él”

“El Mundo de Parménides”- Karl R. Popper - Ed. Paidós- Pág.204-

Es evidente, y no polémico, que los diseñadores de la Reforma, *no tienen este tipo de opiniones, ni dan la relevancia que corresponde a la Física como forma de*

pensamiento estructurado, que a su vez, presenta problemas a resolver, en estructuras epistemológicas más generales y profundas.

Construir un currículo no es un deporte, ni algo que se resuelva por el procedimiento de prueba y error. Hay parámetros que deben respetarse. Uno de ellos es que la acción educativa privilegia la formación integral y no la parcialización supuestamente utilitaria.

Que Física se encuentre desde los *orígenes* del pensamiento organizado en estrecha interacción con la Filosofía, esta en la esencia misma del pensamiento del Hombre y de los miembros pensantes de cualquier Sociedad que lucha por escapar de la barbarie y el retraso. Los más destacados pensadores del siglo XX, han dedicado obras enteras y bibliotecas completas al análisis, interpretación y explicación de los grandes modelos físicos. Para el especialista y para el hombre común que quiere participar de una Sociedad Culta. Citemos a Descartes, Leibniz, Spinoza, Hume, Berkeley, a los dos Bacon, Bertrand Russell, Alfred Whitehead, Karl Popper, Hans Reichenbach, Rudolf Carnap, Milic Capek... y al propio Albert Einstein. ¿Toda esta gente perdió su tiempo, dedicándose a "algo" que para los jóvenes del Uruguay *no vale la pena conocer y desarrollar*? Parecería que hay aquí, además de un acto de soberbia, un desconocimiento profundo. *Tal vez sea esto, y parezca aquello.*

2º) Razones Sociales

En las sociedades más dinámicas y progresistas, algo que **no se debe hacer**, es montar un sistema de conocimientos superficiales, acríticos, meramente instruccionales y requeridos solamente por las "necesidades del mercado" ó "el mundo del trabajo", como si esto fuera excluyente del buen hábito de pensar. Proceder así, es achicar el horizonte de oportunidades, y sustituirlo por una vorágine de momento, sin perspectiva y que tampoco trae soluciones de fondo ni

mayor felicidad. Porque proceder así, garantiza (cuando lo garantiza, que **no es siempre**) el trabajo de *hoy* y el de *mañana*. Seguramente, *pasado mañana* la información sucinta adquirida, sin formación, fracasará y generará un considerable problema social de exclusión, de personas acorraladas, sin perspectiva y con una meta no diferente de la angustia y la depresión. La solución esta probablemente, en una "media pesada", donde las "*ciencias en serio*" (no "*duras*" como se rotulan ahora), las que exigen esfuerzo, como todo logro genuino deben ocupar un lugar preponderante. Física es, *indiscutiblemente*, un recurso para una solución de ese espíritu.

Preparar *seriamente* en una Ciencia como Física, contribuye evidentemente, a que la mente se abra a nuevos aprendizajes, con solidez y competencia. El pensamiento de la Física, por su naturaleza crítica y rigurosa, ordenado, plausible y no rígido, genera un tipo de formación que todo individuo de una Sociedad en *progreso* debe tener.

Hacer lo contrario, es improvisar y cometer un error de graves consecuencias de futuro inmediato y mediano.

No es cierto, aunque esto se repita una y otra vez, que en los Países avanzados, este rol se haya debilitado. **Los Países desarrollados cuidan muy bien la calidad de su Educación y el nivel de la enseñanza científica y de la Física en particular. Hay que saber donde buscar la información para formar opinión correcta.**

A diferencia de nuestro proceder reciente, tratan de resolver el problema de cómo enseñar más Ciencia Básica de calidad a más gente, en menos tiempo. Los que creen lo contrario, deberían tener en cuenta, que sus opiniones entran en el juego de Países desde *donde se exporta el conocimiento, como valor agregado.*

En este sentido, los Países europeos, que tiene problemáticas esencialmente diferentes a la nuestra, y en general, a las que tienen las sociedades latinoamericanas, desarrollan sus Programas acordes a la necesidad de permanecer a la cabeza del cono-

cimiento. Esta inquietud se encuentra ya en los primeros estadios de la enseñanza formal. *No emparejan hacia abajo.*

Nadie puede pensar que la Industria de punta, la competencia feroz de los mercados, se puede mantener aboliendo la preparación en Ciencias Básicas, y menos en disciplinas como Física.

No hay que confundir soluciones intermedias para poblaciones de varios millones de habitantes, con nuestra pequeña Sociedad. Allí, hay un gran número de personas muy capacitada y otra apenas instruidas que cumplen tareas repetitivas. Importar las soluciones del sector relegado a las tareas rutinarias en las grandes poblaciones, a un medio como el nuestro, y descartar la buena preparación intelectual de nuestra gente, es firmar el certificado anticipado de defunción social, ante una muerte anunciada.

3º) Razones Históricas

Grandes períodos de la Historia, se relacionan directamente con el desarrollo de la Física. No es casual que las grandes construcciones de los Etruscos, descansen en complejos descubrimientos acerca de las propiedades de los fluidos, No es casual, que Arquímedes se ocupe de problemas físicos vinculados al Estado ó que Tartaglia, Benedetti y Galileo, se ocupen de la Mecánica de los proyectiles. No es casual, que la Revolución Industrial descansa en los aportes de la Termodinámica, ó que las sociedades textiles, se acrecienten a partir de los descubrimientos de la Mecánica. No se puede entender el Mundo de mitad del siglo XX, sin tener en cuenta la explosión del conocimiento fisico-cuántico. No se comprende el funcionamiento del mundo actual, de "dimensiones más pequeñas", por la aplicación del Electromagnetismo a las Comunicaciones. No es posible entender el abordaje del Cosmos, sin tener en cuenta la Mecánica de bajas velocidades, ó la Termodinámica Impulsional. No es

posible entender los descubrimientos que se han realizado en la Biofísica del miocardio, sin disponer de los modelos construidos a partir de membranas eléctricamente polarizadas que trata la Física de los Estados de Agregación. El *ascenso del hombre*, en los términos de Jacob Bronowski, es una historia ligada a los avances de la Física.

Ante esto, podemos adoptar, una actitud contemplativa, admirando los logros de los demás, mientras nosotros "jugamos a los educadores modernos". O por el contrario, reflexionamos sobre las dificultades que nos impone una Enseñanza científica de calidad. Si así fuera, si esta discusión se hubiera planteado en estos términos, hoy no estaríamos discutiendo sobre "el rol de la Física, en la Educación Media".

La evolución del Hombre sobre el planeta *no es solo sociología y política. Es en una gran medida Ciencia. Relegar una buena enseñanza de Física en el currículo, es un pecado de ribetes prometeicos, que quienes adhieran, seguramente lo hacen por desconocimiento.*

No es un problema menor, que luego se pueda reparar. Es una lesión sin retorno en lo inmediato. Un paso más hacia la dependencia cultural.

4º) Razones Formativas e Informativas

Que la Física, a pesar de las dificultades que plantea su enseñanza, es una disciplina esencialmente formativa, es un lugar común, en el cual no nos detendremos. Si nos detendremos, en la Física como base de Tecnologías y como generadora de nuevos problemas que provocan más desarrollo científico y más avance tecnológico. La interacción ciencia- tecnología, esta en la base del mundo contemporáneo. **No es aprendiendo lo que informa recetadamente la tecnología de turno, que se forma y capacita a un individuo. Debe haber un sustrato, un trasfondo de conocimiento serio, formal, de calidad, que sirva de soporte. No ha-**

cerlo, es lo mismo que creer que educar es sinónimo de manejar un automóvil. Educar no es equivalente a "otra cosa". Es una tarea autónoma por sí misma, con contactos estrechos con lo social, lo artístico, lo filosófico, y lo histórico. La Física, como pretexto formativo y por su esencia y nacimiento, encierra todos esos aspectos y atributos.

Cuando se incluyó Física en el currículo, se introdujeron aspectos educativos concretos unos, e intemporales otros. Si estos aspectos intemporales que tienen que ver con la formación intelectual de los jóvenes, no son tenidos en cuenta por quienes efectúan la Reforma, y no los consideran relevantes, **se están equivocando en algo crucial y socialmente lesivo.**

Lo hecho hasta el momento, no indica que vayan por el buen camino. Por el contrario, a pesar de las declaraciones públicas (cuando estas existen, porque una característica de este emprendimiento reformista ha sido el secreto ó decir algo y hacer otra cosa), las expresiones de deseo, las idas y venidas contradictorias, hay un avance claro hacia un panorama muy triste y angustioso para la juventud del Uruguay en lo que a Ciencias se refiere.

Llama poderosamente la atención, la liviandad con que se procede, la falta de rumbo, lo errático de los planteos y los errores garrafales de confección curricular cometidos. Aunque cada página de los documentos "reformistas" estén plagados de citas provenientes de Autores muy diversos. Muchos de los cuales, hoy opinan esto y mañana aquello.

5º) Razones Instrumentales

La Física contribuye con leyes y descubrimientos fundamentales, que forman base para *otras disciplinas*, en apariencia alejadas de su propio contexto. Algunos ejemplos aclaran el punto. A propósito *omitiremos todo aquello vinculado a las Comunicaciones, a los circuitos lógicos, a los "chips", a la Computación Cuántica, a los láseres ópticos*

y atómicos, a los superconductores, ..., por ser temas muy físicos y por tanto sospechosos para quienes sienten la necesidad de que se les explique por qué Física es importante.

- a) Hace una década, los economistas (hoy figuras tan relevantes dentro del marco social), estimaban que las grandes leyes macroeconómicas descansaban para su éxito, en la confianza de los mercados. Posteriormente, se agregó la información, como elemento complementario para el éxito de los emprendimientos económicos. ***Hoy, se sabe que existen variables que controlan las relaciones económicas,, que cumplen leyes provenientes de la Física no lineal y del Caos, que juegan un rol fundamental.*** Este es un tema esencial del campo físico que se extrapola hacia un terreno insospechado. Hoy no alcanza con conocer a Quesnay ó a David Ricardo ó a Keynes, para entender lo cambiante de las Bolsas de Valores. Hay que entender algo de Física, además de las teorías económicas.
- b) La Física del sistema nervioso, conforma un elemento fundamental para la comprensión de algunos fenómenos fisiológicos. El conocimiento de leyes básicas de la electrocinética, son aportes a la comprensión de modelos aplicados a sistemas altamente complejizados. En general, el estudio de los sistemas complejos que presenta la naturaleza, se analizan con recursos físico-matemáticos, lo que presupone una buena formación en estas áreas. Ignorar la Física dentro del currículo Medio, es transformar toda esa información de punta, en algo inabordable de una vez y para siempre.
- c) El estudio del comportamiento de la excitación eléctrica y la propagación de potenciales de acción en el miocardio, es un asunto específicamente vinculado a la Biofísica. La Biología actual, *no es lo que aparentemente piensan los elaboradores de los Programas de la*

reforma. Alcanzaría con que consultaran cualquier artículo de revistas al alcance de todos, para convencerse de ello. Sin Física, no hay modelos consistentes. Sin Física no lineal, no hay interpretaciones satisfactorias. Sin Física de los sistemas complejos, solamente hay descripciones superficiales.

- d) La Geología, la Paleontología, la Antropología nos dan datos de nuestro mundo pasado y remoto. Esos datos provienen de la aplicación sistemática de leyes e instrumental basados en leyes físicas. *Es probable que quienes crean que Física es suprimible ó reductible a la parodia, piensen que después del péndulo, las lentes delgadas ó la cámara oscura, no hay nada más.*
- e) No es posible realizar un estudio serio, riguroso de las estructuras atómico-moleculares, sin Física Cuántica; no es posible entender lo que ocurre en el Universo sin recurrir a modelos provenientes de la Física Relativista General ó las estructuras de supercuerdas.

Estos puntos que hemos enumerado (solamente algunos), no son conocimiento *exclusivo de especialistas como algunos creen*. Mucha gente competente, ha trabajado en diversos lugares del planeta, para interiorizar *razonablemente e interesar a sus estudiantes y a la vez motivarlos con temas de esta índole*. Mientras esto ocurre, aquí, discutimos sobre si "realmente Física debe ó no permanecer". Es claro que en todo esto hay un error garrafal.

Modernizar, no es trivializar. Es resolver un problema crítico: cómo acercar a nuestra gente los conocimientos de mayor calidad, habilitándolos para que "vuelen" solos hacia aquello que consideren más adecuado a sus posibilidades. Son los conocimientos los que dividen a las sociedades entre cultas e incultas, entre civilizadas y bárbaras. Si deseamos pertenecer a esta clase, sigamos formulando esa pregunta con rostro serio y de apariencia inteligente: **¿debe realmente la Física estar en**

el currículo de la Educación Media? No sobra el tiempo. Menos para tonterías. Tal vez, aun estemos a tiempo de reflexionar con serenidad, objetividad y sin limitaciones. Cuando se *enseña* Física y cuando se *estudia* Física, se conoce un mundo austero, que desarrolla un genuino sentimiento hacia lo bello y la simplicidad profunda de lo complejo. Y sobre todo, que desde ese pequeño espacio de la caja craneana de un hombre pueden surgir, las ideas e interpretaciones más increíbles sobre el mundo y su funcionamiento.

Finalmente, una reflexión muy cínica, y no precisamente en el sentido de Protágoras, que **no** se relaciona **directamente** con lo anterior, pero que sí tiene que ver con una parte del elenco que desarrolla el acto educativo: los Profesores.

Cuando se concreten las acciones que amenazan los planificadores de la Reforma, y los Docentes **que se han preparado para esta actividad**, *no tengan las horas de clase a las que legítimamente tiene derecho estatutario, ¿se les ofrecerá Informática,? ...ó... ¿algún taller de... alguna cosa útil pedida por el "mercado de trabajo" en la consideración de algún experto en futurología (que dicho sea de paso, se transformó en Ciencia cuando adoptó los modelos de la Física en el Instituto Hudson, dirigido por el genio precoz de Hermann Khann) y contratado a ese efecto?... ó... simplemente, ¿se les dirá que nada es para siempre, que alguien en el pasado debió advertirles que eligieron mal al dedicar su tiempo, su esfuerzo y su dinero para cultivar una "ciencia dura"?*

¡Qué lejos estamos de las afirmaciones públicas realizadas el 16 de octubre de 1996, en el anfiteatro del Museo de Historia Natural del IAVA! ¡cómo lo que se dijo que *no se iba a hacer*, si se esta haciendo!

Esperamos que **no se cumplan** las sentencias del "Eclesiastés", Capítulo 1, Versículo 9:

"Aquello que ha sido, es lo que será, y lo que se ha hecho, es lo que se volverá a hacer, pues no hay ninguna cosa nueva debajo del sol"

Los conocimientos de Física deseables para el ingreso a los estudios terciarios en cualquier área de las ciencias naturales

Dr. Ismael Núñez - Instituto de Física, Facultad de Ciencias

Nota de Redacción: *el presente es un Resumen de la exposición hecha en las Primeras Jornadas sobre "El rol de la Física en la Enseñanza Media", Paso Severino, 02/03/02. A.P.F.U.)*

La Física en Educación Secundaria Superior, como preparación para estudios terciarios en cualquier área de las ciencias naturales, debe cumplir dos requisitos fundamentales:

- 1) El conocimiento adecuado de los *contenidos* de la ciencia física básica.
- 2) El conocimiento adecuado *del método* científico que utiliza la Física.

Los contenidos

Los programas curriculares de Física en la enseñanza media superior son relativos y han ido variando con el tiempo, más en lo que respecta a la profundidad de los desarrollos temáticos que en la elección de los temas.

Parece existir un consenso general en todo el mundo para seguir un orden dado a grandes rasgos por: a) Mecánica y Termodinámica, b) Electromagnetismo, y c) Introducción a la Física Moderna (siglo 20).

Las leyes básicas de la Física involucradas en los tres grandes temas mencionados y sus aplicaciones más sencillas constituyen un bagaje cada vez más indispensable en cualquier carrera científica de hoy.

Antes se insistía en que supieran algo de Física solamente los candidatos a carreras terciarias directamente vinculadas con esta ciencia y sus aplicaciones (Ingeniería, Física y Astronomía, Química, Profesorado en Física y carreras tecnológicas).

Quien habla, ha tenido la vivencia directa de la creciente demanda de conocimientos de Física básica en los últimos años, para

carreras científicas tan diversas como Biología (en todas sus ramas), Bioquímica, Meteorología, Oceanografía y Geografía.

Como docente de la Facultad de Ciencias de la Universidad de la República, he sido testigo de la introducción paulatina de diversos cursos de Física en todas las carreras brindadas por esta Facultad, a pedido expreso de los interesados.

Cuando ingresé como docente en la F.C. no existían cursos de Física para la Licenciatura de Biología, y recién comenzaban los cursos para la Licenciatura de Geografía. Los biólogos investigadores que hicieron su doctorado en el exterior, y comenzaron a volver al país (gracias al Programa para el Desarrollo de las Ciencias Básicas, PEDECIBA), vinieron con la novedad unánime de lo fundamental que resultaban los conocimientos de Física básica para su formación profesional. Inmediatamente solicitaron al Instituto de Física de la Facultad la implementación de dos semestres de Física para Biología.

Luego se sumaron los Bioquímicos, que solicitaron además un laboratorio de Física, bastante riguroso en sus exigencias de nivel, para complementar los cursos teóricos. La necesidad de la Física en biociencias llegó al punto tal que el Instituto de Bioquímica ha destinado parte de sus propios recursos presupuestales para que el Instituto de Física mantenga los cursos y los docentes de Física con una carga horaria adecuada para los cursos de la Licenciatura de Bioquímica.

El método

A mi modo de ver, más importante aún que los contenidos de Física en la enseñanza media superior, es la sencillez con que la Física aborda la aplicación del método científico, válido para todas las ciencias de la naturaleza. Tanto la Biología moderna, como la Meteorología, la Geografía y la Oceanografía, aspiran a la elaboración de "modelos" que expliquen el comportamiento de los fenómenos en cada uno de sus respectivos campos de estudio. Todas éstas son ciencias relativamente nuevas, y la gran cantidad de variables que aparecen en las observaciones empíricas hace muy difícil, aún, la construcción de modelos exhaustivos. No obstante, el crecimiento de los conocimientos, así como el gran desarrollo de los medios informáticos, están poniendo cada vez más al alcance de los científicos de estas ciencias la posibilidad de la elaboración de modelos teóricos que expliquen los sucesos observados.

Por ello, éstas son ciencias muy complejas. De hecho, son las más complejas. Existe la creencia (solamente en algunos países subdesarrollados) de que la Biología, por ejemplo, es una ciencia fácil (o "blanda"). Sólo un conocimiento escaso sobre el estado actual de esta extraordinaria ciencia puede llevar a alguien hacer esa afirmación. Si alguien cree que con solamente la observación y la clasificación, ya está "haciendo ciencia", pues se ha detenido en la década del 50, sea cual sea la ciencia de la que está hablando.

