

# EDUCACIÓN en FÍSICA

ISSN: 0797-9045

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay





Asociación de  
Profesores  
de Física



del Uruguay

## EDUCACIÓN EN FÍSICA

Volumen 7 N° 6

Abril 2008

Depósito Legal:

299222/08

Redactor Responsable:

Sandry Ramírez

Consejo de Redacción:

Pablo García

Alejandro Villamil

Cecilia Cabeza

Ismael Núñez

Guzmán Trinidad

Educación en Física es una revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay, que se distribuye gratuitamente entre sus socios. Precio: \$U 100,00.

Comisión Directiva de A.P.F.U:

Pablo García

Alejandra Delgado

Patricia Irigaray

Mauricio Rodríguez

Diego Viera

Milko Prado

Dirección de la Revista:

Gaboto 1435 / Of. 002

Montevideo CP 11200

Telefax: (598 2) 400 1258

E-mail: revistaapfu@gmail.com

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:

Composición libre:  
evolución resonancia y átomos.

## EDITORIAL

Estimados colegas, lectores y amigos, en esta nueva entrega hacemos previamente un pequeño homenaje al creador de **Cita con Rama**, entré otros, fallecido el 19 de marzo pasado (Sir Arthur Charles Clarke). Esta obra ha sido usada, entre tantas otras, por varios profesores de Física que gustan de usar material de Ciencia Ficción para explicar Física, tanto que incluso en algunas universidades se constituye en una materia (Física en la Ciencia Ficción) obligatoria para la licenciatura.

También hacemos nuestra mención al 150 aniversario del nacimiento (23 de abril de 1858) de Max Karl Ernst Ludwig Planck y citamos uno de los eventos relacionados a este acontecimiento (ver pág. 22). El legado de su Teoría Cuántica y sus investigaciones fomentaron un sinfín de desarrollos y nuevas teorías que abonaron la evolución de la Física y sus aplicaciones en general.

Queremos destacar más que nunca el hecho positivo de tener mucho material para evaluación y a su vez seguir pidiendo disculpas por los retrasos y demoras en las respuestas a estos trabajos. Por diversos motivos que no utilizaremos como excusa se demoró demasiado la entrega de algunos arbitrajes y hasta no llegó a destino en alguna ocasión, agradecemos infinitamente la paciencia y muy buena disposición de sus autores.

En nuestro país en estos días venimos y seguiremos **«estrenando»** algunos programas y orientaciones **«nuevas»** en la enseñanza de la asignatura (continuación de la llamada **«reformulación 2006»**). Situación que hace de disparador de una avidez importante por la lectura de renovada (y no tanto) bibliografía que recree y/o fomente el planteo de situaciones más **«actualizadas»** dentro del aula a la vez que incite al uso racional de las **TICs**; sobre todo y últimamente a los recursos que se hallan en Internet (multimedia, simulaciones, applet, etc.). Esperamos seguir aportando con artículos e información para lograr un intercambio importante y fluido a este respecto, para lo cual contamos con ustedes y con todos aquellos que puedan **«arrimar»** a esta corriente y así seguir por esta vía que tanta vitalidad nos suministra.

A seguir por este camino y continuar el intercambio los invitamos. Nos vemos en nuestro próximo XVIII Encuentro Nacional, IX Internacional en la **«heroica»** y hasta entonces que la Física los acompañe.

Prof. Sandry Ramírez

Redactor Responsable



## CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN

Repensar la planificación, incorporar datos históricos para situarse y pensar, construcción científica, modelos diferentes a los que habitualmente se usan y se exponen, distintos enfoques para situaciones que muchas veces consideramos «trilladas»; pues son elementos que, de cierta manera, forman parte insustituible de nuestro accionar en el aula junto a otros elementos que siguen siendo motivo de análisis para ser incorporados a nuestras clases; entre otros, estos están contemplados en esta entrega.

Encontrará en estas páginas menciones a Congresos y encuentros en otras naciones, así como una mención especial al aniversario de M. Planck y uno de los eventos asociados a la efeméride. Así también se hizo mención al maestro de la ciencia ficción fallecido recientemente y prometemos para la próxima un pequeño apartado al respecto de la materia *Física en la Ciencia Ficción* que desde hace un buen tiempo adquirió fama al incorporarse a la licenciatura en algunas universidades. Invitamos a nuestros lectores a escribir y/o recopilar datos, urls, etc al respecto de esta materia, acerca de la Física de la Magia y la Física en los Efectos Especiales para incorporar a la revista y dar un aporte novedoso (tal vez) a nuestras clases.

Gracias por el aporte al *Humor*, materia pendiente para muchos la Física con Humor y la Física del Humor, y ¡a tomar ejemplo!

---

## 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 el o los autores, dirección, lugar de trabajo, un breve currículum, correo electrónico para contactarse, 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 en comillas, 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 origi-

nal de la obra subrayado, editorial y año; dentro del texto las referencias se indicarán dando apellido(s) y año entre paréntesis.

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

Esperamos sus trabajos, consejos, críticas y sugerencias en:

**La dirección de A.P.F.U.:**  
apfu@adinet.com.uy

**La dirección de la revista:**  
revistaapfu@gmail.com



# Los modelos atómicos desde los filósofos Jónicos hasta Schrödinger: aportes para su enseñanza

Ana G. Dumrauf<sup>1,2,3,\*</sup>, Silvina Cordero<sup>1,3,\*\*</sup> y Cecilia Mordegli<sup>1,4,\*\*\*</sup>

**Resumen.** En este trabajo presentamos un recorrido histórico acerca del modelo atómico en función de contribuir a la discusión en el aula respecto de las características del conocimiento científico. Reseñamos las diversas concepciones desde la antigüedad hasta el siglo XX, como un aporte teórico a la reflexión y la práctica docente.

**Palabras-clave:** historicidad del conocimiento científico, modelo atómico.

**Abstract.** We present in this paper an historical review about the atomic model, in order to contribute to the pedagogical discussion about the nature of scientific knowledge. We describe the different conceptions in this topic from antiquity to twentieth century, as a theoretical contribution to teacher's reflection and practice.