Esta es la razón por la cual la Física es la más simple de las ciencias, en el sentido de que introduce el método científico con más naturalidad y sencillez en los estudiantes. Es la única ciencia que puede presentar modelos muy simples y que funcionan bien, contrastables con mediciones hechas simplemente con un cronómetro, una regla, una balanza, y cosas como esas. Tal vez esto se deba a sus 2000 años de antigüedad, o tal vez a que se ocupa de objetos inanimados, cuya estructura interna no interesa en la mayoría de los casos.

Lo importante es que la Física introduce al estudiante en el mismo método científico que va a necesitar ineludiblemente cualquiera sea la carrera científica a que aspira, desde la propia Física hasta ciencias considerablemente más difíciles y complejas como la Biología, la Bioquímica y la Biofísica.

Un aspecto relevante de toda ciencia moderna radica no solamente en elaborar modelos que expliquen exitosamente las observaciones, sino en derribarlos sistemáticamente luego. Pues esta es la historia de la evolución del pensamiento científico. De nuevo la Física es la disciplina que acude a presentarnos este proceso indispensable en la forma más elemental posible. Con la simple observación de la reflexión de la luz en un espejo se obtiene la ley de igualdad de ángulos de incidencia y reflexión. Al observar que una pelota rebota contra la pared bajo la misma ley, surge naturalmente el modelo de Newton, de que la luz consta en una cantidad de minúsculas partículas que chocan elásticamente. Que alguien me diga si existe otra ciencia que permita la construcción de un modelo tan eficaz y capaz de entenderlo hasta un escolar.

Luego de explicar exitosamente la reflexión, la difusión y hasta la refracción (con alguna hipótesis adicional) de la luz basándose en el modelo de Newton, se hace pasar la luz por una rendija estrecha y se observan franjas claras y oscuras, totalmente impredecibles e inexplicables con el modelo de corpúsculos. Asistimos entonces a la caída, o al menos a la limitación de un modelo, paso fundamental en el desarrollo de la investigación científica. Se debe elaborar entonces un nuevo modelo de luz, que no solamente explique los nuevos fenómenos observados, sino que también pueda explicar los anteriores. Que alguien me diga, nuevamente, si existe otra ciencia capaz de presentar de forma tan elemental y profunda a la vez, el meollo de la evolución del pensamiento científico: la construcción y la caída y sustitución de un modelo de fenómeno natural.

En fin, podríamos abundar en un sinnúmero de ejemplos de cómo la Física básica, en su proceso de aprendizaje, va desarrollando la actitud científica necesaria para el encare más profundo de cualquier ciencia moderna por la que opte el estudiante en su futuro profesional.

Esta exposición ha sido breve y se podría decir mucho más sobre la necesidad de la Física en la Enseñanza Secundaria (ya no solamente en el bachillerato) para la formación de cualquier joven que en el futuro vaya a dedicarse a alguna actividad cientí-

fica. En verdad, de acuerdo a lo que dijimos, esta necesidad se extiende a cualquier futuro ciudadano que pretenda ser libre y razonar con espíritu crítico ante todas las situaciones de la vida.

Por errores de parte de unos u otros, o de ambos, la Física casi no existe en los nuevos programas del Ciclo Básico de Educación Secundaria. Pienso que hoy no importa por qué se ha dado esta situación, sino el hecho de que sea subsanable, que creo que lo es.

A los profesores de física. Agua en el microondas

Recibí este mensaje y me parece que es bueno difundirlo. Hace poco vi un documental al respecto y por lo que decían eso también puede ocurrir con la sopa aunque ocurre más fácilmente con el agua sola.

"Hace 5 días mi hijo de 26 años decidió tomarse una taza de café instantáneo. Puso a calentar en el horno de microondas (algo que ya había hecho antes en varias ocasiones) una taza con agua sola. No sé exactamente por cuanto tiempo lo programó pero me dijo que quería que el agua hirviera. Cuando el tiempo se acabó el horno se apagó y sacó la taza del horno.

Mientras miraba la taza se dio cuenta que el agua no estaba hirviendo. Sin embargo el agua saltó directamente a su cara. El la soltó de sus manos después que el agua había brotado hacia su cara debido a la energía acumulada. Toda su cara tiene heridas de 1º y 2º grados y es muy probable que la cara le quede marcada además de haber perdido la vista parcialmente del ojo izquierdo.

Mientras estábamos en el hospital el doctor que lo atendía comentó que éste tipo de accidentes eran muy frecuentes y que nunca debería de ponerse solamente agua a calentar en el microondas. Si se calienta agua de esta forma siempre se debe poner algo en el agua, un palito de madera o una bolsita de té pero si se va a calentar solamente el agua es mejor usar la estufa.

Por favor envíen este mensaje a todos sus familiares y amigos."

Esto es lo que el maestro de física dijo al respecto:

"Gracias por enviarme el mensaje advirtiéndome acerca del agua en el microondas. He sabido de varios casos. Esto es causado por un fenómeno conocido como «super calentamiento». Puede suceder en cualquier momento que el agua se esté calentado y especialmente si el utensilio que se está usando es nuevo.

Lo que sucede es que el agua se calienta mucho más rápido de lo que las burbujas se empiecen a formar. Si la taza es nueva no tiene ningún raspón o ranura por donde las burbujas se puedan ir formando y puedan empezar burbujear el agua que ya está hirviendo, de tal manera que el agua se va calentando sobre pasando el tiempo de hervir (como quien dice hierve...y hierve...y hierve...) Lo que sucede entonces es que el agua se atora, queda estancada y al contacto con el aire el agua brota con fuerza por la energía contenida.

Es lo que sucede con todas las bebidas carbonatadas. Cuando se agita la botella estando cerrada al momento de abrirla el agua brota por la energía contenida.

Por favor envíen este mensaje a todos sus amigos, podrían evitarles un gran dolor y sufrimiento"

Aporte: Prof. Daniel Baccino

El profesor y la educación en valores en la sociedad del conocimiento

Dra. María Rosa Buxarrais Estrada - Responsable del Programa Educación en Valores del Instituto de Ciencias de la Educación Universidad de Barcelona. Co-Directora del Programa Educación en Valores de la Organización de Estados Iberoamericanos (OEI)

Ante los retos que nos plantea la sociedad de conocimiento en la que, sin duda, estamos insertos, debemos considerar un nuevo rol para el docente. Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación le van a permitir relegar algunas de sus tareas instructoras y le van a dejar tiempo para que se convierta en un educador en valores.

La indicadores socioculturales que están presentes en sociedades como las nuestras, pluralistas y democráticas, nos obliga a plantearnos la educación en valores desde todas las instituciones educativas de manera inminente. Algunos de estos indicadores socioculturales son los siguientes:

- El cambio social y los desarrollos humanos en el dominio de la tecnología y la ciencia inciden en el terreno educativo provocando nuevas necesidades pedagógicas.
- La rigidez de la administración en materia educativa, la lentitud en poner en práctica las innovaciones pedagógicas y la actitud conservadora de la mayoría de profesores dificultan la adecuación de la escuela al cambio social y tecnológico.
- La dinámica social, las formas actuales de vida cotidiana y los cambios en el ámbito de las relaciones afectivas y de la vida en pareja plantean nuevas situaciones de riesgo en los niños y jóvenes, quitándoles esquemas de referencia.
- El desarrollo tecnológico creciente provoca la necesidad de una formación actualizada y útil para la sociedad que estamos viviendo y que viviremos en un futuro próximo.

- Los medios de comunicación de masas ejercen un poder indiscutible en la conformación de las escalas de valores de las personas, homogeneizando cultural y comportamentalmente a la sociedad. Para ello será necesario promover acciones que generen actitudes críticas ante esos medios.
- La falta de conciencia de la familia de su dejadez educativa puede ser otro de los factores. Debido a los condicionantes laborales y culturales la familia concede a la escuela la responsabilidad de educar a los niños y jóvenes, olvidando que dicha tarea debe ser compartida y realizada al unísono entre ambas instituciones.
- La distribución del tiempo vital de la persona entre el trabajo productivo y el tiempo libre hace que se planteen cambios pedagógicos para desarrollar ambos tiempos de forma conveniente.

Estos indicadores socioculturales van a permitirnos realizar un análisis profundo de las funciones de la institución educativa, atendiendo de manera especial a la dimensión emocional y moral de la persona, a su educación en valores.

El profesor del futuro deberá ser un auténtico profesional de las relaciones humanas, deberá ayudar en el proceso de construcción de la personalidad de los estudiantes y deberá poseer un amplio bagaje de conocimientos que le permitan hablar de todo.

Además, aunque se sobreentienda que el profesor debe tener vocación, no es suficiente con ella, sino que hace falta que domine un conjunto de conocimientos y habilidades no naturales, así como estar

capacitado para modificar actitudes de los alumnos. El profesor ha de ser experto en cuestiones transversales para lo que requiere un elevado nivel de cultura general y de interés y sensibilidad hacia lo nuevo.

Deberá ser un gestor del conocimiento más que un transmisor, porque el incremento en el uso de las nuevas tecnologías implica un crecimiento exponencial del conocimiento que obliga a una adecuada selección de aquella información relevante. También deberá favorecer la relación con las familias y atender a la dimensión emocional.

Con el objetivo de desarrollar personas capaces de convivir singularmente en una sociedad pluralista y democrática, se deberá atender especialmente a la educación moral, es decir, a realizar acciones pedagógicas orientadas a la construcción racional y autónoma de las personas, desarrollando el juicio moral, la construcción personal de la matriz de valores, la fuerza moral, el cultivo del esfuerzo, el fomento de valores como la tolerancia y el respeto a las personas, etc. Para ello hace falta dominar técnicas y recursos que faciliten dicha tarea.

1. Necesidad de la educación en valores y la acción pedagógica sobre el desarrollo moral de la persona

Desde la perspectiva teórica desarrollada por Miquel Martínez (1995), la educación implica una mejora de la persona en las siguientes dimensiones: codificativa, adaptativa, proyectiva e introyectiva. Se trata de cuatro dimensiones que se integran en el mismo orden en que han sido enunciadas y suponen por su complejidad diferentes familias de capacidades, procedimientos y recursos humanos susceptibles de ser potenciados. La *dimensión codificativa* hace referencia a las capacidades para captar la información, es decir, entender los contenidos informativos; la *dimensión adaptativa* alude a la conducta

y las formas de proceder. Esto significa que la persona sea capaz de regular su comportamiento de acuerdo a patrones establecidos. La *dimensión proyectiva* permite que la persona sea capaz de crear sus propias normas y actuar de acuerdo a ellas. Y por último, la *dimensión introyectiva* permite a la persona darse cuenta de que es ella misma quien actúa y quien realiza todos sus procesos.

En este sentido, la educación debe suponer la potenciación de todas estas dimensiones, pero teniendo en cuenta que son las dimensiones proyectiva e introyectiva las que están más impregnadas de valores y, por lo tanto, serán esas dos las que se deberán potenciar más.

La propuesta de educación en valores, que sostenemos, consiste fundamentalmente en analizar y plantear las condiciones que debe reunir la institución educativa para que sea un escenario adecuado en el que los niños y los jóvenes que en ella aprenden, desarrollen todas aquellas dimensiones que les permitan apreciar; valorar; estimar; aceptar y construir valores.

Educación en valores significa, pues, ofrecer condiciones, generar climas para que se palpen dichos valores. Hay que desarrollar en las personas valores morales que, por vivir en una sociedad abierta y plural, permita construir criterios mediante el diálogo y la razón.

Se habla de una educación en valores *mínimos* entendidos como garantía de convivencia de ofertas de educación en valores de máximos en sociedades pluralistas y democráticas. Suponemos que en la construcción personal de los valores intervienen diferentes agentes a parte de la escuela, las iglesias, las organizaciones políticas, el mundo laboral, los medios de comunicación, los iguales, etc.

Pero, ¿a qué valores nos referimos? A los valores morales, aquellos que se caracterizan por ser cualidades de la persona o la sociedad, relacionados con la libertad

humana, orientados a hacer la vida más humana y con la pretensión de universalidad. A aquellos valores que contemplan las constituciones de los países democráticos, no sólo formal sino vivencialmente, así como las declaraciones de los derechos humanos. La libertad, la justicia, la solidaridad, la igualdad, la honestidad, entre otros, son algunos de estos valores.

Se añaden a esos valores algunos criterios que guían el establecimiento de las condiciones para la acción y la práctica pedagógica del profesorado. Estos criterios son condiciones necesarias pero no suficientes: El cultivo de la autonomía, la disponibilidad hacia el diálogo como la mejor forma de abordar los conflictos y el cultivo de aquellas disposiciones emocionales de la persona que le ayuden a ponerse en el lugar del otro, a ejercer la tolerancia y el respeto a lo diferente.

Desde nuestra perspectiva, preferimos hablar de educación moral que de educación en valores, a pesar de que la primera no tenga una excelente aceptación, porque quizás este término es más integral, considera que la persona posee una serie de dimensiones morales que pueden ser optimizadas o mejoradas. Así, consideramos que el trabajo pedagógico deberá dirigirse a desarrollar las siguientes dimensiones: La *dimensión personal* o construcción del yo, integrada por dimensiones como el autoconcepto, la autoestima y la autorregulación de la conducta. La *dimensión social*, o convivencialidad, constituida por la empatía, las destrezas dialógicas, las habilidades sociales y la capacidad para transformar el entorno. La *dimensión moral*, que hace referencia al desarrollo del juicio moral, elemento básico para poder tomar decisiones morales. En esta dimensión se incluye la comprensión crítica y la construcción conceptual experiencial.

No es posible una educación en valores si el profesorado no es consciente de que su principal función es moral y ética. Si no logramos que el profesorado sea consciente

de ellos no podemos avanzar en los objetivos de una educación en valores. La educación en valores debe integrarse como algo vivo que impregna el conjunto de la vida escolar y que afecta, por tanto, a la vida en general.

Creemos necesario ofrecer pautas al profesorado para integrar esa educación en valores de forma significativa. Por medio de una serie de acciones, debates, reflexiones entre el profesorado de una institución es posible crear un clima propicio para que el proyecto educativo sea considerado como referente. Más aún si estamos en una institución donde el proyecto educativo ya tiene ese carácter referencial, debe revisarse y darle forma en la práctica cotidiana de cada uno de los centros educativos, por cada uno de los equipos de profesorado de dichos centros.

Podemos diferenciar cinco grandes formatos de actividades orientadas a la educación en valores en los centros educativos: 1) Actividades específicas y sistemáticas de educación en valores, 2) Actividades transversales y sistemáticas de educación en valores 3) Actividades propias de cualquier área del currículo, 4) Participación democrática en la vida colectiva del grupo de iguales en el aula y la institución escolar, 5) Participación cívica y social en la vida del entorno y la comunidad.

Estas cinco actividades están presentes en la práctica pedagógica cotidiana de cualquier institución educativa. El problema está en si sabemos cómo regular y sistematizar nuestros comportamientos como profesores y profesoras, nuestros conocimientos y nuestras acciones como expertos que se supone que somos, de tal forma que nuestra intervención sea eficaz y genere un clima adecuado. Es necesario tener en cuenta que la educación en valores se realiza en distintos escenarios. De entre los que destacamos cuatro: la interacción entre iguales, la acción del profesorado, el clima moral de la institución y la doble transversalidad de los contenidos.

La interacción entre iguales y la acción directa del profesorado son los dos escenarios más naturales en los que formamos nuestra personalidad moral. El clima moral de la institución contribuye a que esos valores de los que hablamos, no queden sólo en palabras, sino que se palpen y vivan.

La doble transversalidad de los contenidos implica que existen contenidos no sólo informativos sino procedimentales y actitudinales que conforman nuestra forma de hacer y sentir; pero además afectan a tres tipos de ámbitos, el formal, el no formal y el informal.

En el clima de la institución late un *código deontológico* más o menos explícito que conviene respetar en su espontaneidad pero que debe estar sujeto a unos principios mínimos de acuerdo y obligado cumplimiento que garanticen el pluralismo en las formas de entender la vida y el mundo por parte de los profesores y profesoras.

Se identifican cinco ámbitos en la deontología del profesorado que debemos tener en cuenta: el ámbito de la profesión, el ámbito de la institución, el ámbito de la relación con los colegas, el ámbito de la relación con los educandos y el ámbito de la relación con la sociedad.

La cuestión que conviene enfatizar y debatir se refiere a la articulación entre el derecho de la institución a establecer el carácter propio del centro y el derecho a la libertad de cátedra de cada uno de los miembros del profesorado del mismo. No olvidemos que si no somos capaces de convivir como profesionales y adultos en democracia y pluralismo, menos capaces seremos de mostrar modelos susceptibles de imitación por parte de los que se están educando. Es necesario, pues, ser prudentes y consecuentes en nuestro comportamiento como adultos y profesionales, porque el clima moral de la institución no será el que decida la titularidad de la misma sino el que practiquen cada día y de forma significativa el equipo de profesores y profesoras de dicha institución.

Así, creemos necesaria la elaboración de un código mínimo a compartir y practicar en el ejercicio profesional por la totalidad del equipo del profesorado, para lo que se requieren instancias o momentos donde se pueda proceder a la discusión y la construcción conjunta de acuerdos en distintos aspectos relevantes.

Creemos que el profesorado, a parte de ser consciente de su papel de modelo a imitar por su alumnado, deberá tener toda una serie de capacidades que le van a permitir realizar una adecuada educación en valores, la capacidad de: 1) Crear un clima escolar adecuado, en el que se favorezca el intercambio y el diálogo, tanto entre alumnos como entre profesorado y alumnado, 2) Crear situaciones que planteen problemas y contradicciones a la estructura moral de los alumnos, 3) Escuchar, aconsejar y ayudar en la formación, 4) Construir un modelo teórico propio y adaptado a la situación educativa concreta y que admita la posibilidad de modificar el modelo en función de las variaciones que se puedan producir, 5) Animar a los grupos y analizar su funcionamiento, de comprender el sentido y la dinámica en las situaciones que se plantean en las aulas, 6) Trabajar sobre la propia persona e interrogarse sobre la propia práctica docente, 7) Tender hacia la neutralidad pedagógica, 8) Dirigir discusiones morales, 9) Diseñar actividades particulares que tiendan al desarrollo de la confianza en uno mismo, 10) Poseer un autoconcepto ajustado y positivo y una buena autoestima, 11) Crear un clima de auténtica cooperación.

Para llevar a cabo un tipo de educación en valores como el que proponemos, basado en la construcción racional y autónoma de valores, utilizamos una serie de *técnicas y estrategias* dentro del aula que pueden ayudar a desarrollar el juicio moral del alumnado, para que, en última instancia, haga coherentes su juicio con las acciones morales, es decir, que exista una coherencia interna entre el continuum que va desde los pensamientos, los sentimientos, lo que se dice y lo que se hace.

Para la construcción del yo podemos recurrir a estrategias como: la clarificación de valores mediante frases inacabadas o preguntas clarificadoras y el registro de la autoobservación. En el ámbito de la convivencia, podemos hacer uso de estrategias destinadas a desarrollar las habilidades dialógicas y sociales, el juego de roles o dramatización, y las asambleas o debates. Y, por último, para conseguir optimizar el ámbito de la reflexión sociomoral, utilizamos la discusión de dilemas morales, el diag-

nóstico de situaciones y la construcción conceptual experiencial.

Bibliografía

- Buxarrais, M.R. (2000). *La formación del profesorado en educación en valores*. Segunda edición. Bilbao: Desclée de Brouwer.
- Martínez, M. (2000). *El contrato moral del profesorado. Condiciones para una nueva escuela*. Tercera edición. Bilbao: Desclée de Brouwer.

FÍSICA DEL HUMOR (I)

Edición Internacional

Gatos com Manteiga

Se você derruba um pedaço de pão barrado com manteiga, este cairá com o lado da manteiga para baixo.

Se um gato é derrubado de uma janela ou outro lugar alto, aterra de pé.

Mas se você prende um pedaço de pão barrado com manteiga atado às costas de um gato e os atira a ambos pela janela?

O gato aterrará de pé? Ou o pão com manteiga cairá no solo?

E em resposta:

Até mesmo se você está muito preguiçoso para fazer a experiência deveria poder deduzir o resultado obvio. As leis de Manteigologia dizem que a manteiga tem que bater no solo, e as leis igualmente rígidas da aerodinâmica felina dizem que o gato aterra de pé. A natureza não teria nenhum modo para solucionar este paradoxo. Então simplesmente não cai. Isso é certo, mortal inteligente (bem, tão inteligente quanto um mortal pode ser), você descobriu o segredo da pão com manteiga estão em equilíbrio. Este ponto de equilíbrio pode ser modificado raspando alguma da manteiga, ou removendo alguns dos membros do gato. A maioria da espécie civilizada do Universo já usa este principio para dirigir as naves enquanto dentro de um sistema planetário. Os zumbidos altos ouvidos pela maioria das testemunhas de OVNIS é, de facto, o ronronando de várias centenas de gatos.

FÍSICA DEL HUMOR (II)

Edición Internacional

En aquel tiempo Jesús subió a la montaña y sentándose en una gran piedra dejó que sus discípulos y seguidores se le acercaran. Después, tomando la palabra, les enseñó diciendo: "En verdad, en verdad os digo que serán bienaventurados los pobres de espíritu, porque de ellos es el Reino de los Cielos. Que serán bienaventurados los que tienen hambre y sed de justicia, porque ellos serán saciados. Bienaventurados los misericordiosos, porque ellos alcanzarán misericordia. Bienaventurados los perseguidos a causa de la justicia, porque de ellos es el Reino de los Cielos..."

Entonces Pedro le interrumpió para decir: "¿Tenemos que saberlo de memoria?" Y Andrés dijo: "¿Tenemos que escribirlo?" Y Santiago dijo: "¿Tenemos que examinarnos de esto?" Y Felipe dijo: "No tengo papiro". Y Bartolomé dijo: "¿Te lo tenemos que entregar?" Y Juan dijo: "¿puedo ir al baño?" Y Judas: "¿Y esto para qué sirve?"

Entonces uno de tantos fariseos presentes, que nunca había enseñado, pidió ver la Programación de Jesús y, ante el asombro del Maestro, le inquirió en estos términos: "¿Cuál es tu nivel de competencia curricular? ¿Cómo atiendes a la diversidad? ¿Cómo has diseñado la motivación de intereses de palestinos y gentiles? ¿Qué significatividad tiene el material de aprendizaje que pretendes enseñar?"

A Jesús se le llenaron los ojos de lágrimas y, elevándolos al cielo pidió al Padre la jubilación anticipada.

...

A priest, a drunkard and a physicist were condemned to die by the guillotine. The priest is led up to the guillotine and is asked if he prefers to be facing up or down. He replies «I would like my last earthly sight to be of heaven». The executioner then fastens him in face up and releases the guillotine blade. It falls, but stops just within an inch of his throat. «A miracle!» the crowd of spectators shout in unison, and the priest is released unharmed.

Next, the drunkard is led up the steps and he is asked if he prefers to face up or down. «Upward», he replied, «so that I can drink, one last time, some good wine you pour down my throat!» After the drunkard is given a drink, the huge blade is released and plummets downward, but stops within an inch of his throat. «Mon dieu! A second miracle!» the crowd cheers, and he is released unharmed.

Finally, the physicist is led up to be executed. He also chooses to be shackled to the guillotine faceup. The crowd is placing bets left and right about whether a third miracle will take place. As he lies faceup, he ponders the death apparatus above him. Raising his hand, moments before the executioner releases the blade, the physicist declares, «Wait, wait! ... I see what your problem is!»

...

Una lamparita a otra: todo la noche dando luz y no tenemos ni un hijo.

...

Un cable a una lamparita: entre nosotros lo que pasa es pura corriente.

...

Un cable eléctrico a otro: somos intocables.

Interpretación de Planck de la Radiación Térmica del Cuerpo Negro

Dr. Ismael Núñez - Instituto de Física, Facultad de Ciencias

1. La Revolución Industrial, los hornos y la radiación térmica.

A fines del siglo XIX la Revolución Industrial estaba en su apogeo y las industrias de la fundición de metales estaban trabajando a pleno, para fabricar las piezas de acero necesarias en las máquinas de producción y de transporte ferroviario y naval.

En este contexto histórico, se volvía imprescindible la optimización de los recursos energéticos (leña y carbón) para calentar los hornos de fundición, así como el conocimiento y control adecuados de la temperatura necesarias para obtener las calidades requeridas del acero.

Esto condujo a que la gran mayoría de los físicos de la segunda mitad del siglo XIX apuntaran al estudio de la Termodinámica, imprimiéndole un desarrollo extraordinario. Una buena parte de estos físicos se dedicaron al estudio del funcionamiento de los hornos, con lo que tuvieron que profundizar en la relación entre la temperatura de los hornos y la energía térmica dentro de ellos.

La radiación térmica es la energía radiada por los cuerpos en forma de ondas electromagnéticas debido exclusivamente a la temperatura de los mismos. Las bases teóricas de este fenómeno ya habían sido establecidas por J. C. Maxwell, también en la segunda mitad del siglo en curso. Quedó demostrado que toda carga eléctrica acelerada debe irradiar ondas electromagnéticas. Como los cuerpos contienen electrones que son agitados en forma aleatoria a causa de la temperatura, es previsible que irradien ondas electromagnéticas de todas las frecuencias y amplitudes, incluso en el espectro visible (incandescencia, o cuerpos "al rojo vivo").

Existía ya una buena cantidad de conocimientos empíricos sobre estos temas, obtenidos generalmente de la observación y estudio de los hornos. La tecnología ya permitía la descomposición de la radiación mediante prismas ópticos, para el estudio del espectro de dicha radiación. Se conocía bien qué cantidad de energía se radiaba por unidad de tiempo y unidad de frecuencia, para todas las frecuencias medibles y en función de la temperatura del horno.

En particular, se descubrió que la potencia radiada por un cuerpo era máxima para todas las frecuencias cuando la superficie del mismo era de tonalidad "negro humo", como el carbón. A este radiador ideal se le llamó "cuerpo negro". En los hechos, para cualquier cuerpo metálico cerrado y hueco, con un pequeño orificio en su superficie, resulta que este orificio se comporta como un cuerpo negro por el cual se puede obtener una muestra de la energía radiante contenida en el interior de la cavidad. Esta "radiación de cavidad" en el interior de un cuerpo metálico hueco a cierta temperatura, es un buen modelo a utilizar para el estudio de la energía térmica en el interior de un horno.

La cantidad de energía radiante en el interior de la cavidad por unidad de frecuencia, da resultados experimentales similares a los de la figura 1, para dos temperaturas diferentes de la cavidad.

En las figuras se observa que la cantidad de energía tiene un máximo para cierta frecuencia ν_0 que depende de la temperatura. Esta frecuencia a la que corresponde la máxima energía le da el "color" predominante al cuerpo negro. Para bajas temperaturas este pico de radiación se encuentra en el infrarrojo. A medida que aumenta la temperatura el

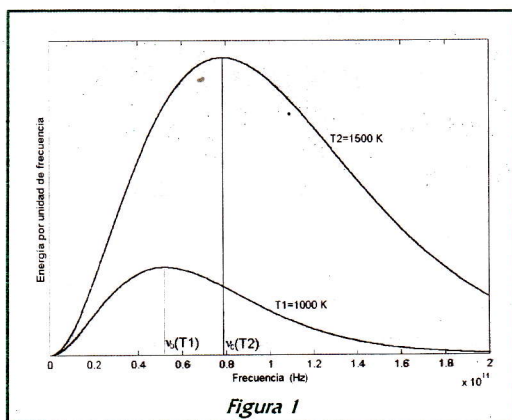


Figura 1

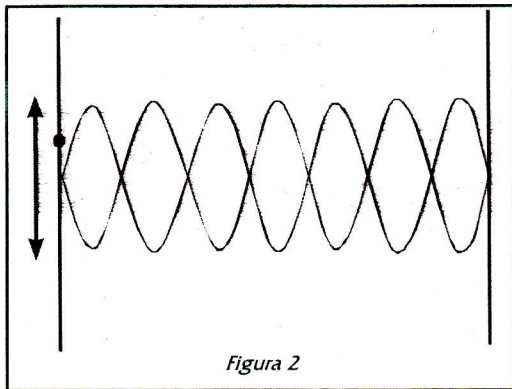


Figura 2

cuerpo aparece como rojizo, y luego se vuelve amarillo incandescente. Obsérvese que tanto para muy bajas como muy altas frecuencias, la energía radiante es muy pequeña. Siempre tiende a cero cuando la frecuencia tiende a infinito.

Los datos arrojan una relación empírica entre esta frecuencia ν_0 de máxima energía y la temperatura del cuerpo negro, o la cavidad. Se conoce como ley de Wien, y es de la forma

$$\frac{\nu_0}{T} = \text{const.} \approx 1 \times 10^{11} \text{ s}^{-1} \text{ K}^{-1} \quad (1)$$

La energía radiante total encerrada en la cavidad a cierta temperatura, para todas las frecuencias, está dada por el área bajo la gráfica de la figura 1.

La experiencia determina que es una cantidad finita, y las mediciones dan que es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta. Este resultado se conoce como la ley de Stefan.

2. El problema fundamental de la radiación térmica.

Lo que podría llamarse el problema fundamental de la radiación térmica consiste en calcular la cantidad de energía radiante por unidad de frecuencia encerrada en una cavidad, para cada frecuencia y en función de la temperatura. Este cálculo hecho a partir de las leyes conocidas del electromagnetismo y la termodinámica, debe arrojar un resultado que coincida con las curvas experimentales ya conocidas y mostradas en la figura 1.

a) Ondas electromagnéticas encerradas en una cavidad perfectamente reflectora.

Entre dos paredes planas paralelas perfectamente reflectoras un electrón vibrante con frecuencia ν en una de las paredes produce una onda electromagnética estacionaria con igual frecuencia (Figura 2).

Si la distancia entre las paredes es L la onda estacionaria formada solamente puede tener número de onda múltiplo de π/L

$$k = n \frac{\pi}{L}, \quad n = 1, 2, \dots, \infty \quad (2)$$

La mínima variación en el valor de k será entonces

$$\Delta k = k_{n+1} - k_n = \frac{\pi}{L} \quad (3)$$

Si la radiación EM está confinada en una caja cúbica de lado L , los números de onda permitidos solamente pueden tener módulos dados por:

$$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2} = \frac{\pi}{L} \sqrt{n_x^2 + n_y^2 + n_z^2},$$

$$n_x, n_y, n_z = 1, 2, \dots, \infty \quad (4)$$

Donde, nuevamente, las mínimas variaciones en los valores de cada componente de k es

$$\Delta k_x = \Delta k_y = \Delta k_z = \frac{\pi}{L} \quad (5)$$

A cada valor de k le corresponde una terna de números naturales independientes (n_x, n_y, n_z) (Figura 3), y un "volumen" elemental en el espacio- k de valor

$$\Gamma = \Delta k_x \Delta k_y \Delta k_z = \frac{\pi^3}{L^3} = \frac{\pi^3}{V} \quad (6)$$

donde V es el volumen espacial del recinto.

El número de ondas estacionarias (como las de la figura 2) que existen con valores de número de onda entre k y $k+dk$, es igual al número de puntos (n_x, n_y, n_z) comprendido en el "volumen" en el espacio- k del octante de casquete esférico de la figura 3. El valor dk , si bien es infinitesimal, es suficiente como para contener un gran número de puntos (n_x, n_y, n_z).

El volumen del octante de casquete esférico de radio k y espesor dk es

$$d\gamma = \frac{1}{8} 4\pi k^2 dk = \frac{1}{2} \pi k^2 dk \quad (7)$$

Como a cada punto le corresponde un volumen elemental Γ dado por la ecuación (6), el número total de puntos en el volumen del casquete (igual al número de ondas estacionarias que vibran como en la figura 2), será

$$dN_1 = \frac{d\gamma}{\Gamma} = \frac{\frac{1}{2} \pi k^2 dk}{\frac{\pi^3}{V}} = \frac{V}{2\pi^2} k^2 dk \quad (8)$$

En general, cada onda electromagnética estacionaria no tiene necesariamente una polarización lineal (plano de vibración del campo eléctrico). Tendrá, en general polarización circular o elíptica, por lo que se puede representar como la superposición de dos ondas con polarizaciones lineales perpendiculares entre sí. Entonces el número total de ondas con valores de número de onda entre k y $k+dk$ contenidas en el volumen V del recinto es el doble de valor dado en (8). Esto es,

$$dN = \frac{V}{\pi^2} k^2 dk \quad (9)$$

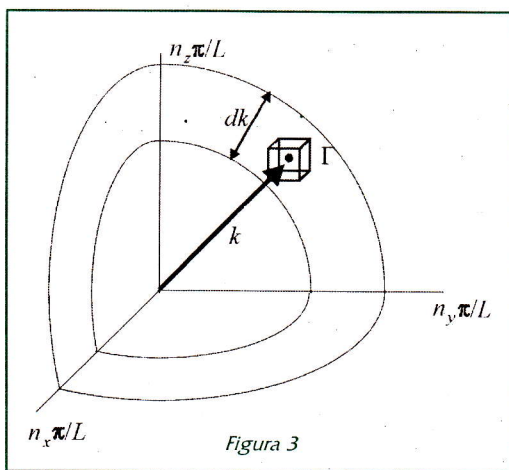


Figura 3

En función de la frecuencia ν , tenemos que

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi\nu}{c} \quad (10)$$

donde c es la velocidad de la luz en el interior de la cavidad.

Sustituyendo (10) en (9) tenemos, para el número de ondas electromagnéticas encerradas en el volumen V y con valores de frecuencia entre ν y $\nu+d\nu$, la expresión

$$dN = \frac{8\pi V}{c^3} \nu^2 d\nu \quad (11)$$

b) Energía radiante en el interior de la cavidad.

Cada onda con su frecuencia ν (o cada electrón que la emite al vibrar a esa frecuencia) puede tener una amplitud de oscilación que va desde 0 a infinito (proporcional a la amplitud con que vibra el electrón que la emite). Esto da una energía ϵ diferente para cada una de las ondas que existen en la cavidad con la misma frecuencia de vibración.

Por ello es adecuado trabajar con la energía media $\langle \epsilon(\nu) \rangle$ de todas las ondas con igual frecuencia ν , de forma que la energía total de las ondas con la misma frecuencia se obtiene simplemente multiplicando el número de ellas (ecuación (11)) por la energía media de cada una. Entonces, la energía de todas las ondas con frecuencias entre ν y $\nu+d\nu$ será, según (11)

$$dE = \langle \varepsilon(v) \rangle dN = \frac{8\pi V}{c^3} \langle \varepsilon(v) \rangle v^2 dv \quad (12)$$

La energía radiante total encerrada en la cavidad es la integral de (12) para todas las frecuencias. Esto es

$$E = \frac{8\pi V}{c^3} \int_0^\infty \langle \varepsilon(v) \rangle v^2 dv \quad (13)$$

La temperatura absoluta T de la cavidad deberá aparecer cuando calculemos la energía media $\langle \varepsilon(v) \rangle$ de las ondas que vibran con igual frecuencia v .

Es importante resaltar que la energía ε de cada onda electromagnética con cierta amplitud y cierta frecuencia es proporcionada por el electrón que la generó. A cada onda le corresponde un electrón y recíprocamente.

En el modelo en que las paredes de la cavidad son perfectamente conductoras, el electrón de la izquierda de la figura 2 es puesto en vibración mientras se está generando su onda electromagnética. Cuando la onda llega a la pared opuesta se refleja completamente (por ser perfectamente conductora) vuelve hasta llegar al punto de partida. En este momento el electrón generador queda nuevamente en reposo y la onda estacionaria generada se autosustenta reflejándose entre ambas paredes, sin pérdida de energía. La situación es igual a la de una onda estacionaria en una cuerda con ambos extremos fijos y sin pérdidas. La energía ε de esta onda estacionaria debe ser entonces exactamente igual a la energía que tenía el electrón generador mientras vibraba.

Desde el punto de vista formal, da lo mismo imaginar que un dado electrón continúa vibrando con energía constante ε sin generar ondas, o que el electrón está en reposo y esta energía constante ε se encuentra en la onda estacionaria por él generada. Por ello, cuando hablamos de la energía media $\langle \varepsilon(v) \rangle$ de todas las ondas estacionarias con diferentes amplitudes e igual

frecuencia v , estamos hablando de la energía media de todos los electrones que *vibran* con diferentes amplitudes e igual frecuencia v en las paredes de la cavidad, si no se generaran las ondas electromagnéticas.

3. Cálculo de la energía media

a) Estado de una partícula

Para poder utilizar la ecuación (13) y proseguir con la resolución del problema fundamental de la radiación térmica, es necesario calcular la energía media $\langle \varepsilon(v) \rangle$ que le corresponde a todas las ondas estacionarias que tienen igual frecuencia v en el interior de la cavidad.

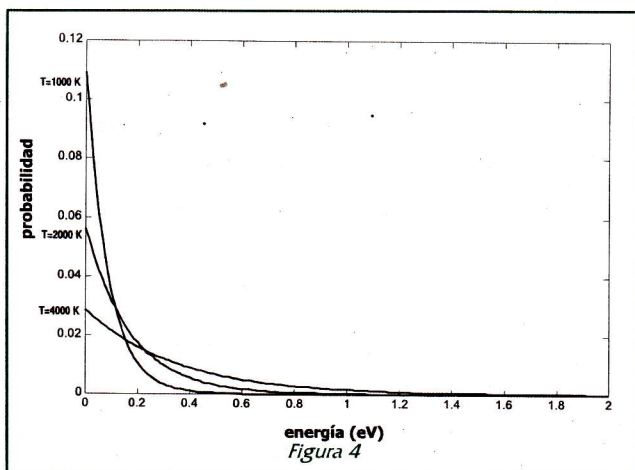
Por lo que se dijo al final del párrafo anterior, el problema es idéntico a calcular la energía media que tiene un conjunto muy grande de partículas iguales que vibran con movimiento armónico simple de todas las amplitudes posibles, pero con igual frecuencia, estando todo el sistema en equilibrio térmico a cierta temperatura T .