**Keywords:** scientific knowledge historicity, atomic model.

## Introducción

¿Es el conocimiento científico una construcción que ha sufrido modificaciones a lo largo de la historia? Si bien la respuesta afirmativa a esta pregunta puede resultar obvia para la mayoría, es posible encontrar aún muchos estudiantes y profesores que le dan poca importancia o desconocen el carácter histórico de toda producción científica.

Algunas de las concepciones de sentido común sobre la ciencia y los científicos se vinculan con la idea de la ciencia como un conocimiento que contiene verdades absolutas y que, por ello, es prácticamente inmodificable. Entre otras, Gil Pérez (1993) enuncia las siguientes visiones del sentido común:

- **Visión rígida de la ciencia:** asociada a una visión algorítmica, exacta, infalible, dada, centralmente, con relación a las ciencias naturales. Se presenta «el método científico» como una serie de etapas a seguir mecánicamente. Se resalta, por ejemplo, el tratamiento cuantitativo de los datos, el control riguroso y la cer-

<sup>1</sup> Grupo de Didáctica de las Ciencias, IFLYSIB, UNLP-CONICET-CIC, Argentina.

<sup>2</sup> Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

<sup>3</sup> Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación, UNLP, Argentina.

<sup>4</sup> Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, Argentina. E-mail: adumrauf@iflysisib.unlp.edu.ar

\* Ana G. Dumrauf. Es Doctora en Física, egresada de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP (Argentina). Desde 1994 se dedica a la investigación, actualización docente y extensión en el área de la educación en Ciencias Naturales. Actualmente se desempeña como Profesora Adjunta a cargo del Seminario de Didáctica de las Ciencias Naturales de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación (UNLP) y como Investigadora Adjunta del Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas.

\*\* Silvina Cordero. Es Doctorada en Educación de la Facultad y Filosofía y Letras de la UBA (Argentina) y Magister en Educação de la Universidade Federal Fluminense (Niterói, Brasil). Trabaja en el área de la educación en Ciencias Naturales desde 1990, desarrollando actividades de investigación, actualización docente y asesoramiento institucional. Actualmente se desempeña como Ayudante Diplomada del Seminario de Didáctica de las Ciencias Naturales de la Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación (UNLP).

\*\*\* Cecilia Mordegli. Es Licenciada en Biología egresada de la Facultad de Ciencias Naturales de la UNLP (Argentina). Realiza actividades de investigación y actualización docente en el área de la educación en Ciencias Naturales desde 1993. Se desempeña como docente en establecimientos de Enseñanza Media y en la Cátedra de Zoología de Invertebrados de la Facultad de Ciencias Naturales (UNLP).



teza, olvidando (o rechazando) todo lo que signifique, invención, construcción, creatividad, duda.

- **Visión aproblemática y ahistórica de la ciencia:** se presentan conocimientos ya elaborados, sin mostrar cuáles fueron los problemas y circunstancias que generaron y acompañaron su construcción, cuál fue su evolución, las dificultades encontradas en el proceso, etc. Tampoco se discuten o presentan las limitaciones del conocimiento actual y las perspectivas abiertas. Se plantea, de esta manera, una visión dogmática de la ciencia.
- **Visión acumulativa, lineal, de la ciencia:** los conocimientos aparecen elaborados como consecuencia de un proceso lineal, desconociendo las crisis, marchas y contramarchas, replanteos profundos, qué quedó en el camino y por qué. Se desconoce, en particular, la discontinuidad entre el tratamiento científico de los problemas y el cotidiano.

Ahora bien, aún no compartiendo dichas visiones de sentido común, numerosos docentes se sienten desprovistos a la hora de presentar y trabajar con sus alumnos estas características del conocimiento científico, por no poseer la información histórica específica que les permita desarrollar un tema en particular ¿Con qué tema podríamos mostrar la historicidad del conocimiento científico en una clase? Un contenido curricular, frecuentemente abordado por los libros de texto en nuestro país (Argentina), es, de acuerdo a un título muy utilizado, la «evolución del modelo atómico». Pero, en general, la obligadamente limitada presentación de información que contienen y las bases epistemológicas en las que sustentan su forma de tratar el tema – que, en muchos casos, coinciden con las concepciones de sentido común referidas – dejan insatisfechos a los profesores ávidos de nuevas perspectivas. Este trabajo presentará un recorrido histórico a través de diversas concepciones acerca del modelo atómico como

un aporte teórico a la reflexión y la práctica docente.

## Hace unos 2500 años...

Algunos de los escritos que nos han llegado de la civilización griega presentan especulaciones recurrentes respecto a las características de la materia. ¿Es posible subdividir la materia sin límites? O, ¿está formada por ciertas partículas extremadamente diminutas que no pueden ser subdivididas sin la destrucción de la identidad del material?

Para los primeros filósofos griegos, la eternidad del mundo, manifestada a través del desarrollo de procesos de regeneración (por ejemplo, el renacimiento de la naturaleza en cada primavera), se debía a «algo» eterno subyacente a todos los cambios. Uno de sus desafíos intelectuales fue encontrar este «algo».

Los filósofos Jónicos (entre los siglos VI y IV a.C.) consideraron a esta entidad eterna conformada por distintos elementos (Sakkopoulos y Vitoratos, 1996). Tales (basado probablemente en creencias mitológicas de Babilonia y Egipto) propuso al agua como elemento fundamental. Anaximandro consideró un material diferente a todos los conocidos (lo llamó «ilimitado»). Anaxímenes señaló al aire como el material primigenio.

Esta escuela filosófica consideraba a la materia eterna y con la posibilidad de creación a través de sus transformaciones, sin la intervención de ninguna entidad espiritual. Una excepción fueron los pitagóricos, quienes rechazaron el materialismo y tomaron los números como los elementos básicos de un mundo armónico. Sin embargo, el reconocimiento de que las magnitudes naturales no siempre se expresan como razones numéricas, como en el caso del cuadrado cuya diagonal no guarda una relación expresada por un número natural con su lado, sacudió la creencia de que los números eran los elementos constituyentes del mundo.