Este es un problema típico de una de las ramas más fecundas de la Física, llamada *Mecánica Estadística*. Su utilización es ineludible toda vez que se desee comprender el comportamiento macroscópico de la materia, a partir de las leyes básicas que regulan el movimiento de las partículas que la componen.

Podemos imaginar este sistema de partículas vibrantes como un conjunto muy grande (en rigor, infinito) de sistemas masa-resorte, cada uno con igual masa m sujeta por un resorte ideal de constante K a una pared fija. Esto nos asegura que cada partícula vibrará con igual frecuencia dada por la conocida relación

$$2\pi v = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (14)$$

Cada masa puede vibrar con una amplitud arbitraria entre cero e infinito, con lo que cada sistema masa-resorte puede te-



ner cualquier energía ε entre cero e infinito. Asumimos que todas las amplitudes son posibles, aunque no todas con igual probabilidad. De hecho, las amplitudes infinitas deben de tener probabilidad nula.

Si llamamos $p_v(\varepsilon)\delta\varepsilon$ a la probabilidad de que uno de los sistemas que vibra con frecuencia ν tenga una energía entre ε y $\varepsilon + \delta\varepsilon$, entonces la energía media para todo el conjunto de sistemas masa-resorte que pueden oscilar con la misma frecuencia ν será

$$\langle \varepsilon(\nu) \rangle = \sum_{\varepsilon} \varepsilon p_v(\varepsilon) \delta\varepsilon \quad (15)$$

donde la suma se extiende a todas las energías posibles (desde 0 a ∞).

El cálculo de la probabilidad $p_v(\varepsilon)\delta\varepsilon$ de que un oscilador de frecuencia ν tenga una energía entre ε y $\varepsilon + \delta\varepsilon$, cuando se encuentra en equilibrio térmico a cierta temperatura T con un conjunto infinito de osciladores de igual frecuencia, lo proporcionó Ludwig Boltzmann (1844-1906), el creador de la Mecánica Estadística.

No haremos su deducción porque se escapa del contenido de este artículo, simplemente daremos algunas definiciones básicas de la Mecánica Estadística.

El *estado* (clásico) de una partícula que se puede mover en una dimensión (como

el oscilador armónico simple), está dado en todo instante por su coordenada de posición x y su cantidad de movimiento p (o su velocidad v).

Este hecho se basa en que la ecuación fundamental de la mecánica (la ley de Newton) relaciona la fuerza sobre una partícula con su aceleración. De forma que, dando la posición inicial y la velocidad (o cantidad de movimiento) inicial de la partícula, uno puede calcular su posición y cantidad de movimiento en cualquier otro instante, conocida la fuerza que actuó en el intervalo.

Cuando decimos que una partícula se encuentra en el estado i , significa que tiene una posición x_i y una cantidad de movimiento p_i en ese instante. Como la partícula se mueve y cambia su velocidad, está cambiando de estado permanentemente.

Como la partícula tiene energía cinética y potencial, su energía total ε_i cuando se encuentra en el estado i es función de su posición y su cantidad de movimiento, esto es $\varepsilon_i = \varepsilon_i(x_i, p_i)$.

Usualmente existen muchos estados diferentes con la misma energía para partícula. Piénsese en el caso del movimiento armónico simple donde la partícula varía su posición y su cantidad de movimiento (es decir, su *estado*) en forma cíclica durante un período, manteniendo la energía total constante.

A partir de los postulados fundamentales de la Mecánica Estadística, Boltzmann dedujo que, en un sistema aislado y en equilibrio térmico a la temperatura T , la probabilidad de que una partícula se encuentre en el estado r depende de la temperatura y de la energía total ε_r correspondiente a dicho estado, en la forma

$$p_r = \frac{1}{Z} \exp\left(-\frac{\varepsilon_r}{kT}\right), \quad (16)$$

donde $k = 1.38 \times 10^{-23}$ Joule/Kelvin se llama constante de Boltzmann.

El valor de Z se obtiene de la condición de que la suma de todas las probabilidades de los diferentes estados debe dar la unidad. Aplicando esto a la (16) obtenemos que

$$\sum_r p_r = \frac{1}{Z} \sum_r \exp\left(-\frac{\varepsilon_r}{kT}\right) = 1 \quad (17)$$

donde la suma se extiende a todos los estados posibles de la partícula. Entonces tenemos para Z el resultado

$$Z = \sum_r \exp\left(-\frac{\varepsilon_r}{kT}\right) \quad (18)$$

La función Z definida en (18) se llama *función de partición de la energía* para las partículas del sistema a la temperatura dada.

En la figura 4 se representan las gráficas de la probabilidad p de que una partícula se encuentre en diferentes estados con distintas energías, en función de la energía y para diferentes temperaturas. Véase que, conforme crece la temperatura, también crece la probabilidad de que se ocupen estados de mayor energía. Esto es, existe más cantidad de partículas con mayor energía total.

Obsérvese en la expresión (16) que la probabilidad de que la partícula se encuentre en cierto estado depende de la energía total del estado. Esto significa que todos los estados a los que corresponda la misma energía, tienen la misma probabilidad.

Por consiguiente, la probabilidad de que una partícula tenga cierta energía, será el producto de (16) por el número de estados con esa energía. Concretamente, la probabilidad de que una partícula en movimiento armónico simple con frecuencia ν tenga energía entre ε y $\varepsilon + \delta\varepsilon$ (siendo $\delta\varepsilon \ll \varepsilon$), se puede poner como

$$p_\nu(\varepsilon)\delta\varepsilon = \frac{1}{Z_\nu} \Omega_\nu(\varepsilon, \varepsilon + \delta\varepsilon) \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right) \quad (19)$$

donde Ω_ν es el número de estados con energía entre ε y $\varepsilon + \delta\varepsilon$.

A su vez, la función de partición (18) se puede poner como una suma sobre todas las energías, en lugar de sobre los estados. Esto es

$$Z_\nu = \sum_\varepsilon \Omega_\nu(\varepsilon, \varepsilon + \delta\varepsilon) \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right) \quad (20)$$

Para calcular la energía media $\langle \varepsilon(\nu) \rangle$ entre todos los osciladores de igual frecuencia ν , debemos aplicar la ecuación con la probabilidad de (19) obtenida por Boltzman.

La energía media por oscilador de frecuencia ν en el sistema es entonces

$$\langle \varepsilon(\nu) \rangle = \frac{1}{Z_\nu} \sum_\varepsilon \varepsilon \Omega_\nu(\varepsilon, \varepsilon + \delta\varepsilon) \exp\left(-\frac{\varepsilon}{kT}\right) \quad (21)$$

Si definimos el parámetro constante

$$\beta = \frac{1}{kT} \quad (22)$$

podemos escribir las ecuaciones (20) y (21) respectivamente como

$$Z_\nu = \sum_\varepsilon \Omega_\nu(\varepsilon, \varepsilon + \delta\varepsilon) \exp(-\beta\varepsilon) \quad (23)$$

$$\langle \varepsilon(\nu) \rangle = \frac{1}{Z_\nu} \sum_\varepsilon \varepsilon \Omega_\nu(\varepsilon, \varepsilon + \delta\varepsilon) \exp(-\beta\varepsilon) \quad (24)$$

Comparando (23) con (24) se puede observar que resulta

$$\langle \varepsilon(\nu) \rangle = -\frac{\partial}{\partial \beta} \ln Z_\nu \quad (25)$$

De forma que el cálculo de la función (23) de partición nos permite obtener directamente la energía media por oscilador aplicando (25).

b) Número de estados con igual energía

Para calcular la cantidad de estados Ω_ν con energías entre ε y $\varepsilon + \delta\varepsilon$ para un oscilador armónico de frecuencia ν , consideramos que si la fuerza de restitución elástica tiene una constante K y la partícula una

masa m , la energía total del oscilador es

$$\varepsilon = \frac{1}{2} Kx^2 + \frac{1}{2} \frac{p^2}{m} \quad (26)$$

donde x es su posición instantánea y p su cantidad de movimiento en ese instante.

La expresión anterior se puede poner como

$$1 = \frac{x^2}{a^2} + \frac{p^2}{b^2} \quad (27)$$

que representa una elipse (figura 5) en el espacio de los estados (coordenadas x y p), de semiejes

$$a = \sqrt{\frac{2\varepsilon}{K}}, \quad b = \sqrt{2m\varepsilon} \quad (28)$$

Para cada valor de amplitud que tenga el oscilador existe un valor de energía ε , y por consiguiente, una única elipse con semiejes dados por (28). A mayor energía corresponde una elipse más grande.

El área de esta elipse en el espacio de estados está dada por

$$S = \pi ab = 2\pi \frac{\varepsilon}{\sqrt{K/m}} = \frac{\varepsilon}{\nu} \quad (29)$$

donde se ha utilizado la relación (14) siendo ν la frecuencia del oscilador.

Cada punto del plano x, p de la figura 5 es un estado de la partícula oscilante, por lo que el número de estados Ω_v con energías entre ε y $\varepsilon + \delta\varepsilon$ será el número de puntos del plano x, p comprendidos entre dos elipses concéntricas, como muestra la figura 6. Según (26), esto corresponde al número de puntos contenidos en el área

$$\delta S = \frac{\delta\varepsilon}{\nu} \quad (30)$$

Es obvio que el número de puntos contenidos en un área es infinito, porque el conjunto de estados posibles (puntos del plano x, p) es continuo en la mecánica clásica.

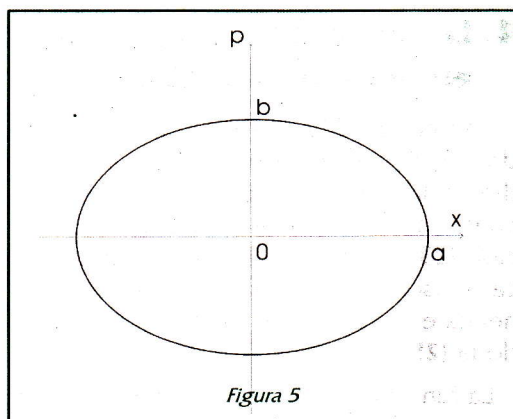


Figura 5

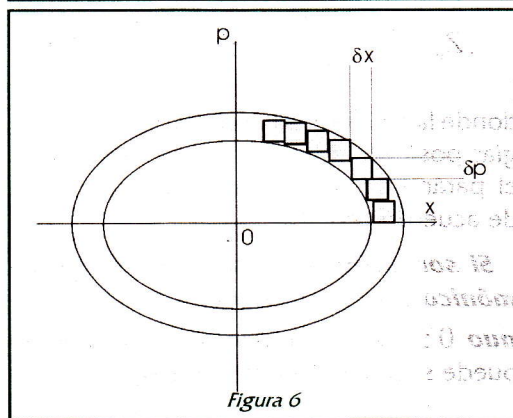


Figura 6

Para sortear esta dificultad supongamos que el conjunto posible de estados en el área δS es discreto. Esto es, cada estado se encuentra dentro de un área elemental de valor

$$H = \delta x \times \delta p \quad (31)$$

Esto lo hacemos solamente a los efectos del cálculo. Luego podemos hacer los valores de δx y δp tan pequeños como queramos (desde el punto de vista clásico), y con ellos también el valor del área elemental H . En la figura 6 se muestran, exageradamente grandes, estos rectángulos de área elemental en el plano de estados.

Como a cada área elemental corresponde un estado, dividiendo (30) entre (31) obtenemos el número de estados Ω_v con energías entre ε y $\varepsilon + \delta\varepsilon$. Entonces

$$\Omega_v(\varepsilon, \varepsilon + \delta\varepsilon) = \frac{\delta S}{\delta x \delta p} = \frac{\delta\varepsilon}{H\nu} \quad (32)$$

Rayleigh y Jeans. Esta previsión teórica que, obviamente, no sucede en la realidad, se conoció con el nombre de "catástrofe ultravioleta".

La integral (38) da para todas las frecuencias desde 0 hasta ∞ da una energía total infinita para cualquier temperatura. Este resultado contradice la experiencia, en que la energía total permanece finita y proporcional a la cuarta potencia de la temperatura (ley de Stefan). La curva experimental de la figura 7 tiende a 0 cuando la frecuencia tiende a infinito. La ecuación (38) tampoco predice la máxima energía por unidad de frecuencia para una cierta frecuencia ν_0 dependiente de la temperatura, como se ve en las figuras 1 y 7 (ley de Wien).

5. Hipótesis de Planck sobre la radiación en la cavidad

El 14 de diciembre de 1900, Max Planck leyó un trabajo titulado "La teoría de la ley de distribución de energías del espectro normal" en una reunión de la Sociedad Alemana de Física.

Planck utilizó la distribución de Boltzmann (16) para la probabilidad de encontrar un electrón vibrante en un estado r con energía ε_r , pero eliminó la hipótesis que conduce a que la energía media por electrón de la forma (36) sea independiente de la frecuencia, puesto que esto llevaba a la densidad de energía (38) en contradicción con la experiencia. Un electrón en movimiento armónico simple con frecuencia ν no podría tener cualquier energía en forma continua entre cero e infinito. **En su lugar, propuso que tal electrón podría tener solamente energías que fuesen múltiplos de su frecuencia de vibración**, en la forma

$$\varepsilon_n = nh\nu, \quad n = 0, 1, 2, \dots \infty \quad (39)$$

h es una constante que simplemente convierte unidades de frecuencia en energía, que Planck calculó más tarde para que sus resultados coincidieran con la curva empírica. Hoy se la conoce como *constante de Planck*, y su valor actual es aproximadamente

$$h \approx 6.63 \times 10^{-34} \text{ Joule segundo} \quad (40)$$

Ahora debemos calcular la nueva función de partición (33), con las restricciones a los valores de energía impuestos por la hipótesis de Planck (39).

Obsérvese que ya no podemos sustituir la sumatoria de (33) por una integral en la energía, porque la distribución de sus valores no es continua. De hecho, la mínima variación $\delta\varepsilon$ en la energía está dada, según (39), por

$$\delta\varepsilon = \varepsilon_{n+1} - \varepsilon_n = h\nu \quad (41)$$

Sustituyendo los resultados (41) y (39) en la función de partición (33), obtenemos

$$Z_\nu = \frac{h}{H} \sum_{n=0}^{\infty} \exp(-n\beta h\nu) \quad (42)$$

La suma (42) es fácil de hacer, pues corresponde a la conocida serie geométrica

$$\sum_{n=0}^{\infty} x^n = \frac{1}{1-x} \quad \text{si } |x| < 1 \quad (43)$$

En nuestro caso es

$x = \exp(-\beta h\nu) = \exp(-h\nu/kT) < 1$ puesto que $h\nu/kT$ es siempre positivo. Entonces la función de partición (42) resulta

$$Z_\nu = \frac{h}{H} \frac{1}{1 - \exp(-\beta h\nu)} \quad (44)$$

Utilizando esta expresión para la función de partición, la energía media entre todos los osciladores que vibran con igual frecuencia ν resulta (45)

$$\langle \varepsilon(\nu) \rangle = - \frac{\partial}{\partial \beta} \ln Z_\nu =$$

$$\frac{h\nu \exp(-\beta h\nu)}{1 - \exp(-\beta h\nu)} = \frac{h\nu}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

Lo interesante de la expresión (45) es que la energía media del electrón vibratorio depende ahora de su frecuencia de vibración, lo que no acontecía antes con la expresión (36).

Para valores pequeños de la frecuencia, tales que $h\nu/kT \ll 1$, se desarrolla la exponencial de (45) hasta el primer orden, y se recupera la expresión (36), que resulta ser entonces una aproximación para bajas frecuencias de la expresión correcta (45). Por este motivo, las curvas coinciden para bajas frecuencias en la figura 7.

Insertando (45) en (12) obtenemos una nueva expresión para la energía de todas las ondas con frecuencias entre ν y $\nu + d\nu$ en un recinto de volumen V en equilibrio a la temperatura T . Resulta

$$dE = \frac{8\pi Vh}{c^3} \frac{\nu^3}{\exp(h\nu/kT) - 1} d\nu \quad (46)$$

La gráfica de $dE/d\nu$ en función de la frecuencia obtenida con la expresión (46) coincide exactamente con las curvas experimentales de la figura 1, si la constante h adopta el valor dado en (40).

La integral de (46) para todas las frecuencias desde 0 a infinito da como resultado una energía proporcional a la cuarta potencia de la temperatura, como corresponde a la ley experimental de Stefan.

Finalmente, la expresión (46) da un máximo de densidad de energía, que coincide con la ley de Wien (1), proporcionando además el valor teórico para la constante.

6. Planck y el origen de la física cuántica

En realidad, Planck no tuvo noción ni intención de que su hipótesis sobre las posibles energías de un oscilador armónico de frecuencia ν , ecuación (39), fuese el origen de lo que después se llamara la Mecánica Cuántica, desarrollada por Schrödinger y Heisenberg en las décadas del 1920 y 1930. El cálculo correcto de las energías del oscilador armónico, utilizando la mecánica cuántica, difiere de la propuesta original del Planck. El resultado es

$$\varepsilon_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)h\nu, \quad n = 0, 1, 2, \dots \infty \quad (47)$$

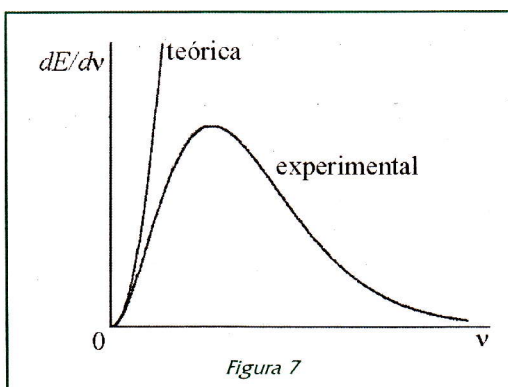


Figura 7

De hecho aquella hipótesis de Planck fue una "acción desesperada" para poder obtener una ecuación que se ajustara a los datos empíricos ya conocidos sobre el espectro de radiación del cuerpo negro. Planck pasó varios años de su vida posterior buscando una explicación de la radiación sin necesidad de introducir esta idea de la "cuantización" de la energía del oscilador armónico.

Además, la idea de que la propia radiación electromagnética estuviese compuesta de "partículas de energía" (los fotones) era totalmente ajena a Planck. Éste pensaba que la luz y las demás radiaciones transportaban su energía en forma continua (ondas), como parecían demostrar todos los experimentos conocidos de difracción e interferencia. La idea de "fotón" o "cuanto de luz" fue introducida por Einstein recién en 1905, al explicar el efecto fotoeléctrico.