Hacia mediados del siglo V a. C., Empédocles probó experimentalmente que el aire es materia, aunque invisible, llenando un cilindro sumergido en agua. Anaxágoras, a través de la fisiología, llegó a la conclusión de que en la comida había elementos invisibles a los que llamó «*spermata*» (semillas). Así, al comer, los alimentos se transformaban en huesos, sangre, nervios, piel, cabello, etc.. Por lo tanto, debían contener, de alguna manera oculta, todos los elementos de los que está hecho nuestro cuerpo. De acuerdo con otras fuentes, Anaxágoras consideraba a todas las partes del cuerpo conformadas por pequeñas partes, similares al total (por ejemplo: los huesos estaban constituidos por pequeños huesos). Aunque este filósofo no aceptaba la existencia de vacío y la invisibilidad de estas pequeñas partes, algunos autores lo consideran dando un paso hacia la teoría atómica.

Los primeros en reconocer la necesidad de un límite inferior para las transformaciones de la materia, fueron Leucipo y su discípulo Demócrito (nacido alrededor del año 460 a. C.). Desafortunadamente, sólo algunos fragmentos de su teoría atómica sobrevivieron, principalmente a través de los escritos de Aristóteles. Aún cuando Aristóteles rechazaba la teoría atomística, tomó sus elementos básicos para argumentar en contra de ellos (Sakkopoulos y Vitoratos, 1996).

La suposición principal de la teoría atómica fue la existencia de partículas diminutas, indivisibles e indestructibles llamadas átomos. Los átomos eran invisiblemente pequeños, completamente llenos de materia, tenían diferentes formas y tamaños, actuaban unos sobre otros por contacto directo y estaban en movimiento continuo. Además de los átomos existía el vacío. Átomos y vacío eran los únicos componentes de la naturaleza.

La perspectiva atomista del mundo griego fue plasmada por Lucrecio en su poe-

ma *De Rerum Natura*, escrito en el siglo I a. C. Lucrecio presentó en este poema los puntos esenciales de la teoría atómica de Epicuro (341-270 a.C.), quien continuó las ideas de Demócrito. La teoría atómica se basó en una visión materialista del mundo, en la cual aún el alma estaba hecha de átomos especialmente pequeños y delgados, difundidos en el cuerpo mientras estuviera vivo, dispersándose y disolviéndose con la muerte: «...*Que el alma y el espíritu se forman/De átomos muy ligeros, pues huyendo/No roban peso alguno de los cuerpos.*» (Libro III, versos 309-311).

De acuerdo con los filósofos que sostenían esta visión, los dioses permanecían distantes e indiferentes a las cuestiones

*«La extremidad de un átomo es un punto  
Tan pequeño, que escapa a los sentidos;  
Debe sin duda carecer de partes:  
Él es el más pequeño de los cuerpos,  
Ni estuvo ni estará jamás aislado;  
Es una parte extrema, que juntada  
Con otras y otras partes semejantes,  
Forman así del átomo la esencia.  
Si del átomo, pues, los elementos.  
De existencia carecen separados,  
Será su unión tan íntima y estrecha,  
Que no hay fuerza capaz de separarlos.»*

*Libro I, 755-766.*

*«...Estriba, pues, toda naturaleza,  
En dos principios: cuerpos y vacío  
En donde aquéllos nadan y se mueven:  
Que existen cuerpos, el común sentido  
Lo demuestra; principio irresistible  
Sin el cual la razón abandonada  
De errores en errores se perdiera.  
Si no existiera, pues, aquel espacio  
Que llamamos vacío, no estarían  
Los cuerpos asentados, ni moverse  
Podrían, como acabo de decirte.»*

*Libro II, 558-568.*

**Lucrecio, *De Rerum Natura*.**



materiales y humanas, hecho que se manifestaba a través de los defectos del mundo (Bernal, 1987).

Este punto de vista materialista resultaba insatisfactorio para otro grupo de filósofos, especialmente para los idealistas como Platón. En su *Timeo* (360 a.C.) propuso un atomismo diferente de acuerdo a su creencia en la existencia de un dios supremo en la esfera de las Ideas, creador, supervisor y proveedor de todo lo existente, quien impone orden en la materia caótica. Los cuatro elementos, fuego, aire, agua y tierra estaban compuestos de partículas regulares, geoméricamente diferentes. Su atomismo geométrico no aceptaba la existencia de vacío. Otro filósofo que se oponía a la idea de vacío era Aristóteles, quien además negaba que la naturaleza estuviera formada por partículas indivisibles.

## **El siglo XVII...**

El atomismo quedó «en el olvido» hasta el siglo XVII. La versión atomista del siglo XVII estuvo restringida al mundo natural, excluida del mundo mental y espiritual. Entró a la teoría física a través de Gassendi (1592-1655), matemático, filósofo y sacerdote que vivía en Provenza. Los átomos de Gassendi eran partículas con masa, poseían inercia, y se movían en el vacío. La nueva mecánica no exigía una continua actuación de Dios sobre el mundo material, sino solamente un impulso dado a la totalidad de los átomos al principio de los tiempos, que determinaría, de acuerdo con la divina providencia, todas sus combinaciones y movimientos futuros (Sakkopoulos y Vitoratos, 1996).

Para Robert Boyle (1627-1691), el mundo material se explicaba en términos del movimiento y de conjuntos de átomos. Estos estaban caracterizados por su forma (que no cambiaba), su tamaño y por la impenetrabilidad de la materia universal de la cual estaban hechos. El movimiento de los átomos estaba gobernado por leyes. Aunque

Boyle nunca especificó la naturaleza y el estatus de esas leyes, explicitó la necesidad de la acción constante de Dios para asegurar el comportamiento de la materia (Chalmers, 1998).

Al igual que Boyle, Isaac Newton (1643-1727) adhirió a una filosofía atomista de la materia. Compartía la suposición de que existía un solo tipo de materia, cuyas «partes» poseían aquellas propiedades vistas como necesarias para ser considerada como tal (como elasticidad y magnetismo, mientras que, por ejemplo el olor o el color no eran atribuidas a los átomos) (Chalmers, 1998).

## **Siglo XVIII...**

Durante el siglo XVIII algunos de los seguidores de Newton aceptaron la idea de la existencia de fuerzas en el átomo y en la combinación entre átomos. A estos arreglos, en los que intervenían fuerzas, los denominaron átomos químicos. Estas estructuras complejas de átomos fundamentales podían, en principio, descomponerse en sus partes constituyentes, las cuales, a su vez, podían formar un nuevo arreglo y constituirse en un átomo químico diferente. En el marco de la filosofía mecánica del siglo XVIII, en la que se alineaban Boyle, Newton y sus seguidores, no tenía lugar la noción de elemento químico entendida como una sustancia que no puede ser separada en elementos más simples a través de procedimientos químicos (Chalmers, 1998).

## **En el siglo XIX...**

John Dalton (1766-1849) retomó la idea de la existencia de un tipo de materia universal que caracterizaba la tradición atomista desde Demócrito y dejó de lado la mayor parte de las especulaciones acerca de las fuerzas de afinidad entre átomos, concebidas como atractivas, al estilo de la propuesta newtoniana de atracción gravitatoria. La única excepción fue la consideración de que los átomos de la misma sustancia se repe-



len, sin explicación desde la teoría newtoniana, y con probable origen en la impenetrabilidad de la materia. Ésta fue la base de su regla de simplicidad según la cual en un compuesto el número de átomos de cada elemento mantiene una relación de números enteros con los demás elementos del compuesto. Dalton comprendió que la suposición de que las combinaciones químicas tienen lugar a través de los agrupamientos de átomos tenía implicaciones sobre las proporciones en las que los elementos se combinaban. Con base en estas dos suposiciones dedujo los pesos relativos de los átomos a partir de las medidas de los pesos equivalentes, abriendo un camino hacia la determinación de las fórmulas químicas.

La teoría atómica de Dalton rompió con el atomismo del siglo XVII en algunos aspectos cruciales. La teoría de Dalton no necesitaba la suposición de que los átomos de las diferentes sustancias estuvieran hechos de la misma materia universal. Tampoco tenía necesidad de especular acerca de la naturaleza e intensidad de las fuerzas entre los átomos (con excepción de la repulsión entre ellos), ni necesitaba de las suposiciones newtonianas respecto de la estructura interna de los «átomos químicos» (Nash, 1970).

En 1811, el físico italiano Avogadro (1776-1856) formuló la ley según la cual volúmenes iguales de cualquier gas, en idénticas condiciones de presión y temperatura, contienen el mismo número de moléculas, permitiendo, por lo tanto, la determinación del número de átomos de cada elemento que compone una molécula determinada. En realidad, en estos términos, la hipótesis de Avogadro fue formulada en 1860 por Stanislao Canizzaro, quien evidenció las implicaciones de la teoría de Dalton y de la hipótesis de Avogadro clarificando las nociones de «átomos» y «moléculas» utilizadas en ellas. Mostró cómo pueden ser usadas para derivar pesos atómicos y moleculares y fórmulas químicas a partir de

medidas de pesos equivalentes y densidades de vapor. Por otro lado, el texto de Canizzaro, *Sketch of a Course in Chemical Philosophy* («Esquema de un curso de filosofía química») de 1858, se identifica como el primer libro que trató sobre el atomismo sin incluir ninguna discusión filosófica (Chalmers, 1998).

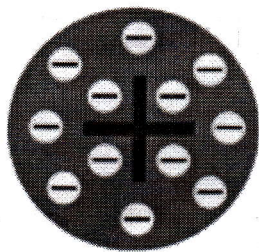
Durante los últimos veinticinco años del siglo XIX los argumentos que sostenían la teoría atómica fueron centralmente de tipo hipotético-deductivos. La detección de uno de los componentes del átomo, el electrón, inició un proceso de fortalecimiento y evolución de los modelos atómicos. Hacia fines del siglo XIX podían producirse y manipularse haces de electrones en tubos de descarga, medirse experimentalmente la relación entre carga y masa del electrón y explicarse cierto número de fenómenos espectroscópicos y electrolíticos considerando a los electrones como parte constituyente de los átomos. En 1876, Sir William Crookes observó que al someter unas placas metálicas a una gran diferencia de potencial en el vacío, se formaba una luminosidad en la placa negativa (el cátodo). Le pareció que se trataba de algún tipo de partículas situadas en el cátodo, y las llamó *rayos catódicos*, una nueva forma *radiante* de la materia. Johnstone Stoney (1826-1911) llamó *electrones* a los rayos catódicos en 1894, Jean Perrin (1870-1942) mostró que llevaban carga negativa y J.J. Thomson (1856-1940) midió su velocidad. En noviembre de 1895, Konrad von Röntgen (1845-1923), un profesor de física de Würzburg, adquirió un tubo de descarga de rayos catódicos con el objetivo de poner en claro su funcionamiento interno. Al cabo de una semana encontró que en el exterior del tubo sucedía «algo» desconocido y que le resultó sorprendente, «algo» que hacía brillar las placas fotográficas atravesando su cobertura de papel negro. Las «fotografías» así obtenidas resultaban también sorprendentes: mostraban, por ejemplo, las monedas que se llevaban en el bolsillo y los huesos de la mano. Como



no sabía de qué se trataba, denominó al fenómeno rayos X (Bernal, 1986, Tomo 2).

## Llegamos al siglo XX...

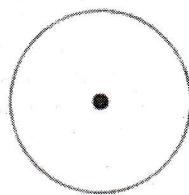
La identificación de los rayos X permitió a J.J. Thomson completar sus ideas acerca de los generadores de rayos X (los rayos catódicos o electrones), al advertir no sólo que los electrones, al incidir sobre la materia, hacen que ésta emita rayos X, sino que mediante los rayos X se consigue que cualquier tipo de sustancia genere electrones.



**Modelo de Thomson** (extraído de : <http://personal5.iddeo.es/pefeco/Tabla/historiaatomo.htm>)

El establecimiento de que los electrones, aparentemente idénticos, podían suscitarse en las más variadas sustancias parecía indicar que eran como una especie de materia prima de la electricidad. El físico inglés Thomson propuso un modelo para el átomo el cual consistía en una esfera con una distribución poco densa de masa, de carga positiva, en la que se encastraban (como pasas de uva en un budín) los electrones (Rae, 1988).