Hoy se puede obtener directamente la ecuación (46) sobre la energía radiada por un cuerpo negro sin pasar por los electrones vibratorios en la cavidad. Se aplica directamente la Mecánica Estadística a un gas de fotones, como si fuesen partículas encerradas en un recipiente.

Si bien el resultado es el mismo, la diferencia con nuestra deducción presentada arriba es fundamental. La estadística de Boltzman y Maxwell, que conduce a la función de partición ecuación (18), ya no es válida para un gas de fotones. Es necesario introducir la relación de incertidumbre de Heisenberg, según la cual el valor del área de la celda elemental en el espacio de estados ($\delta x \times \delta p$) tiene un valor mínimo que

es justamente la constante de Planck h . Además es necesario utilizar la hipótesis de que las partículas elementales son indistinguibles entre sí, y de que cabe cualquier número de fotones en estas celdas de Planck. Todo ello conduce a una función de partición diferente de (18).

La nueva función de partición obtenida da origen a una nueva estadística llamada de Bose y Einstein. Las partículas que obedecen a esta estadística se llaman "bosones".

7. Bibliografía

- *Física Cuántica*. R. Eisberg, R. Resnick. Ed. Limusa (1979).
- *Física Estadística*. F. Reif. Berkeley Physics Course, Vol. 5. Ed. Reverté (1969).
- *Termodinámica*. F.W. Sears. Ed. Reverté (1974).
- *The theory of heat radiation*. M. Planck. Ed. P. Blakiston's son & Co. (1912).
- *Fundamentos de física estadística y térmica*. F. Reif. McGraw-Hill (1968).

El principio de D'Alembert

Montevideo, 20 de enero de 2002.

Sr. Redactor Responsable de la Revista Educación en Física, Prof. Sandry Ramírez.

De mi consideración:

En el volumen 6 Nro. 4 de Diciembre del 2001 leí un artículo titulado "El principio de D'Alembert", el que me merece algunos comentarios.

En primer lugar, el principio de D'Alembert no está correctamente planteado, ya que éste no se refiere a las fuerzas, sino a los trabajos elementales efectuados por las mismas cuando las partes del sistema se desplazan en cantidades infinitesimales arbitrarias (pero compatibles con las ligaduras). Este principio permite desentenderse de las fuerzas de vínculo entre las partes del sistema, así como de las fuerzas externas de constricción (o ligaduras) que impiden a las partes del sistema moverse en ciertas direcciones (tensiones de los hilos, fuerzas normales a las superficies de apoyo, etc.).

La ley de Newton aplicada a cada partícula i de un sistema, establece que la resultante $\mathbf{R}_i$ sobre la misma, menos la masa por la aceleración de la partícula, da un resultado nulo.

$$\mathbf{R}_i - m_i \mathbf{a}_i = 0 \quad (1)$$

Pero esta resultante es igual a la suma de todas las fuerzas externas $\mathbf{F}_i$ aplicadas al sistema (excepto las fuerzas de constricción externas) más las fuerzas internas de vínculos y de constricción $\mathbf{f}_i$, de forma que

$$\mathbf{R}_i = \mathbf{F}_i + \mathbf{f}_i \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1) obtenemos

$$\mathbf{F}_i - m_i \mathbf{a}_i + \mathbf{f}_i = 0 \quad (3)$$

lo cual es bien diferente de poner que

$\mathbf{F}_i - m_i \mathbf{a}_i = 0$, como es utilizado en dicho artículo cuando se intenta resolver el bloque que se mueve sobre el plano horizontal tirado por un bloque que cuelga (puesto que se ignoran las tensiones del hilo y la reacción de la polea sobre el mismo, que conforman las fuerzas $\mathbf{f}_i$ de la ecuación (3)).

Para poder ignorar las fuerzas de constricción $\mathbf{f}_i$ que es el objetivo que persigue D'Alembert, es necesario trabajar un poco más con la ecuación (3).

Si cada partícula del sistema experimenta un desplazamiento instantáneo (por ello llamado "virtual") y arbitrario (pero com-

patible con las posibilidades de movimiento del sistema) que llamaremos $\delta \mathbf{r}_i$, entonces el producto escalar de (3) por este vector desplazamiento da

$$(\mathbf{F}_i - m_i \mathbf{a} + \mathbf{f}_i) \cdot \delta \mathbf{r}_i = 0,$$

y, por consiguiente, la suma para todas las partículas del sistema resulta en

$$\sum_i (\mathbf{F}_i - m_i \mathbf{a}) \cdot \delta \mathbf{r}_i + \sum_i \mathbf{f}_i \cdot \delta \mathbf{r}_i = 0, \quad (4)$$

donde se ha separado expresamente la sumatoria de las fuerzas de constricción $\mathbf{f}_i$.

El segundo término del primer miembro de (4) contiene ahora los trabajos elementales efectuados por dichas fuerzas de constricción o ligadura. *Esta sumatoria es la que se anula en una gran cantidad de casos*, haciendo desaparecer las fuerzas de ligadura en el problema. Si los cuerpos están unidos por hilos inextensibles o varillas rígidas, las fuerzas $\mathbf{f}_i$ son, o bien parejas de acción-reacción (tensiones del hilo sin masa) sobre cuerpos que tienen igual desplazamiento, y por lo tanto la suma de los trabajos se anula, o bien son fuerzas externas de sustentación de las partes del sistema (normales, tensiones de hilos que solamente sostienen los cuerpos). En este último caso, los trabajos son nulos por ser las fuerzas perpendiculares a los desplazamientos.

En estos casos, entonces, la expresión (4) recién se transforma en el conocido principio de D'Alembert, que dice

$$\sum_i (\mathbf{F}_i - m_i \mathbf{a}) \cdot \delta \mathbf{r}_i = 0, \quad (5)$$

donde las fuerzas $\mathbf{F}_i$ son solamente las fuerzas aplicadas (que usualmente son datos) sobre cada parte del sistema. Ha desaparecido toda referencia a las fuerzas internas y de ligadura sobre el sistema (que usualmente son desconocidas).

Pero es fundamental recalcar que, de la ecuación (5) NO SE PUEDE concluir que sea

$$\mathbf{F}_i - m_i \mathbf{a} = 0,$$

ni tampoco que

$$\sum_i (\mathbf{F}_i - m_i \mathbf{a}) = 0,$$

lo cual es una violación del segundo principio, ecuación (3).

Supongamos que se trata solamente de dos cuerpos, unidos por un hilo, como en los ejemplos del artículo de marras. Apliquemos el principio de D'Alembert (5) a este ejemplo. El bloque 1 va por el plano horizontal, tiene una masa M y se mueve, digamos, en la dirección x . El bloque 2 que cuelga tiene masa m y se mueve en la dirección y . Entonces los productos escalares de (5) para ambos bloques se escriben como

$$(F_{1x} - Ma_{1x})\delta x + (F_{2y} - ma_{2y})\delta y = 0 \quad (6)$$

Donde F_{1x} es la fuerza externa aplicada sobre la masa M en la dirección x , que es cero porque la tensión del hilo es una fuerza de vínculo que desaparece en la ecuación del principio de D'Alembert. La fuerza F_{2y} es la fuerza externa aplicada sobre la masa m , la cual es solamente su peso mg . Entonces la ecuación (6) resulta

$$-Ma_{1x}\delta x + (mg - ma_{2y})\delta y = 0. \quad (7)$$

Por último, como el hilo es inextensible, los desplazamientos δx y δy deben de ser iguales, así como las componentes a_{1x} del bloque 1 en la dirección x y a_{2y} del bloque 2 en la dirección y . Llamémosle a a estas componentes. De esto se deduce que la ecuación (7) toma su forma final conocida,

$$-Ma + mg - ma = 0. \quad (8)$$

El autor, a pesar de utilizar equivocadamente como principio de D'Alembert la expresión (también errónea)

$$\sum_i (\mathbf{F}_i - m_i \mathbf{a}) = 0, \quad (9)$$

llega a un resultado correcto en la aceleración del bloque de masa m que cae arrastrando al otro de masa M en el plano horizontal. Esto es porque comete otro error que compensa el primero. Utiliza la expresión (9), que es **vectorial**, sumando solamente los módulos de las fuerzas involucradas, que, como se observa, son perpendiculares.

En segundo lugar, e independientemente de los comentarios hechos sobre el principio de D'Alembert, el autor hace algunas afirmaciones que violan el principio fundamental de la Mecánica, si bien estoy seguro de que no ha sido esa su intención.

En la página 6 del referido artículo el autor dice textualmente: *"i) Un lector cuidadoso habrá reparado en el hecho de que no siempre la aceleración del sistema es proporcional a la fuerza neta aplicada a la masa del mismo."*

Esta afirmación no es cierta. De hecho, la aceleración de un sistema es SIEMPRE proporcional a la fuerza neta aplicada sobre la masa del mismo. Esta afirmación no es otra cosa que el principio fundamental de la Dinámica, o segunda ley de Newton. La aceleración de un sistema de varias partículas se define como la aceleración de su centro de masas. No importa lo complejo que sea el sistema, esta aceleración es igual a la fuerza neta sobre el sistema dividido la masa total del mismo.

Por lo que sigue a continuación en el artículo, deduzco que el autor quiso decir que "la aceleración de UNA PARTE de un sistema de varias partículas, no siempre es

proporcional a la fuerza neta sobre TODO EL SISTEMA." Este es el caso del ejemplo mencionado, donde las partes del sistema están vinculadas pero no rigidamente (a través de un hilo).

A continuación el autor hace otra afirmación que, a mi entender, también es errónea. Dice: *"ii) Es fácil darse cuenta de que los casos analizados tradicionalmente son sistemas de cuerpos sencillos,..., los que permiten establecer la esencia de los principios de la Dinámica pero que, por el contrario, dan la falsa idea de que cualquier situación planteada funciona así."*

En fin, yo pienso que la genialidad de la construcción de la Mecánica es que, efectivamente, CUALQUIER SITUACIÓN PLANTEADA FUNCIONA ASÍ, es decir, funciona siempre la ecuación $F_{\text{neto}} = M_{\text{sistema}} a_{\text{sistema}}$, tratándose de un sistema de referencia inercial.

La diferencia entre una única partícula y un sistema de varias partículas no reside en que se deba cambiar la forma de aplicar las leyes básicas, sino en el hecho de que, en un sistema de varias partículas, nos puede interesar la aceleración de una de ellas, teniendo la información de la fuerza neta sobre todo el sistema.

En resumen, como dije antes, creo que los errores en estas afirmaciones se deben tal vez a una confusión entre la aceleración del sistema, y la aceleración de una parte del mismo.

Sin otro particular, saludo a Ud. atentamente:

Prof. Ismael Núñez

E s p a c i o d e A . P . F . U .

Encuentro de Paso Severino

Los días 1, 2, 3 de marzo de 2002 se desarrollaron las jornadas sobre el “rol de la física en la enseñanza media”, en el complejo de Paso Severino. Se trabajó intensamente en régimen de talleres, hubo 2 paneles uno de ellos con la Prof. Ana Lopater y el Prof. Daniel Martínez y otro con los Prof. Mario Guerra, Gustavo Klein e Ismael Nuñez. De esas jornadas surgió un documento un delegado y un grupo de trabajo.

Dicho documento fue entregado a la Comisión que estudia la transformación de la enseñanza media. La Prof. Graciela Scavone y el grupo de trabajo se entrevistaron con dicha Comisión, donde se defendió nuestra asignatura y se pidió un delegado de Física en la Comisión TEMS. Con fecha 8/9/2002 la comisión TEMS nos comunica “ ...

No obstante y de acuerdo a la resolución de ANEP que establece su integración esta no responde necesariamente a una delegatura por asignaturas o Asociaciones de Profesores, lo que no ha impedido ni impedirá que en las distintas instancias de discusión y elaboración se tomen en cuenta las opiniones y propuestas de las mismas, así como distintos colectivos que están reflexionando acerca de este proceso de transformación “ Posteriormente la Directiva de la Asoc. envió dicho documento a I CODICEN y CES.



Espacio de A.P.F.U.



Asamblea General Extraordinaria

El 27 de abril se realizó una asamblea General Extraordinaria en donde se aprobaron las siguientes mociones:

1. Ratificar lo acordado por consenso en Paso Severino en el sentido de tratar de hacer valer nuestra opinión como Asociación en los ámbitos que podamos y en especial en la TEMS.
2. Oponernos firmemente a unir en un solo curso el teórico y el práctico, entendiendo que esto significa eliminar el laboratorio. Afirmar que para que se pueda cumplir el "rol de la física" según el documento de Paso Severino es necesario dar más importancia y tiempo al laboratorio
3. Ratificar la comisión de trabajo de la A.P.F.U con carácter abierto a la participación de otros docentes.
4. Dado que la asociación de Profesores de Química está estudiando la posibilidad de separar Física y Química en el curso de 3. Creemos que la A.P.F.U debe impulsar la creación de una comisión integrada por un máximo de 6 docentes, cuyo objetivo sea presentar una propuesta alternativa
5. Apoyar la carta sobre los Ay. Preparadores, firmarla como A.P.F.U

VI Encuentro Internacional de Educación en Física

Actualmente estamos preparando nuestro VI Encuentro Internacional de Educación en Física del 16 al 20 de setiembre de 2002 Carmelo- Colonia para dicho encuentro contamos con la presencia de destacados colegas de Argentina, Brasil, México, Chile, Paraguay y Uruguay

Espacio de A.P.F.U.

Jornada en Minas

El 21 y 22 de julio de 2002 se realizaron jornadas de actualización docentes sobre el "uso de la interface Cassy en el departamento de Lavalleja -Minas. Los Profesores Mariel Mayero y Edgar Gómez fueron los encargados de coordinar dichas jornadas las cuales contaron con el auspicio de la Inspección de Física.. En las mismas asistieron Profesores de Maldonado y de Lavalleja. Es nuestro objetivo seguir fomentando jornadas de actualización Docente en diferentes partes del país. Solicitamos que los compañeros propongan temas y lugares

Elecciones de APFU

Queremos recordarles que en el mes de mayo de 2003 se realizaran elecciones para elegir la nueva comisión directiva

Direcciones de E- Mail

Con el fin de mantener una comunicación más fluida nos gustaría que nos hicieran llegar las direcciones de mail en un correo que en el asunto diga mailnuevo. Si reciben información por mail no es necesario.

Olimpiadas de Física

Felicitamos a los Docentes y Estudiantes Daniel López (Instituto "Eduardo Vazquez Acevedo" de Montevideo) y Claudina Rattaro (Liceo "Armand Ugon" de Carmelo) por la instancia de Selección Nacional de la VII Olimpiada Iberoamérica de Física cuya instancia final se realizará en la ciudad de Antigua, Guatemala del 29 de Setiembre al 4 de Octubre de 2002

EDICIONES



*Un proyecto
editorial
al servicio
de estudiantes
y autores uruguayos.*

**HISTORIA - MATEMÁTICA
LITERATURA - FILOSOFÍA
CIENCIAS SOCIALES - ECOLOGÍA
ADMINISTRACIÓN - DERECHO
FÍSICA - QUÍMICA**

**Descuentos especiales para
estudiantes y docentes**

Mercedes 1786 - 11200 Montevideo
Telefax: 408 6985 - E-mail: edideas@adinet.com.uy



El tamaño de la luna

UN PROBLEMA DE PERCEPCIÓN

Profesora Patricia Linn

*"Casi fuera del cielo ancla entre dos montañas
la mitad de la luna.*

*gigante, errante noche, la cavadora de ojos.
a ver cuántas estrellas trizadas en la charca."*

Pablo Neruda

Cuando la luna sale de noche por el horizonte, o se pone, usualmente se la ve de un tamaño mayor al que parece tener cuando está alta en el cielo, hecho que se exagera notoriamente en películas románticas, o en cuadros como los de Cúneo. La luna no se agranda ni se achica, tampoco cambia su distancia al observador, por lo que debiera verse en todo momento del mismo tamaño. Se ve diferente debido a una ilusión óptica. La explicación de la ilusión ha sido motivo de discusión durante siglos. Actualmente dos teorías opuestas entre sí pretenden explicarlo.

El Profesor Dr. James H. Kaufman de la Universidad de Nueva York, y su hijo el Dr. Lloyd Kaufman han realizado experiencias convincentes que fundamentan una de las teorías. Sus trabajos y conclusiones fueron publicados a principios de 2000 como artículo de tapa en la revista científica "Proceedings of the National Academy of Sciences". La teoría que ellos defienden explica que la luna se ve más grande sobre el horizonte porque la mente interpreta que la distancia a la luna cuando la ve cerca del horizonte es mayor que la distancia a la luna cuando la ve en el cenit.

La teoría opuesta es más fácil de comprender. Si se ve la luna más grande debe ser porque la mente interpreta que está más cerca. Pero justamente las verdaderas ilusiones son aquellas en que las deducciones y preconceptos conscientes no reflejan la manera en que el cerebro responde

al mundo exterior. La importancia de este trabajo de los Kaufman radica en que este fenómeno es un enigma cuya respuesta es vital para aquellos que buscan comprender la manera en que el cerebro percibe el espacio y las distancias.

Ver

Las imágenes del mundo exterior son percibidas por el observador por medio de los ojos. Estos en principio funcionan como una cámara fotográfica. Los ojos, como la cámara, tienen un lente llamado cristalino, un diafragma que permite la mayor o menor entrada de luz según las circunstancias, llamado iris, y una película sensible a la luz donde se proyecta la imagen que es la retina. A diferencia de la cámara fotográfica el revelado de las imágenes se hace instantáneamente. Se hace por un procedimiento que incluye una transmisión por medios químicos de la imagen al cerebro y una interpretación de la imagen por este.

Las células nerviosas de la retina dentro del ojo son impactadas por la luz reflejada por los objetos que ve. En respuesta al estímulo luminoso las células envían señales (a través de los nervios) que están relacionadas con la intensidad de la luz que iluminó cada célula. Ocurre algo semejante con la película fotográfica.

Esta tiene una lámina cubierta por sustancias químicas sensibles a la luz. Durante el proceso de revelado la lámina reacciona con otras sustancias químicas. Según la in-

tensidad de la luz que llegó a cada partícula de la lámina al tomar la fotografía será la intensidad de la reacción con el revelador. Por lo que finalmente el revelador reproduce la imagen de una forma visible para todos. En el cerebro no se reproduce la imagen. Nadie más que el observador "ve" la imagen.

Si las señales que llegan al cerebro reflejaran la imagen tal cual llegó a la retina, se podría decir que la visión funciona como las cámaras fotográficas o las filmadoras. Pero esto no es así. Una experiencia impactante que lo demuestra consiste en medir (por comparación con un círculo dibujado en un papel) el tamaño percibido de una pelota a medida que el experimentador se aleja de ella. Al mismo tiempo se toman fotografías de la pelota. Se observa que a medida que el observador y la máquina fotográfica se alejan de la pelota el tamaño de la imagen de esta disminuye, como era de esperar. Pero la reducción de tamaños es mucho más pronunciada en las imágenes fotográficas que en las imágenes registradas por el ojo humano.