En 1913, a partir de experiencias en las que se hacía incidir partículas sobre placas de diferentes materiales, Rutherford, en Manchester, propuso un nuevo modelo de átomo que permitía explicar la dispersión de partículas «hacia atrás». En el modelo de Thomson, el átomo estaba conformado por materia poco densa por lo cual resultaba esperable que todas las partículas atravesaran las placas que se les interpusieran. Sin embargo, se encontró que había algunas que no lo hacían, eran dispersadas «hacia



**Modelo de Rutherford** (extraído de : <http://personal5.iddeo.es/pefeco/Tabla/historiaatomo.htm>)

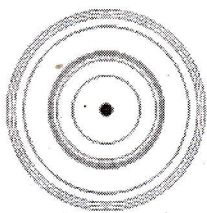
atrás». Para incluir esta posibilidad, en el modelo de Rutherford la mayor parte de la masa del átomo (y su carga positiva) se encontraba concentrada en una región muy reducida en el centro del átomo: el núcleo; mientras que su carga negativa se encontraba girando a su alrededor, de forma tal que la mayor parte del átomo estaba vacío.

Tan pronto como Rutherford propuso un modelo para el átomo en que los electrones giraban alrededor del núcleo, surgieron las objeciones. Un electrón, debido a que es una partícula cargada, cuando se mueve en torno al núcleo, bajo la acción de atracción de su carga eléctrica, debería irradiar ondas electromagnéticas, con lo que perdería energía. Así, en la concepción clásica de Maxwell, ese arreglo sería altamente inestable: los electrones, al ir perdiendo energía, caerían al núcleo.

En 1900, Max Planck (1858-1947) había sugerido que los átomos no liberan energía continuamente, sino «por partes» o en cantidades discretas. Éstas se denominaron *quantum* o cuantos y consistían en un múltiplo de una constante, denominada constante de Planck, a la cual se la representa con la letra *h* (Bernal, 1987, Tomo 2).

En 1913, en el laboratorio de Rutherford en Manchester, Moseley (1887-1915) midió la longitud de onda de los rayos X emitidos por diferentes elementos, mostrando que seguían una ley sencilla, dependiendo del número atómico y del número de electrones en cada clase de átomo. Niels Bohr (1885-1962), en el mismo laboratorio, consiguió unir cuatro aspectos: el núcleo «duro»

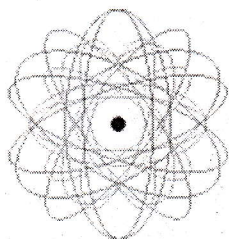




**Modelo de Bohr de 1921** (extraído de : <http://personal5.iddeo.es/pefeco/Tabla/historiaatomo.htm>)

propuesto por Rutherford a partir de los experimentos de dispersión, las frecuencias encontradas en el espectro atómico del hidrógeno, la regularidad de las longitudes de onda de los rayos X de diferentes elementos y la teoría de los cuantos de Planck. Propuso un modelo de átomo análogo al sistema solar en el que cada electrón tenía su propia órbita o nivel de energía. La luz o los rayos X eran producidos solamente cuando los electrones pasaban de un nivel de energía elevado a otro de energía inferior (Bernal, 1987, Tomo 2). Así, en la analogía con el sistema solar, cada órbita representa un nivel de energía en el que se encuentra el electrón.

En 1921 el modelo de Bohr, mejorado por él mismo y por otros científicos, describía al átomo como un arreglo de electrones que giran alrededor del núcleo en órbitas caracterizadas por tres (posteriormente se establecieron cuatro) *números cuánticos*, que determinan el número de cuantos de energía, de momento angular y su orientación.



**Modelo de Bohr de 1921** (extraído de : <http://personal5.iddeo.es/pefeco/Tabla/historiaatomo.htm>)

El átomo de Bohr, en principio, parecía explicar la estructura de todos los átomos y

moléculas. Sin embargo, en la práctica sólo lo hacía en el caso más simple: el del átomo de hidrógeno.

El físico francés Louis De Broglie (1892-1987) propuso la siguiente hipótesis: si las ondas luminosas se comportan a veces como partículas, ¿no podría proponerse que las partículas, tales como los electrones y los núcleos, tuviesen propiedades ondulatorias? *«En conversaciones que frecuentemente sostenía con mi hermano siempre llegábamos a la conclusión que los rayos X se caracterizaban por ser corpúsculos y también ondas. Por ello, en el curso de verano de 1923, repentinamente concebí la idea de ampliar esta dualidad a las partículas materiales, especialmente a los electrones»* (Rae, 1988).

Llegados a este punto resulta necesario que explicitemos a qué se refería De Broglie. Por esos años (principios del siglo XX) se habían identificado dos modelos para describir la naturaleza de la luz dependiendo del modo en el cual se la observara: en los experimentos de interferencia, se hacía pasar la luz a través de una placa con una rendija muy pequeña, a una cierta distancia de esta placa se colocaba otra placa opaca en la que se observaba una zona central con una intensidad de luz muy alta que disminuía hacia los costados. De esta manera, la luz se comportaba como una onda (electromagnética). Pero, si se examinaba el efecto fotoeléctrico (la emisión de rayos catódicos o electrones), la luz se comportaba como un «chorro de partículas»: al incidir la luz sobre una placa metálica se emitía una cierta cantidad de electrones. Se encontró que la energía de los electrones emitidos por la placa metálica no dependía de la intensidad de la luz, sino de su frecuencia. Es decir, la energía de cada electrón es igual a una constante (la constante de Planck,  $h$ ) por la frecuencia de la luz, y el número de electrones emitidos por segundo aumentaba con la intensidad, pero la cantidad de energía adquirida por cada electrón individual permanecía inalterada. En este senti-



do, la incidencia de la luz sobre la placa metálica podía modelarse como un haz de «partículas» (o «chorro de partículas»), cada una con una energía determinada (que dependía de la frecuencia de la luz). A estas «partículas» se las llamó «fotones». Este análisis teórico había sido publicado por Albert Einstein (1879-1955) en 1905, en la revista alemana *Annalen der Physik*.

El hecho de que estos procesos exijan que la luz manifieste propiedades corpusculares y además ondulatorias se conoce como la *dualidad onda-partícula*. Esta dualidad ilustra una propiedad general de la física cuántica que consiste en que la naturaleza del modelo que se necesita para describir un sistema depende de la naturaleza del aparato con el que interactúa (la luz es una onda cuando atraviesa una rendija, pero es un chorro de «fotones» cuando incide sobre un detector o una película fotográfica) (Rae, 1988).

Una de las consecuencias de la dualidad onda-partícula es que pone límites a la cantidad de información que pueda obtenerse a la vez de un sistema cuántico (por ejemplo: un átomo). En el caso de la luz, podemos elegir o bien medir las propiedades ondulatorias de la luz (permitiendo que pase por un par de rendijas sin determinar por qué rendija pasa el fotón), o bien observar los fotones cuando cruzan las rendijas (sacrificando toda posibilidad de realizar un experimento de interferencia), pero jamás podremos hacer ambas cosas al mismo tiempo. El físico alemán Werner Heisenberg (1901-1976) señaló que la determinación de la rendija atravesada por el fotón era en esencia una medida de la posición del fotón al cruzar la pantalla (en la cual se encuentra la rendija), mientras que la observación de la interferencia equivale a una medida de la cantidad de movimiento (magnitud vinculada a la masa y la velocidad de la partícula) de un objeto cuántico, tal como un fotón. Heisenberg estableció que la teoría cuántica exige que toda medida semejante esté sujeta a estas limitaciones. Expresó esto en su *principio de incerteza*, en el que la in-

certidumbre en la posición está relacionada con la de la cantidad de movimiento, estableciendo un límite inferior en las posibilidades de ubicación de un objeto cuántico.

Volviendo a la hipótesis de De Broglie, las ondas de materia se sostuvieron por su capacidad para explicar la estructura electrónica de los átomos. La esencia del argumento es que cuando las ondas están confinadas dentro de una región del espacio sólo pueden tener unas longitudes de ondas (y frecuencias) determinadas. Una situación realista, más cercana a nosotros, la constituiría la cuerda de una guitarra que con una longitud y una tensión determinadas, sólo emite unas notas concretas. De manera análoga, cuando se combina la hipótesis de las ondas de materia con el hecho de que los electrones negativos son atraídos hacia el núcleo positivo según una ley inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa, se llega a una ecuación cuyas soluciones determinan las ondas electrónicas en esta situación. Esta ecuación, conocida como ecuación de Schrödinger (debido a quien la propuso), tiene soluciones sólo para unos determinados valores «cuantizados» de la energía del electrón. Así, el electrón en un átomo no puede tener una energía menor que el más pequeño de esos valores permitidos, lo que elude el problema del electrón que gira en espiral hasta acabar en el núcleo. Además, si se hace pasar un átomo de un estado permitido de energía a su estado «fundamental» (el estado permitido de menor energía), emitirá un fotón cuya energía es igual a la diferencia entre las energías de los dos estados (Rae, 1988).

## ¿Qué nos puede aportar la historia del modelo atómico a la enseñanza de las ciencias naturales?

La producción de conocimientos científicos, desde el punto de vista histórico, es



una temática raramente tratada en clase por los docentes, en general por falta de formación y de fuentes accesibles. Cuando se aborda, a lo sumo se incluye una mínima referencia biográfica de algunos de los investigadores más conocidos, dejando de lado el análisis de los procesos de producción del conocimiento. Este trabajo pretendió aportar una reseña más abarcativa, en un lenguaje que omitió formalismos matemáticos. Se incluyeron discusiones conceptuales, experimentaciones y fenómenos observados por azar, tratando de plasmar una visión compleja y no lineal de la historia de las construcciones científicas.

En el caso de los modelos atómicos, es probable que no podamos abordar los más actuales con nuestros estudiantes en los niveles preuniversitarios. Existen diversos obstáculos vinculados a las concepciones alternativas que presentan los alumnos acerca de la estructura de la materia (Albanese y Visentini, 1997; Pozo y Gómez Crespo, 2002) y a su posibilidad de concebir diferentes modelos (Quesada Herrero, Valcárcel Pérez y Sánchez Blanco, 2005). Sin embargo, tanto desde el punto de vista conceptual como desde el metodológico, esta historia presenta elementos enriquecedores para la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales. Desde el punto de vista conceptual, aún cuando no lleguemos a abordar las últimas teorías atómicas, el presentar el «átomo de Bohr» con sus cuatro números cuánticos y la noción del «principio de incerteza» propician una imagen cercana a la concepción actual del modelo atómico.

Por otro lado, desde una perspectiva metodológica, la historia del modelo atómico muestra el permanente juego entre teoría-experimentación-azar-idealizaciones-mediciones, propio de la construcción científica.

## Referencias Bibliográficas

Albanese, A. y Vicentini, M. (1997). Why do we believe that an atom is colourless?

Reflections about the teaching of the particle model. *Science and Education*, 6, 251-261.

Bernal, J.D. (1987, 1954<sup>1</sup>). *Historia social de la ciencia. 1. La ciencia en la historia*. La Habana: Edit. Ciencias Sociales.

Bernal, J.D. (1987, 1954<sup>1</sup>). *Historia social de la ciencia. 2. La ciencia en nuestro tiempo*. La Habana: Edit. Ciencias Sociales.

Chalmers, A. (1998). Retracing the ancient steps to atomic theory. *Science and Education*, 7, 69-84.

Gil Pérez, D. (1993). Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación, *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197-212.

Lucrecio, Tito Caro. (1918). *De la naturaleza de las cosas: poema en seis cantos*. Traducción de D. José Marchena. Madrid, Librería de Hernando y Cía. <http://www.cervantesvirtual.com/>

Nash, L.K. (1970). The atomic-molecular theory. En: Conant, J.B., *Case histories in experimental science*. (1), 215-321.