De lo que se deduce que en la etapa final en la que el cerebro interpreta la imagen hay un aumento de tamaño con respecto a la que el ojo (cómo caja fotográfica) registra. Otro caso que revela como el cerebro elabora las imágenes que se forman en la retina son los estudios del punto ciego del ojo. En estas experiencias se observa que el cerebro modifica la imagen agregándole elementos para rellenar el espacio correspondiente al punto ciego.

Ilusión Lunar

La teoría que los Kaufman pretenden haber confirmado recientemente la había publicado James Kaufman en 1960 como resultado de un trabajo realizado con su profesor. Decía que la mente de una per-

sona calcula las distancias de los objetos que percibe. Cuando la luna está sobre el horizonte los cálculos se ven influenciados por la información recibida del terreno, bosques, montañas, la que indica que la luna se encuentra lejos. Por el contrario cuando la luna está elevada en el cielo, hay pocas referencias de distancia por lo que la mente interpreta que está más cerca. Es una ilusión semejante a la llamada "Perspectiva de Ponzo". En esta dos rectángulos del mismo tamaño ubicados en diferentes lugares sobre el dibujo de una vía de tren (trazada con líneas que se unen en el infinito para dar la perspectiva de distancia en vez de líneas paralelas como son las vías realmente) parecen de diferente tamaño. Del mismo modo la luna parece más grande cuando está rodeada de imágenes de accidentes geográficos o edificios que se encuentran lejos.

No se trata de una idea novedosa. El astrónomo griego Ptolomeo, doscientos años antes de Cristo, planteó la teoría que defienden los Kaufman. Decía que cualquier objeto visto por sobre un "espacio lleno" como ser ver la luna sobre el horizonte, parecería más lejos que objetos a la misma distancia pero vistos en un "espacio vacío". Esta teoría de "distancia aparente" fue desarrollada con cierto detalle en el siglo 11 por el astrónomo árabe Al-Hazan. Muchos otros científicos antes y después de Al-Hazan escribieron sobre el tema, pero todas las explicacio-



nes estaban basadas en suposiciones sin fundamento experimental.

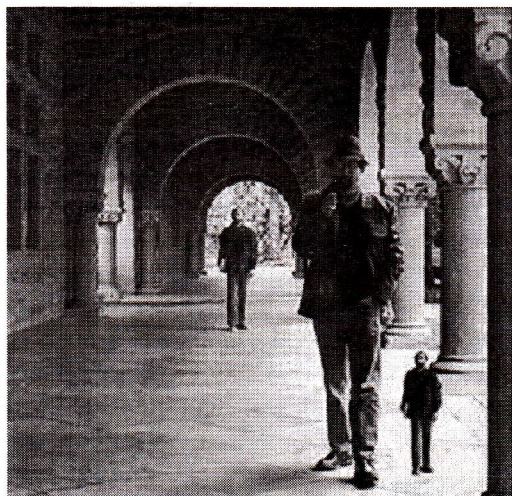
De la misma manera la teoría opuesta se basa en suposiciones. En 1965, unos años después de publicada la teoría de Kaufman, otra explicación fue planteada formalmente. En esta se afirma (al contrario de lo que decía Kaufman) que debido a que la luna se ve más pequeña cuando se encuentra en el cenit, el cerebro está percibiendo la distancia como mayor. La suposición en la que se basan los que adhieren a esta teoría, no demostrada, es que el tamaño aparente de un objeto gobierna las percepciones de distancia. Buscando el motivo de la discrepancia Kaufman (hijo) se dió cuenta que en la mayoría de las experiencias, realizadas para averiguar como funciona la mente durante la percepción de objetos, se miden (de diferentes maneras) los tamaños percibidos, pero no las distancias percibidas. De esta observación dedujo que debía encontrar la manera de medir distancias percibidas para resolver este antiguo enigma. Con el problema planteado claramente padre e hijo pusieron manos a la obra e idearon dos experiencias utilizando computadoras que controlan un aparato que les permite proyectar en el espacio figuras estereoscópicas a distancias ópticamente infinitas.

Con este equipo llevaron a un gran número de observadores a lo alto de una co-

lina en una noche despejada. Se les pidió que manipularan los controles de la computadora para ubicar una esfera blanca, proyectada por el equipo en el cielo; a una distancia que fuera la mitad que a la que estaban de la luna real. En todos los casos pusieron la esfera proyectada o luna artificial a una distancia mayor cuando la luna real estaba sobre el horizonte que cuando estaba elevada entre las estrellas. En la segunda experiencia se les pedía que colocaran la esfera proyectada por su equipo a la misma distancia que otra esfera proyectada sobre el cielo nocturno por el equipo de los investigadores. En todos los casos los observadores dijeron que al manipular los controles para desplazar la luna que ellos proyectaban, el tamaño de la luna proyectada se hacía más pequeño cuando la adelantaban, en vez de más grande como esperaban.

Límites de la ciencia

El razonamiento humano y los instrumentos creados por el hombre le permiten crear una imagen de la realidad diferente a la que la percepción por los sentidos le ofrece. En este caso le permiten, en primer lugar, comprender que lo que los sentidos le informan no es real, la luna no cambia de tamaño. En segundo lugar le permite comprender porque percibe la luna de diferentes tamaños. En eso consiste la Ciencia, es el estudio del universo que el hombre, como especie, es capaz de percibir utilizando todos los medios de que disponga para mejorar esa percepción. Para realizar dicho estudio los científicos deben contrastar sus observaciones con las de los otros individuos, limitando así el campo de la Ciencia a los aspectos de la realidad que pueden ser percibidos por la mayoría de los individuos. La imagen que de esta forma el hombre construye del Universo está condicionada a su capacidad de percibir, razonar, crear instrumentos, y de comunicarse con los demás hombres, pero se amplía cuando comprende el proceso por el cual su cerebro interpreta lo que percibe.



Curiosos Casos, Cosas Curiosas

Visitó Montevideo y la recorrió de punta a punta hace 76 años. La ciudad y su gente despertaron en él inteligentes comentarios, que anotó prolijamente en su diario.

Amaba la música, tocaba el piano y el violín, disfrutaba la pesca en agua mansa y le disgustaba ser considerado un snob. No quería perder tiempo en hacerse cortar el cabello largo que formaba rizos en la nuca. Era distraído; le costaba reconocer a la gente. Era necesario recordarle quiénes eran los profesores que ya lo habían saludado varias veces. Desinteresado. Aceptaba lo que las universidades le ofrecían, sin discutirlo.

Cuando visitó Montevideo, en abril de 1925, ya había recibido el Premio Nobel de Física por su explicación del efecto fotoeléctrico y sus aportes a la Física Teórica. Era toda una leyenda. Los Rossenblatt aún recuerdan su gran sentido del humor, y que le gustaba asociar su teoría a las cosas de la vida. «¿Qué es el amor?» - le preguntó la joven China Filevich Rossenblatt, a escasos días de contraer matrimonio, cuando visitó Uruguay «¿El amor? Es mucho más complejo que mi teoría de la relatividad» - contestó sonriendo Albert Einstein.

El físico llegó a Montevideo en el «Ciudad de Buenos Aires» el 25 de abril de 1925, para una estadía de una semana, respondiendo a una invitación de la Facultad de Ingeniería para dictar tres conferencias. Asimismo tenía la intención de aprovechar el viaje para contactarse con el Dr. Carlos Vaz Ferreira, autor de «Lógica Viva» y «Fermentario», ensayos pedagógicos que consiguieron interesar a Einstein.

Aunque estaba previsto su alojamiento en el Parque Hotel, el genio alemán prefirió aceptar la invitación de Nahum

Rossenblatt y Esther Filevich, un matrimonio judío que por aquel entonces vivía en la calle 18 de julio y Convención. Los Rossenblatt habían inmigrado a Uruguay desde Europa en 1904. Sus hijos, José y Octavio, fueron los primeros judíos egresados de la facultad de Medicina.

De acuerdo a los crónicas del momento, se sabe que Einstein fue acompañado de un «Secretario Honorario», que ofició de guía.

El nombramiento del Ing. Geille Castro fue una recompensa por haber luchado en 1923 contra la escasez de bibliografía de Einstein y haber dictado un curso libre sobre la teoría de la relatividad.

Una tarde, Geille lo llevó a visitar una escuela pública en el Prado. Al recorrer la Avenida Agraciada, comentó acerca de lo recargado de las fachadas, propio de la arquitectura de principios de siglo. Al ver la quinta de Iglesias, con su frente colonial liso, dijo «Esto es lo mejor; la sencillez debería reinar en todos los órdenes de la vida.»

El Palacio Legislativo le valió el siguiente comentario: «el nuevo edificio de gobierno, casi terminado, es de muy buen gusto, en estilo Alto Renacimiento.»

El mito dejaría en los uruguayos la misma impresión que dejó a lo largo de toda su vida, en cualquier rincón del mundo: bonhomía, humildad, llaneza... y un claro desconcierto en unos y en otros. Tanto en quienes esperaban al supremo intelectual, al revolucionario de la física, al teórico de élite, como en quienes esperaban al excéntrico, al loco, quizás al sibarita. Ya en ese primer encuentro,



Einstein demostró poseer una gran cordialidad para encarar sus relaciones personales y dejando de lado todo protocolo impuesto a su visita, desde su llegada, un tono de informalidad. Einstein fue recibido en sesión solemne por la Cámara de Senadores, pronunció una conferencia sobre la relatividad en el Paraninfo de la Universidad de la República, visitó la Facultad de Ingeniería, ubicada en esa época en la avenida Uruguay y se fue para no volver jamás.

Una tarde, el notable físico, que aportó al conocimiento de este siglo la Teoría de la Relatividad y la concepción del campo unificado, recorrió a pie el centro del Montevideo de la época, acompañado por Carlos Vaz Ferreira, su anfitrión. Como dos amigos, se sentaron imprevistamente a conversar en un banco de la plaza Artola, que no es otra que la llamada, popularmente, Plaza de los Bomberos. Los dos hombres, en ese momento ya personalidades sobresalientes de su tiempo, se conocían y profesaban un afecto mutuo, sustentado fundamentalmente en el respeto intelectual. Ambos leían sus obras y gustaban de intercambiar correspondencia para tratar, a la distancia, temas de interés común. Era lógico, entonces, que aprovecharan este encuentro para charlar, sin testigos, en un momento de privacidad. Sin embargo, la prensa de la época recogió, al menos en parte, la conversación.

"Mi concepto del universo es circunferencial. Partiendo de un punto, la línea parece que se aleja de él, pero en realidad a él se acerca y en él termina. Quiero decir, que lo que se aleja, se acerca, que lo que se va, viene; que lo que está aquí, está realmente allí; que la luz es la sombra; que lo que es, no es..." explicó el ilustre visitante a su dilecto amigo, enfrascados ambos en la aventura de una plática personal, directa, que hasta ahora había sido esquiva. Con asombro, un periodista del diario El País seguía paso a paso la conversación. Con la mayor

discreción del mundo, y haciendo gala de un envidiable sigilo, recogió el diálogo en una versión taquigráfica que el matutino de la Plaza Cagancha publicaría en su edición del 25 de abril de 1924.

"No creo tanto pero sí que lo que se aleja puede en realidad estarse acercando; que lo que está aquí puede realmente estar allí; que la luz puede ser la sombra; que las apariencias engañan, que lo que es, puede ser que lo sea y puede ser que no..." replicó Vaz Ferreira, cuyo placer por la polémica de ideas era bien conocida en su tiempo.

"Fijaos en la luz del sol..." insistió Einstein.

"¿Y quién puede afirmar que esa luz es del sol y que el sol es él?" interrogó el filósofo uruguayo.

"Es que seguramente ni el sol es el sol, ni la luz es la luz, ni que la estoy viendo, ni yo soy yo..." dictaminó Einstein que, en el transcurso de la charla que ambos sostuvieron, habló en un español llamativamente claro.

"Yo no llego a ser tan radical" contestó Vaz Ferreira al decir que "no afirmo que yo no sea yo, pero digo que es posible que no lo fuera o que lo fuera", al incursionar en una de sus líneas argumentales favoritas.

"Usted dice que dice, pero por mi teoría, en verdad, no dice nada..." zanjó el hombre que hacía tambalear los cimientos de la Física en el primer cuarto de siglo.

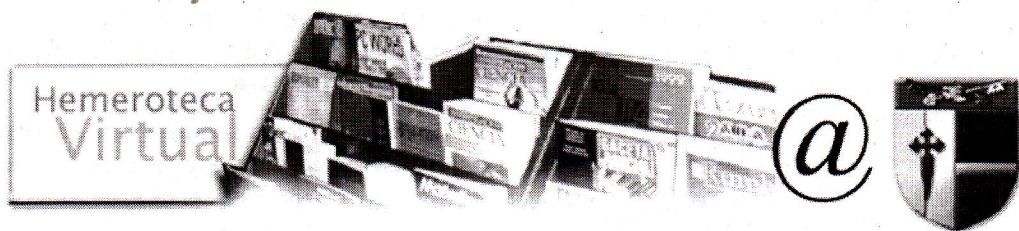
"Y por la mía, usted puede ser que esté diciendo algo y puede ser que no", ratificó en sus trece el autor de Lógica Viva.

Llegados a este punto, Einstein tomó el toro por los cuernos: "¿Hablo con Vaz Ferreira?", preguntó. La respuesta no se hizo esperar: "Según mi teoría puede ser que sí", sentenció muy seguro su anfitrión. Y a continuación, retrucó: "Y yo, ¿hablo con Einstein?"

FUENTES: archivo diario El País y Revista Posdata Nro. 13 - 02/12/94

WEB

PRIMERA RECOMENDACIÓN



http://rsta.pucmm.edu.do/biblioteca/hemeroteca/enlaces/publespeciales/ciencias_naturales/fisica.htm

Quieres leer Física de la buena de todo el mundo, pues entra a la **hemeroteca Virtual de Física** y te encontrarás con: FísicaLiving Reviews in Relativity, Acta Physica Polonica A, Europhysics Letters, Radioprotection, New Journal of Physics, Journal of Physical Studies, Particle Physics, The Japanese Journal of Applied Physics, Reviews of Modern Physics, Physics Today, American Journal of Physics, Acta Physica Polonica B, Annales de Physique, The European Physical Journal, Canadian Journal of Physics, Journal of the Physical Society of Japan, Nuclear Science and Engineering, Physics of Fluids, Radioactivity & Radiochemistry, Applied Spectroscopy, Physics Education, Computers in Physics Journal de Physique, American Journal of Physics, Europhysics Letters, Applied Physics Letters, Physical Review, Magnetic Resonance in Solids, The Industrial Physicist, Physics of Plasmas Physics World, Bulletin of the Atomic Scientists, Mathematical Physics.

SEGUNDA RECOMENDACIÓN



Física re-Creativa

Por Salvador Gil y Eduardo Rodríguez

Universidad Nacional de San Martín y Universidad de Buenos Aires - Buenos Aires - Argentina

Español

English

Proyectos experimentales de física usando nuevas tecnologías

<http://www.fisicarecreativa.com/guias/>

¿Conoces el libro **Física re-Creativa** de Salvador Gil y Eduardo Rodríguez? Pues aunque no lo conozcas aquí están las guías en formato **pdf**, recomendados por muchos docentes puede ser una buena fuente de ideas.

OTRAS RECOMENDACIONES

No menos importantes, las que siguen tienen significativo valor según el campo de aplicación. La primera: una recopilación de applets de buen diseño que apoyan el trabajo en el laboratorio con la posibilidad de aplicación en equipos de bajas prestaciones. La segunda: Física actualizada. La siguiente no necesita presentación (aunque si algo de conocimientos en inglés)

Factores de Conversión Física (I)

Tomado de Raymond A. Serway

Las tablas son versiones basadas en la traducción, modificación y reformatación de tablas escritas por terceros.

Factores de Conversión de Longitud

Unidad	m	cm	km	in.	ft	mi
1 metro	1	10^2	10^{-3}	39,37	3,281	$6,214 \times 10^{-4}$
1 centímetro	10^{-2}	1	10^{-5}	0,3937	$3,281 \times 10^{-2}$	$6,214 \times 10^{-6}$
1 kilómetro	10^3	10^5	1	$3,937 \times 10^4$	$3,281 \times 10^3$	0,6214
1 pulgada (in)	$2,540 \times 10^{-2}$	2,540	$2,540 \times 10^{-5}$	1	$8,333 \times 10^{-2}$	$1,578 \times 10^{-5}$
1 pie (ft)	0,3048	30,48	$3,048 \times 10^{-4}$	12	1	$1,894 \times 10^{-4}$
1 milla (mi)	1.609	$1,609 \times 10^5$	1,609	$6,336 \times 10^4$	5.280	1

Factores de Conversión de Masa

Unidad	kg	g	slug	u
1 kilogramo	1	10^3	$6,852 \times 10^{-2}$	$6,024 \times 10^{26}$
1 gramo	10^{-3}	1	$6,852 \times 10^{-5}$	$6,024 \times 10^{23}$
1 slug (lb/g)	14,59	$1,459 \times 10^4$	1	$8,789 \times 10^{27}$
1 unidad de masa atómica (u)	$1,660 \times 10^{-27}$	$1,660 \times 10^{-24}$	$1,137 \times 10^{-28}$	1

Factores de Conversión de Tiempo

Unidad	s	min	h	día	año
1 segundo	1	$1,667 \times 10^{-2}$	$2,778 \times 10^{-4}$	$1,157 \times 10^{-5}$	$3,169 \times 10^{-8}$
1 minuto	60	1	$1,667 \times 10^{-2}$	$6,994 \times 10^{-4}$	$1,901 \times 10^{-6}$
1 hora	3.600	60	1	$4,167 \times 10^{-2}$	$1,141 \times 10^{-4}$
1 día	$8,640 \times 10^4$	1.140	24	1	$2,738 \times 10^{-3}$
1 año	$3,156 \times 10^7$	$5,259 \times 10^5$	$8,766 \times 10^3$	$8,766 \times 10^3$	1

Factores de Conversión de Velocidad

Unidad	m/s	cm/s	ft/s	mi/h
1 metro/segundo	1	10^2	3,281	2,237
1 centímetro/segundo	10^{-2}	1	$3,281 \times 10^{-2}$	$2,237 \times 10^{-2}$
1 pie/segundo	0,3048	30,48	1	0,6818
1 milla/hora	0,4470	44,70	1,467	1

Nota: 1 mi/min = 60 mi/h = 88 ft/s.

Factores de Conversión de Fuerza

Unidad	N	dyn	lb
1 newton	1	10^5	0,2248
1 dina	10^{-5}	1	$2,248 \times 10^{-6}$
1 libra	4,448	$4,448 \times 10^5$	1

LABORATORIO

¿Qué hay de nuevo ...?