Pozo, J.I. y Gómez Crespo, M.A. (2002). Más allá del «equipamiento cognitivo de serie»: la comprensión de la naturaleza de la materia. En: Benlloch, M. (comp.) *La educación en ciencias: ideas para mejorar su práctica*. Barcelona: Paidós Educador.

Quesada Herrero, P.; Valcárcel Pérez, M.V. y Sánchez Blanco, G. (2005). Relación entre el modelo de átomo de los estudiantes (16-17 años) y los diferentes modelos atómicos presentados en la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra, VII Congreso.

Rae, A. (1988). *Física cuántica, ilusión o realidad?*. Madrid: Alianza Universidad.

Sakkopoulos, S.A. y Vitoratos, E.G. (1996). Empirical foundations of atomism in ancient Greek philosophy. *Science and Education*, 5, 293-303.



# FÍSICA DEL HUMOR

*Colaboración de Gonzalo Mancebo (estudiante del IPA)*

¿Qué dice un pato cuántico?

quark ... quark

• • •

Una vez, Newton se encontró con Huyghens en las calles de Londres y tuvieron una fuerte discusión.

N: «Querido amigo, mi teoría de la luz es mejor que la de vosotros».

H: «Su excelencia tendrá razón, pero la mía tiene más ONDA».

• • •

La maestra estaba exponiendo el tema de los átomos...

«Los átomos son muy pequeños e invisibles, pero están en todos lados. Ahora, imaginen una partícula muy pequeña...»

De repente Jaimito levanta la mano y pregunta: «Maestra.... ¿un bosón o un fermión?»

• • •

¿Qué le dice un fotón a un protón?

Gordo.

• • •

¿Qué le dice un gluón a un gravitón?

Debilucho.

• • •

Dicen que en el estadio, cuando se arma un clásico, la barra brava de los electrones canta: «el que no salta es un neutrón».

• • •

Hubo un accidente automovilístico en-

tre dos autos: en uno iba el Sr. Plata y en el otro el Sr. Germanio.

P: «Pero señor; mire lo que le hizo a mi auto! Acaso no me vio que prendí el señalero!?»

G: «Mil disculpas.... es que yo soy semiconductor, y eso todavía no me lo enseñaron».

• • •

Se encuentra el kiosquero con un vecino y le dice:

K: «Che, el otro día me robaron todo el comercio! Bueno, por suerte fue de madrugada y no había nadie. Pero lo raro es que no dejaron ni rastro».

V: «¿Te entraron por la ventana?»

K: «No»

V: «Ahh... te forzaron la puerta!»

K: «Tampoco»

V: «... ¿cómo hicieron?»

K: «Según la policía es una nueva técnica: efecto túnel!»

• • •

El boom de los superhéroes sigue estando en auge.

Primero fue Superman, el gran hombre de acero; después vino Batman, el murciélago encapuchado. Por ahí se mezcla el Chapulín Colorado y Condorito.

Ahora salió uno nuevo, pero es muy pequeño y nadie sabe qué hace. Algunos afirman que hará furor en el siglo XXI.

Su nombre: Supercuerda.



# Movida Olimpiadas de Física

## Primer anuncio e invitación a participar

El Comité Organizador de las Olimpiadas de Física en Uruguay informa e invita a docentes y estudiantes a participar de las **OLIMPIADAS DE FÍSICA 2008**.

Las Olimpiadas constituyen un importante medio de promoción de la Física. Por una parte, son un elemento dinamizador de la actividad de esta asignatura en la educación, y por otra, pueden resultar un mecanismo para descubrir y alentar talentos precoces que quieran acercarse a las ciencias (sin que éste sea su principal objetivo).

La fase nacional culmina con la selección de cuatro estudiantes que integrarán, junto con dos profesores, la Delegación de Uruguay para asistir a la XIII Olimpiadas Iberoamericanas de Física. Ésta se llevará a cabo entre el 21 y el 28 de setiembre de 2008 en la ciudad de Morelia, México. Se espera que participen, igual que en instancias anteriores, Delegaciones de la mayoría de países iberoamericanos.

Como novedad con respecto a años anteriores, y con el fin de acercar mayor cantidad de jóvenes a esta actividad, se proponen para este año las siguientes actividades:

- **PRUEBAS:**

- **CLASIFICATORIAS**

- para la XIII Olimpiada Iberoamericana de Física, dirigida a estudiantes de 3<sup>er</sup> año de Bachillerato.

- **PREPARATORIAS**

- dirigida a estudiantes de Bachillerato (otros cursos).

- **CONCURSO FOTOGRÁFICO**

Con la convicción que el involucramiento de todos es garantía del éxito de la actividad, se invita muy especialmente a los profesores de Física a participar y a los estudiantes a inscribirse con la mayor antelación posible.

Este Comité está integrado por la Sociedad Uruguaya de Física, la Asociación de Profesores de Física del Uruguay, el Área de Física del PEDECIBA y las Inspecciones de Física del C.E.S y C.E.T.P.. Cuenta además con el apoyo de los Institutos de Física de las Facultades de Ciencias y de Ingeniería de la Universidad de la República y también de la Fundación Julio Ricaldoni y Pearson Education S.A.

### Cronograma de actividades

- **Abril- Mayo: Talleres de discusión de problemas.** Facultad de Ciencias, Facultad de Ingeniería. Días y horas a confirmar en WEB.  
**INSCRIPCIONES HASTA EL 12 DE MAYO.** Nombre, Teléfono, Dirección, Cédula de Identidad, Fecha de nacimiento, Institución donde estudia y Nombre de sus actuales Profesores de Física (Optativo). [olimpiadas@fisica.edu.uy](mailto:olimpiadas@fisica.edu.uy)
- **Sábado 17 de mayo: Primera prueba (teórica).** Facultad de Ingeniería. Requisitos: ser uruguayo o residente, no estar inscripto en cursos de nivel universitario. *Categoría clasificatoria:* nacidos en 1990 o posterior. *Categoría preparatoria:* nacidos en 1991 o posterior.