Resonancia en sistemas mecánicos

Barnech, Andrea - De Souza, Alvaro - Trinidad, Guzmán

Resumen

En este proyecto se estudian las oscilaciones de un sistema mecánico masa-resorte forzado armónicamente con frecuencia variable.

Se obtuvo la gráfica $A = f(\omega_{imp})$ demostrando que el pico de amplitud se obtiene cuando $\omega_{imp} = \omega_0$.

Debido a que el factor de calidad de nuestro sistema es alto ($Q=8$) se registró la etapa transitoria para un $\omega_{imp} \rightarrow \omega_0$ (batido)

Objetivos

- 1- Verificación de la condición de resonancia
- 2- Determinación del factor de calidad del sistema
- 3- Registro de la etapa transitoria

Fundamento teorico

El sistema que estudiaremos es un oscilador armónico forzado y amortiguado.

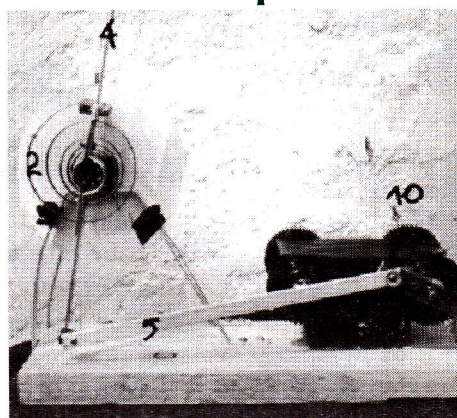
La ecuación de la segunda ley de Newton que describe este movimiento será:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -k \cdot dx - b \cdot \frac{dx}{dt} + F_0 \cdot \cos \omega t$$

La solución de esta ecuación es

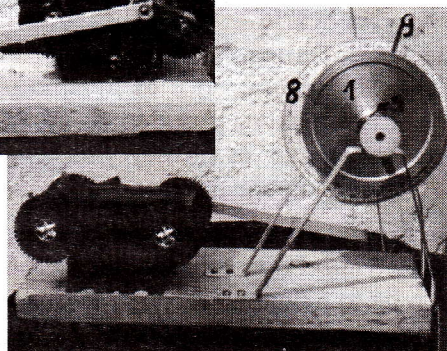
$$x = B \cdot e^{-\gamma t/2} \cdot \cos(\omega_1 t + \beta) + A \cdot \cos(\omega t - \delta)$$

Descripción del sistema



- 1-volante
- 2-resorte helicoidal
- 3-eje
- 4-fleje
- 5-biela

- 6-tornillo excéntrico
- 7-motor
- 8-disco graduado
- 9-índice fijo al volante
- 10-índice fijo a la rueda



Cuando se aplica una fuerza impulsora externa para forzar la oscilación, hay una etapa inicial del movimiento (transitoria) que tiene contribuciones debidas a dos frecuencias: la natural del sistema y la de forzamiento. En esta parte de la solución la amplitud disminuye (en general rápidamente) con el tiempo, de forma tal que luego de transcurrido un intervalo relativamente pequeño la misma se hace despreciable y solo queda la solución estacionaria.

El factor γ es la constante de amortiguamiento del sistema (b/m) y por lo tanto se vincula con el factor de calidad Q ($\gamma = \omega_0/Q$).

Esta constante puede hacer que la parte transitoria tenga una duración más extensa si el amortiguamiento es bajo, es decir si el factor de calidad es alto.

Si logramos un sistema que cumpla esa condición la respuesta del mismo será de batido. Superada la etapa transitoria, la ecuación del movimiento se reduce a la estacionaria:

$$x = A(\omega) \cdot \cos(\omega t - \delta)$$

Siendo:

$$A(\omega) = \frac{F_0 / m}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega \omega_0 / Q)^2]^{1/2}} \quad (a)$$

Y la función

$$\text{tg} \delta(\omega) = \frac{\omega \omega_0 / Q}{\omega_0^2 - \omega^2} \quad (b)$$

De (a) podemos concluir que cuando $\omega_{\text{imp}} = \omega_0$ el denominador es mínimo y la amplitud es máxima y podemos observar que cuanto mayor es Q, mayor es el valor de A_{max} que logra el sistema.

De (b) podemos concluir que al acercarse ω_{imp} a ω_0 el denominador tiende a 0 y por lo tanto δ tiende a $\pi/2$.

La fuerza impulsora armónica responde a la ecuación:

$$F = F_0 \cdot \cos \omega t \quad (I)$$

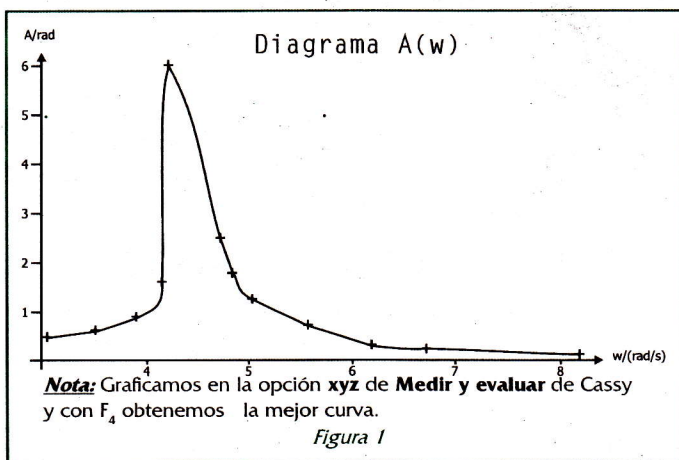
La velocidad del sistema se obtiene derivando dx/dt

$$dx/dt = -A(\omega) \cdot \text{sen}(\omega t - \delta)$$

$$\text{Si } \delta = \pi/2 \text{ entonces } v = A(\omega) \cdot \cos \omega t \quad (II)$$

De (I) y (II) se deduce que en la resonancia la fuerza está en fase con la velocidad lo que hace que el aporte de energía sea máximo.

Al variar la frecuencia de la fuerza impulsora, el sistema responde variando la amplitud, la curva $A=f(\omega)$ o curva de resonancia, nos muestra un pico para el caso de A_{max} o sea de resonancia.



A partir de esta curva se puede determinar Q dado por el cociente

$$Q = \omega_0 / \Delta\omega$$

Siendo $\Delta\omega$ el ancho de la curva de resonancia a la mitad de la altura.

Con respecto a la frecuencia de resonancia cabe aclarar que para osciladores forzados con amortiguamiento, se da el hecho de que la amplitud máxima se alcanza a una frecuencia ω_{res} un poco menor que ω_0 .

La frecuencia que medimos difiere de ω_0 según la relación:

$$\omega_{\text{res}} = \omega_0 (1 - 1/2Q^2)^{1/2}$$

Para $Q > 5$

$$\omega_{\text{res}} / \omega_0 = 0,990$$

Dado que el Q determinado para nuestro sistema es aproximadamente 8, asumiremos que $\omega_{\text{res}} = \omega_0$.

Procedimiento

Objetivo 1: Verificación de la condición de resonancia

Para obtener la curva $A=f(\omega)$, variamos la ω_{imp} cambiando el voltaje de alimentación del motor y registramos la amplitud de la oscilación para cada valor de ω_{imp} .

La ω_{imp} la calculamos midiendo el período impulsor, para lo cual acoplamos al motor que mueve al fleje una aguja que interrumpe el haz luminoso de un sensor óptico conectado al cronómetro digital.

Una vez fijada la ω_{imp} determinaremos la amplitud de la oscilación del volante leyendo el ángulo barrido en un período por el índice sobre el disco graduado y tomando la mitad de dicho valor.

De esta forma obtuvimos el siguiente conjunto de datos graficados en la figura 1.

Luego determinamos la ω_0 del sistema, para esto acoplamos al eje del volante una polea y la vinculamos a otra polea que está unida al eje de un motor. Dicho motor de inducción al girar generará una tensión proporcional a la velocidad de giro (utilizamos el motor del estroboscopio de la cubeta Enosa).

Conectamos el motor al canal B de Cassy y seleccionamos la opción **Osciloscopio en Medir y Evaluar** y hacemos las siguientes opciones:

Seleccionar rangos -> rango B -> -0.3 - 0.3v -> elegir t en s-> 10 s. Registrar medición

Luego impulsamos el sistema y lo dejamos oscilar libremente, pulsamos F_2 y obtenemos la gráfica $V=f(t)$ que es proporcional a $\omega=f(t)$ de donde podemos determinar el período propio y de allí la frecuencia propia. Esto lo hacemos identificando coordenadas de la gráfica habilitando el cursor gráfico con F_9 y pulsando el signo + para obtener el valor numérico.

Nota: Otro método para determinar ω_0 consiste en pegar un semicírculo opaco sobre el volante y con una de las barreras del cronómetro digital registrar el período propio.

El resultado es $\omega_0=4.5 \text{ rad/s}$

Al observar la gráfica $A=f(\omega)$ vemos que el pico de la amplitud corresponde a una frecuencia:

$$\omega=4.45 \text{ rad/s}$$

Comparando los valores verificamos la condición de resonancia.

$$\omega_0 = \omega_{imp}$$

En la situación de resonancia se puede observar cualitativamente que la velocidad del volante está en fase con la F impulsora.

Objetivo 2: Determinación del factor de calidad

A partir de la gráfica $A=f(\omega)$ determinamos Q haciendo el cociente $\omega/\Delta\omega$.

Para conocer el valor numérico de ω y de $\Delta\omega$ utilizamos nuevamente el cursor gráfico.

El valor obtenido para Q es: **$Q=8.46$**

Objetivo 3: Registro de la etapa transitoria

Debido al valor obtenido en el objetivo 2 se observa que el sistema entra en batido de manera apreciable. La etapa transitoria dura aproximadamente 1 minuto, observándose a simple vista.

Para registrar la pulsación se fija la ω_{imp} en un valor próximo a la ω_0 .

$$\omega_0 = 4.5 \text{ s}^{-1} \quad \omega_{imp} = 4.7 \text{ s}^{-1}$$

Conectando el motor del estroboscopio nuevamente al canal B de Cassy y haciendo las mismas opciones que para el objetivo 1, seleccionando el tiempo en s : 60 s.

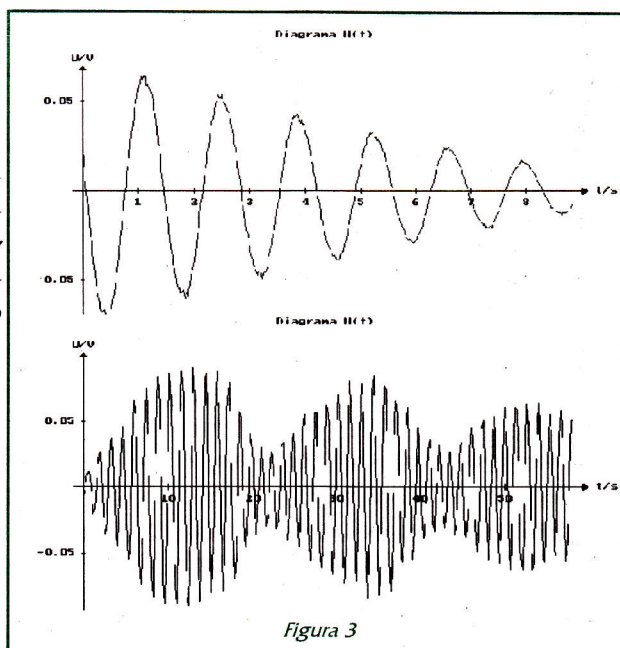


Figura 3

Factores de Conversión Física (II)

Tomado de Raymond A. Serway

Las tablas son versiones basadas en la traducción, modificación y reformatación de tablas escritas por terceros.

Factores de Conversión de Trabajo, Energía, Calor

Unidad	J	erg	ft * lb	eV	cal	Btu	kWh
1 joule	1	10 ⁷	0,7376	6,242 x 10 ¹⁸	0,2389	9,481 x 10 ⁻⁴	2,778 x 10 ⁻⁷
1 erg	10 ⁻⁷	1	7,376 x 10 ⁻⁸	6,242 x 10 ¹³	2,389 x 10 ⁻⁸	9,481 x 10 ⁻¹¹	2,778 x 10 ⁻⁷
1 ft * lb	1,356	1,356 x 10 ⁷	1	8,464 x 10 ¹⁸	0,3239	1,285 x 10 ⁻³	3,766 x 10 ⁻⁷
1 eV	1,602 x 10 ⁻¹⁹	1,602 x 10 ⁻¹²	1,182 x 10 ⁻¹⁹	1	3,827 x 10 ⁻²⁰	1,519 x 10 ⁻²²	4,450 x 10 ⁻²⁶
1 cal	4,186	4,186 x 10 ⁷	3,087	2,617 x 10 ¹⁹	1	3,968 x 10 ⁻³	1,163 x 10 ⁻⁶
1 Btu	1,055 x 10 ³	1,055 x 10 ¹⁰	7,779 x 10 ²	6,585 x 10 ²¹	2,520 x 10 ²	1	2,930 x 10 ⁻⁴
1 kWh	3,600 x 10 ⁶	3,600 x 10 ¹³	2,655 x 10 ⁶	2,247 x 10 ²⁵	8,601 x 10 ⁵	3,413 x 10 ²	1

Factores de Conversión de Presión

Unidad	Pa	dyn/cm ²	atm	cm Hg	cm Hg	lb/ft ²
1 pascal	1	10	9,869 x 10 ⁻⁶	7,501 x 10 ⁻⁴	1,450 x 10 ⁻⁴	2,089 x 10 ⁻²
1 dina/centímetro ²	10 ⁻¹	10 ⁻¹	9,869 x 10 ⁻⁷	7,501 x 10 ⁻⁵	1,450 x 10 ⁻⁵	2,089 x 10 ⁻³
1 atmosfera	1,013 x 10 ⁵	1,013 x 10 ⁶	1	76	14,70	2,116 x 10 ³
1 centímetro de mercurio *	1,333 x 10 ³	1,333 x 10 ⁴	1,316 x 10 ⁻²	1	0,1943	27,85
1 libra/pulgada ²	6,895 x 10 ³	6,895 x 10 ⁴	6,805 x 10 ⁻²	5,171	1	144
1 libra/pie ²	47,88	4,788 x 10 ²	4,725 x 10 ⁻⁴	3,591 x 10 ⁻²	6,944 x 10 ⁻³	1

* A 0°C y en locales donde la aceleración de la gravedad tienen seu valor «normal» 9,80665 m/s².

Sobre un concepto “conocido”: Inercia

Prof. Mario Guerra - Consultor de UNESCO

Introducción

Como es sabido, Newton supuso que la inercia era una propiedad independiente de la materia. Cuando se introduce este concepto, nos referimos a “un cuerpo al cual se aplica una fuerza neta”. El cociente entre la acción externa y la aceleración adquirida por el cuerpo, define una propiedad **del cuerpo** que llamamos “masa inercial”. ¿Es ésta la única interpretación que podemos tener acerca de este concepto fundamental?

Algunos físicos, posteriores a Newton, han argumentado que el concepto de masa inercial de un cuerpo, debe vincularse con la interacción que ese cuerpo tiene con la materia del resto del Universo.

Todo el mundo sabe, que se requiere una fuerza cada vez que deseamos detener un cuerpo en movimiento. Este hecho objetivo, usualmente se expresa con una frase escasamente precisa, pero que todos creemos comprender: “el cuerpo tiene inercia”.

Desde los tiempos de Newton, los experimentos parecen confirmar que “la inercia” es una **propiedad intrínseca** de la materia. Entonces, esa “propiedad” **no** puede modificarse por los cuerpos ubicados en los alrededores del cuerpo. Es más: es un hecho empíricamente irrefutable y con gran precisión, que los cuerpos “locales” (otros cuerpos ubicados en la Tierra ó el mismo Sol), no tienen influencia significativa sobre la masa inercial de otro cuerpo. La pregunta es entonces: ¿tienen alguna relevancia los objetos “lejanos”, que son **mucho más numerosos y comparativamente mucho “mayores” que los cercanos?**

Si así fuera, la inercia se debería a los objetos lejanos y los cercanos tendrían un efecto completamente despreciable. Ello explicaría la “constancia” de la masa inercial de los cuerpos que nos rodean, puesto que la

“causa” de la propiedad, depende esencialmente de un Universo que cambia poco en virtud del mantenimiento de la isotropía.

El modelo newtoniano, converge hacia dos resultados sorprendentes. Cuando se desea averiguar si la Tierra se encuentra ó no en rotación, existen dos procedimientos independientes y acordes en sus respuestas con gran precisión:

- a) un procedimiento es utilizar el péndulo de Foucault ó un giróscopo, en cuyo caso, la rotación se deduce a partir de experimentos estrictamente **terrestres**. La velocidad que determinamos para el giro, se refiere a un referencial inercial idealizado, en el cual suponemos válido el modelo de Newton;
- b) un procedimiento basado en la observación del cielo (astronómico), por el cual medimos la velocidad de rotación con respecto a las estrellas “fijas” ó a las nebulosas y constelaciones.

Podemos pensar, que la coincidencia de las respuestas obtenidas, es un hecho casual. Pero también podemos pensar que es un hecho que requiere explicación. Y aquí aparecen opiniones divergentes.

- 1) Un grupo de físicos afirma que la coincidencia observada es una consecuencia directa del modelo de Newton ó de la Relatividad y que por tanto, no es algo en lo cual haya que detenerse.
- 2) Otro grupo, reconoce en el resultado, un hecho fundamental de la estructura de nuestro Universo y que debe ser explicado por cualquier Teoría Dinámica de características generales.

A este segundo grupo de opiniones, pertenece la interpretación de Ernst Mach, conocida hacia 1893 en “The Science of Mechanics”. Para Mach, la coincidencia entre los resultados obtenidos al utilizar un referencial dinámico y otro astronómico, **no**

es consecuencia del modelo de Newton ó de la Relatividad, sino de un Principio Independiente, en cuyo "Interior" se aloja el significado del concepto "Inercia".

Físicos y filósofos, han insistido en esta versión del llamado "Principio Cosmológico de Mach":

"la inercia de un cuerpo es debida a que ese cuerpo interactúa con otros trozos de materia del Universo".

Este segundo punto de vista, se puede apoyar en poderosas razones. La más obvia, es de carácter **no** experimental, sino especulativo: si consideramos el Universo vacío de materia y colocáramos en cualquier punto una partícula, presumiblemente no sería posible determinar ningún atributo inercial en ella. Es este el momento de recordar la opinión de Einstein: "en una teoría consecuente de la Relatividad **no** puede existir la inercia de la materia con relación al espacio, debe existir la inercia de la materia con relación a la materia. En consecuencia, si un cuerpo se aleja suficientemente del resto de las masas del Universo, su **inercia debe reducirse a cero**".

El origen de la controversia entre las dos visiones, se resume fundamentalmente en la interpretación de dos fenómenos ó experimentos cruciales y una interpretación. Ellos son: el experimento del balde de Newton, el experimento de la caída libre de los cuerpos y la relación entre la densidad de materia del Universo y la constante de gravitación de Cavendish.

Los Experimentos

1.- El Experimento del Balde: una interpretación newtoniana que avala la existencia del "espacio absoluto".

El Experimento y la Interpretación de Newton

Newton considera un balde con cierto nivel de agua, que se encuentra suspendido de una cuerda previamente torsionada en cierto sentido. Si dejamos libre al siste-

ma, el balde comienza a rotar en sentido opuesto a como fue la cuerda torsionada. El movimiento, es rápidamente comunicado al agua, que comienza a girar y adopta una superficie libre cóncava. Finalmente, el balde se detiene, mientras que el agua continúa su movimiento por un tiempo más, manteniendo su superficie cóncava, hasta que finaliza deteniéndose también y adoptando una superficie libre plana. Newton hizo este experimento, para resolver una dificultad básica surgida en sus Segundo Principio del movimiento. El problema de medir la masa inercial, implica un problema previo: **¿Cómo medimos la aceleración? ¿A qué aceleración nos referimos?**

Por ejemplo: la aceleración de la Luna respecto a la Tierra, es diferente a la aceleración de la Luna respecto al Sol, y por supuesto, para un observador ubicado en la propia Luna la aceleración de ésta última, es nula. Para alguien ubicado en la Tierra, y en reposo respecto a ella, la aceleración respecto de la Tierra es nula, aunque sabemos que existe una aceleración proveniente del Sol originada en la fuerza gravitacional que este aplica. Esto nos lleva a una paradoja: una fuerza no nula produce aceleración nula, tan lejos como nuestras medidas nos permiten investigar. ¿Cómo resuelve Newton este problema? Newton asume que existía «una cosa» a la que llamó «espacio absoluto», al cual era aplicable su ley en forma «perfecta».

Pero, dado que nosotros observamos solamente «movimientos relativos», ¿cómo es posible detectar el movimiento absoluto? Newton afirma entonces, que la situación no es "desesperada" y procede a concebir el experimento del balde, al que interpreta de un modo singular.

*Sostiene que la superficie cóncava que adopta el agua en el balde, demuestra en realidad, la **rotación absoluta** (un caso particular de la aceleración absoluta). El movimiento **relativo**, del agua y del balde, es irrelevante en la determinación de la for-*

ma de la superficie del nivel del agua. El agua curva su superficie, mientras que el balde continua su rotación, pero también después que éste se detiene. Concluye entonces, que el agua estaba rotando absolutamente cuando estaba en movimiento.

Newton aplicó el mismo razonamiento que Foucault realizó en el siglo XIX, para demostrar la rotación terrestre. La inercia es entonces una medida de la "desviación" que tiene el cuerpo respecto al espacio absoluto. Esta opinión es la opuesta a la que mencionamos antes de Einstein.

En el caso del experimento de Foucault, el invento consistió simplemente en un largo y pesado péndulo que es capaz de oscilar libremente en cualquier dirección. Es en efecto, una variación del balde con agua. Si el péndulo se coloca columpiándose en cierta dirección en uno de los polos de la Tierra, su plano de rotación se moverá acompañando la rotación terrestre, y al cabo de 24 horas el plano de oscilación dará una vuelta completa. Newton diría que el plano de oscilación se mantiene fijo en el espacio absoluto y que el cambio del plano de oscilación es una demostración de la rotación terrestre.

Interpretaciones (¿especulaciones?) Alternativas

A] La Posición de Berkeley

Cerca de 20 años después que Newton publicara su teoría sobre la inercia en su Principia, fue severamente atacado por el filósofo Bishop Berkeley. Este mantenía que el movimiento sólo tiene significado con sentido relativo a la materia y no con respecto a algo abstracto, como sin duda es «el espacio absoluto». Berkeley sostuvo esta opinión, en contra de la de Newton, considerando que la apreciación de este último acerca del experimento del balde, era incorrecta.

La base del argumento de Newton, radica en que el movimiento del balde es independiente del movimiento del agua, ya que ésta continua moviéndose cuando el balde ya se detuvo. Berkeley sugiere que la forma de la superficie que adopta el agua

en el balde, por el contrario, parece estar afectada por el volumen general de materia del universo, es decir, por las «estrellas fijas» ó por las galaxias lejanas. Si no existieran estrellas, dice Berkeley, la superficie del agua sería plana y no se curvaría. La argumentación de BERKELEY, no tuvo mucha resonancia en su momento.

B] El Principio de Mach: evocación a Berkeley

Leonhard Euler, ridiculizó esta opinión de Berkeley, diciendo que la sugerencia era contraria a los «dogmas de la metafísica». A esto se sumaba el éxito obtenido por el modelo newtoniano, al estudiar el comportamiento de los planetas en sus órbitas. La «teoría de la inercia» de Newton, que era parte de ese modelo, aunque era una interpretación, quedaba aceptada.

Sin embargo, 200 años después, Ernst Mach, revivió la opinión de Berkeley, acerca de que la inercia era consecuencia de las estrellas lejanas. Sus argumentos, muy similares a los de Berkeley, se pueden evidenciar a través del siguiente escrito: «Obviamente, no es importante si la Tierra gira alrededor de su eje respecto a las estrellas fijas, ó son éstas las que giran alrededor de la tierra fija. Geométricamente, la situación es la misma. Pero si pensamos en la Tierra en reposo y las estrellas girando, no habría aplastamiento de la Tierra, no se daría el fenómeno detectado por el péndulo de Foucault, al menos de acuerdo con lo establecido por el Principio de Inercia en la forma dada por Newton. Ahora: es posible resolver la cuestión de dos modos diferentes. Uno es suponer que la Tierra está en movimiento absoluto ó que nuestro Principio de Inercia está mal expresado. Personalmente, prefiero la segunda opción. Todos los cuerpos, cada uno con su parte ó porción participa en la inercia de cada cuerpo».

La afirmación de Mach, evoca la opinión de Berkeley. Es probable, que existan dificultades en aceptar que un fenómeno, tal como el del péndulo de Foucault, pueda

ser consecuencia de los alrededores y de la estrellas lejanas. Esta posición, es en parte derivada por el método newtoniano, que obtiene éxitos notorios despreciando la intervención de las estrellas lejanas y en parte debida a prejuicios.

Si el Principio de Mach fuera correcto, los cálculos de Newton serían igualmente correctos y por tanto podríamos ignorarlo. Bertrand Russell, afirma que el Principio de Mach, tiene algo de «astrología» y que le resulta «científicamente increíble».

El problema que plantea el principio de Mach, es: ¿ cómo especificar la naturaleza de la interacción entre la materia cercana y la materia lejana, siendo que esta última es la que determinaría el comportamiento inercial de la materia cercana? La búsqueda de la respuesta a esta pregunta, nos conduce al segundo experimento crucial.

2.- El Experimento de la Caída Libre y su Interpretación

Einstein, poco después del descubrimiento de la Teoría Especial de la Relatividad, se propuso dar una respuesta a pregunta planteada anteriormente. Para ello, utilizó como guía, el experimento de caída libre ya examinado por Galileo.

Al examinar la caída libre, Galileo estableció, que diferentes cuerpos, tenían la misma aceleración de caída libre, cuando el peso es la causa exclusiva de la aceleración. Esta conclusión permite la siguiente especulación: consideremos un cuerpo pesado, en caída e imaginemos que lo seccionamos en dos mitades.

Cada una de estas mitades, tiene la misma aceleración que el cuerpo total. Presumiblemente, si las dos mitades se unieran otra vez, volverían a caer con la misma aceleración que el cuerpo original. ¿Qué dicen los experimentos? Confirman esta opinión.

Einstein pensó, que la fuerza de gravitación era entonces **equivalente** a una fuerza

inercial. En efecto: Newton propone agregar, cuando nos encontramos en un referencial no inercial, fuerzas derivadas de aceleraciones «ficticias ó inerciales», que son las mismas para todos los cuerpos ubicados en ese referencial.

Con este recurso, Newton **habilita** su modelo al caso en el cual no medimos aceleraciones absolutas, sino relativas. Es decir, cuando medimos aceleraciones que no están referidas al espacio absoluto.

Consideremos por ejemplo, la situación en la cual tomamos la Tierra, como referencial en reposo, sin tomar en consideración la acción gravitatoria del Sol. Para mantener a la Tierra en reposo, es necesario agregar una fuerza centrífuga, opuesta a la que aplica el Sol, y que contrarreste su efecto.

Esta fuerza agregada, es igual a la masa de la Tierra por la aceleración absoluta de la Tierra respecto al espacio absoluto, ya que lo que se agrega es el sumando que aniquila la desviación del movimiento absoluto». En consecuencia, la fuerza de inercia es **PROPORCIONAL** a la masa del cuerpo. **En el experimento de Galileo, la fuerza gravitatoria tiene esta misma propiedad.** Si la fuerza gravitatoria acelera a todos los cuerpos del mismo modo, ello debe ser consecuencia de la proporcionalidad existente entre la fuerza gravitatoria y la masa del cuerpo.

En la teoría de Newton, las fuerzas de inercia, se dicen «ficticias», porque ellas no se originan en la propia materia y no responden al Principio de Interacción. Son consecuencia de no estar «correctamente ubicados en el referencial adecuado».

Einstein sugiere, que las fuerzas de inercia no son ficticias, **sino que se originan en la gravitación.** Tomando un referencial en el cual la Tierra se halle en reposo en el Universo, pero girando alrededor de su eje, debemos concluir que la fuerza centrífuga se origina en fuerzas gravitatorias del Universo en rotación.

En otros términos: es la *gravitación*, originada en las estrellas y los cuerpos del Universo, lo que origina la inercia.

Con la finalidad de explorar esta visión del problema, Einstein elaboró una teoría de la gravitación en la cual, las propiedades inerciales de la materia **pueden** ser deducidas. Esto es parte esencial de la Teoría General de la Relatividad.

Acerca de las Propiedades Inerciales de la Materia- El Principio de Denis Sciama

Podemos establecer un Principio, debido al Dr. Denis Sciama, y que permite interpretar el carácter de la inercia de un cuerpo, desde un ángulo diferente al newtoniano. Se trata de un enunciado, equivalente al Principio de Mach. **“si una partícula concreta, se halla en reposo, la fuerza gravitacional total sobre ella, proveniente de las demás partículas del universo, es cero”.**

Corresponde, en primer lugar interpretar el significado de este enunciado. Consideremos el movimiento de una partícula sometida a la acción de la gravitación terrestre. Supongamos que somos solidarios a la partícula en cuestión, la cual estará entonces, en reposo respecto a nosotros. De acuerdo con el Principio 2), el movimiento de la Tierra y de las demás masas del Universo, debe ser de tal naturaleza que su efecto gravitatorio conjunto sea cero. Pero el efecto gravitatorio terrestre, es mucho más importante, que el que le atribuye la teoría de Newton. El movimiento de las estrellas debe engendrar entonces un efecto exactamente contrario al que genera la Tierra sobre la partícula considerada. Esta fuerza, es un efecto inercial, si lo miramos desde el cuadro de descripción newtoniano. Entonces, el efecto gravitacional de todas las estrellas sobre nuestra partícula, debe ser proporcional a la aceleración de ésta. En consecuencia, la aceleración de las estrellas respecto a la partícula (y por tanto de la partícula respecto a las estrellas, salvo el signo) está determinada por el efecto gravitacional de la Tierra sobre la partícula.

Podemos avanzar aún más. El efecto gravitacional de las estrellas, depende **no** solamente de la aceleración relativa que *ellas tienen respecto a la partícula, sino tam-*

bién de sus masas y de sus distancias a ella. Entonces, el valor de la aceleración relativa, también depende de las propiedades de las estrellas, y específicamente de la densidad media con que las estrellas se distribuyen en el universo. Esto nos lleva a la interpretación a la cual nos referimos al comienzo.

Sobre la Cons. de Gravitación Universal

De acuerdo con la ley de gravitación de Newton, la fuerza gravitatoria entre dos cuerpos puntuales, es proporcional a sus “masas” e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia mutua.

Newton estableció, que la materia del Universo tenía dos propiedades, definidas epistémicamente en forma diferente, **pero en apariencia dependientes**: la inercia (que cuantificó mediante la llamada “masa inercial”) y la gravitación (que cuantificó por la llamada “masa gravitatoria.”). Los experimentos de Newton, con péndulos de diferentes sustancias, comprobaron ya en su tiempo, la “sorprendente” proporcionalidad entre dos atributos definidos a partir de conceptos independientes: la inercia y la gravitación. Si llamamos “m” a la masa inercial y “M” a la masa gravitatoria de un mismo cuerpo, Newton descubrió, que las dos propiedades eran proporcionales, pero no pudo explicar el hecho. La constante de proporcionalidad “G”, es la llamada constante de gravitación universal y cumple: $G=[M/m]^2$.

Esta constante ha sido determinada con gran precisión, por medidas de laboratorio. Ahora, en la teoría newtoniana de la inercia, el valor de esta constante es absolutamente arbitrario, en el sentido de que surge como consecuencia de poner acuerdo entre las medidas y sus unidades.

Consideremos la energía potencial gravitatoria asociada a dos masas inerciales m y m', ubicadas a distancia “r”. Tenemos: $U = - G.m.m'/r$. Supongamos que examinamos las unidades de [G], expresadas en el Sistema Internacional de medidas:

$$[G] \sim [U][r][m^{-2}] \sim [J][m][kg^{-2}] \sim [kg.m^2.s^{-2}][m][kg^{-2}] \sim [m^3.s^{-2}/kg] \sim [m^3/kg].[s^2]$$

Esto muestra que "G", está relacionada con el volumen específico de materia y es proporcional a él.

En consecuencia: si la teoría es correcta, la constante "G" es una medida de la densidad media de materia del Universo, disfrazada.

De modo que medir esa constante, es medir esa densidad media de materia existente en el Universo. ¿Por qué el modelo de Newton ha sido tan "exitoso"?

Comencemos primero por un cálculo elemental. Una precisa medida de la cantidad de materia existente en el Universo, en varias regiones conocidas, nos informa que hay alrededor de **un átomo de hidrógeno**, cada 10 litros de espacio interestelar. Este valor, se halla dentro de los límites de precisión de que disponen las mediciones astronómicas al momento actual. La masa de un átomo de hidrógeno es: $m_0 = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$

Si dividimos por el volumen, de 10 litros, [es decir, 0.010 m^3], obtenemos una densidad media, cuyo valor es: $\rho = 1.67 \times 10^{-25} \text{ kg/m}^3$

Podemos explicarnos ahora, la razón por la cual la ley de Newton ha tenido tanto éxito, y nos ha inducido a creer que las propiedades del Universo **no** tienen incidencia en los cuerpos cercanos. Una densidad de materia tan baja, reduce grandemente la acción de las masa lejanas sobre un cuerpo cercano concreto y nos induce a pensar en la forma que Newton afirma. Sin embargo, las cosas no son como aparentan.

Los cuerpos del Universo, afectan a los cuerpos cercanos de **dos modos diferentes**:

- a) en la elección del referencial adecuado para el modelo newtoniano;
 - b) en el valor de la constante gravitatoria.
- De otro modo: una elección arbitraria de la constante gravitacional, nos capacita a ajustar los cálculos a los hechos observados.**

En virtud de esto último, el método de trabajo de Newton, no refuta el Principio de Mach..

Finalmente

Si la inercia es el resultado de la interacción entre un cuerpo y el resto del Universo, es posible esperar que una «cantidad de inercia» concreta y particular de un cuerpo, esté relacionada con toda la masa del Universo. Esto es así, porque la constante gravitacional (que es una medida de la cantidad de inercia) puede ser relacionada con la densidad de materia del Universo.

La materia distante es más importante que la cercana, en la determinación de la inercia de un cuerpo, porque la gran cantidad de ella lejos, «se compensaría de algún modo» con la gran distancia a la cual se halla. Por ejemplo: la contribución del Sol a la inercia local, es solamente de una parte en 100.000.000 de la contribución que realiza todo el resto del Universo. Es por cierto un resultado muy notable, que esta información de regiones tan lejanas del Universo, pueda ser obtenida a partir de experimentos puramente realizados en nuestras proximidades y con relativa simplicidad. Al mismo tiempo, este resultado nos estaría advirtiendo, que el Universo juega un rol importante en los fenómenos locales. Un rol, que nos resulta inesperado, y que obliga a examinar en profundidad, el llamado "Principio de Liberación de Vínculos", mediante el cual diagramamos al cuerpo en estudio, como si fuera libre. Por ejemplo: la carga de un electrón aparece como independiente de sus alrededores, y realmente esto lo creemos así, desde que establecemos que constituye una de las constantes fundamentales de la naturaleza.

Pero esta propiedad, **como ocurre con la inercia**, podría ser el resultado de una interacción de muy larga distancia. Si las propiedades atómicas son efectivamente así determinadas, nos encontramos con una situación dual: la materia lejana influye en los fenómenos locales y por tanto estos nos dan información acerca de lo que sucede muy lejos con la materia que no nos resulta accesible.

EDUCACIÓN en FÍSICA

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

Setiembre, 2005

S u m a r i o

**CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN
CÓMO ENVIAR SUS TRABAJOS**pág. 2

**Conferencia: "LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA
A NIVEL MEDIO EN EL URUGUAY".**
Prof. Gustavo Kleinpág. 3

**¿TIENE FÍSICA ALGÚN ROL FORMATIVO CONVINCENTE
QUE JUSTIFIQUE SU PERMANENCIA EN EL CURRÍCULO
DE LA EDUCACIÓN MEDIA DEL URUGUAY?.**
Prof. Mario Guerrapág. 9

**LOS CONOCIMIENTOS DE FÍSICA DESEABLES PARA
EL INGRESO A LOS ESTUDIOS TERCARIOS EN
CUALQUIER ÁREA DE LAS CIENCIAS NATURALES.**
Dr. Ismael Núñezpág. 14

**EL PROFESOR Y LA EDUCACIÓN EN VALORES EN LA
SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO**
Dra. María Rosa Buxarraís Estradapág. 17

FÍSICA DEL HUMOR - Edición Internacionalpág. 21

**INTERPRETACIÓN DE PLANCK DE LA RADIACIÓN
TÉRMICA DEL CUERPO NEGRO**
Dr. Ismael Núñezpág. 23

EL PRINCIPIO DE D'ALEMBERT
Dr. Ismael Núñezpág. 33

ESPACIO DE A.P.F.U.pág. 36

El tamaño de la luna: UN PROBLEMA DE PERCEPCIÓN
Prof. Patricia Linnpág. 39

CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSASpág. 42

WEB - RECOMENDACIONESpág. 44

Laboratorio: RESONANCIA EN SISTEMAS MECÁNICOS
Barnech, Andrea, De Souza, Alvaro, Trinidad, Guzmánpág. 47

SOBRE UN CONCEPTO "CONOCIDO": INERCIA
Prof. Mario Guerrapág. 51