## **FIESTA DE LA FÍSICA**

- **Sábado 8 de julio. Segunda Prueba (Teórica y Experimental).** Clasificatoria para las Olimpiadas Iberoamericanas de Física, Setiembre 2008, Morella, México.

**ENTREGA DE PREMIOS Y CERTIFICADOS:** PRUEBAS Y CONCURSO FOTOGRÁFICO.  
Facultad de Ciencias.

## **Bases del Concurso Fotográfico**

**MOTIVOS:** La fotografía participante debe exponer e involucrar algún fenómeno físico, ya sea espontáneo, natural o preparado especialmente para mostrar algún concepto de la física.

**FORMATOS:** Las fotografías participantes deben estar en formato digital BMP o TIF, resolución mínima 1024x768. No serán aceptadas las fotografías con tratamientos o trucos digitales.

**DESCRIPCIÓN:** Cada fotografía debe ir acompañada de un título y una descripción de la fotografía, que explique el fenómeno y/o el concepto físico involucrado. En total no se debe superar las 200 palabras. Dirección de Envío: [fotos.fisica.uy@gmail.com](mailto:fotos.fisica.uy@gmail.com)

**Más Información:** [www.fing.edu.uy/lf/olimpiadas](http://www.fing.edu.uy/lf/olimpiadas)

## **Comunicados**

**Noveno Simposio de Educación en Física (SIEF9)** en la ciudad de Rosario (Argentina) entre el 29 y 31 de octubre de 2008.

**XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales** que tendrán lugar en Almería del 9 al 12 de septiembre de 2008. Si queréis más información, podéis consultar la página web del congreso: [www.23edce.com](http://www.23edce.com)

Lugar: Almería. Facultad de H. y Ciencias de la Educación. Universidad de Almería.

CONTACTO: M. Rut Jiménez Liso / Dpto Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales / UNIVERSIDAD DE ALMERÍA / 04120 La Cañada de San Urbano. ALMERÍA / Tfno: 950015371 - Fax: 950015751 (teléfono del apoyo administrativo del Dpto.) / e.m. [mrjimene@ual.es](mailto:mrjimene@ual.es) o [adccex@ugr.es](mailto:adccex@ugr.es) (APICE)

**PRIMER CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE ENSEÑANZA EN FÍSICA.** Del 19 al 21 de Noviembre de 2008. ESPOL (Campus Gustavo Galindo). Guayaquil-Ecuador. Contacto para más detalles del congreso: M.Sc. Eduardo Montero Carpio / [emontero@espol.edu.ec](mailto:emontero@espol.edu.ec) / Tel: 593 97547512 / [www.icf.espol.edu.ec/Congreso/index.htm](http://www.icf.espol.edu.ec/Congreso/index.htm)

**1er Taller Regional del Cono Sur sobre Aprendizaje Activo de Óptica y Fotónica (AAOyF - Córdoba 2008).** **1ra. Conferencia Regional del Cono Sur sobre Aprendizaje Activo de la Física (CRAAF-1).** Fecha: 12 al 17 de mayo de 2008 / Lugar: La Falda, Córdoba.



# Planificación: algunos aportes para volver a pensar sobre un clásico de la agenda docente

*Cristina Rebollo\* - Claudia Cabrera\*\* - Estela Pereyra Díaz\*\*\**

**Resumen.** El presente artículo tiene el propósito de contribuir a la reflexión sobre una actividad cotidiana del quehacer docente, actividad que en ocasiones, justamente por su cotidianeidad, pierde su rico potencial de transformación. A partir de una concepción de planificación dinámica y flexible, enmarcada en la didáctica crítica, se propone abordar el proceso continuo de planificar desde el centro mismo del acto educativo, los alumnos.

**Palabras-clave:** planificación, desafío, compromiso, competencia.

**Summary.** The present article has the purpose of contributing to the reflection on a daily activity of the educational chore, activity that in occasions, exactly for its day-to-dayness, it loses its rich transformation potential. Starting from a conception of dynamic and flexible planning, framed in the critical didactics, it intends to approach the continuous process of planning from the same center of the educational act, the students.

**Words key:** planning, challenge, commitment, competition.

## Planificación: una acción que se inicia pensando

Siempre existió la necesidad de conocer y predecir el futuro, anticiparse para dominarlo; aún cuando sabemos que no es posible hacer predicciones totalmente certeras, seguimos pensando en qué pasará. Cuando estamos planificando estamos hablando de pensar el futuro. Planificar es una actividad cuya intención es anticiparnos, procurando estar mejor preparados para lo que ocurrirá.

Desde el paradigma de la eficiencia y la eficacia debe estar todo previsto desde la planificación, para luego evaluar de acuerdo al cumplimiento de los objetivos. Es en este paradigma que se enmarca la didáctica tradicional, para la que cuanto más certera sea esa predicción y más se ajuste el desarrollo de la clase a lo previamente estipulado, más próximo se estará de la buena enseñan-

---

\* *Mag. Profa. Cristina Rebollo.* Profesora de Química egresada del Instituto de Formación docente de Florida, Uruguay. Especialista en Didáctica de la Educación Básica, CLAEH, Uruguay. Magíster en Didáctica de la Educación Básica, CLAEH, Uruguay. Formación en Tutoría Virtual de la OEA. Docente de Química en Educación Secundaria desde 1976 al 2002. Inspectora Docente de QUÍMICA en Enseñanza Secundaria desde el 2006. Contenidista en Didáctica II y III de Química. Asesora en Didáctica III Profesorado Semipresencial. Profesora de Físicoquímica en el IFD de Florida, Uruguay. Autora de Prácticas de Química para 3º Año de Bachillerato para alumnos de Educación Secundaria. Coautora de artículos de Didáctica en revistas especializadas de Uruguay y España.

\*\* *Mag. Profa. Claudia Cabrera.* Licenciada en Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de la República (Uruguay). Profesora de Biología egresada del Instituto de Formación Docente de Florida, Uruguay. Magíster en Educación, Universidad ORT de Uruguay. Docente de Biología en Enseñanza Secundaria desde 1992 al 2000. Profesora efectiva en el Centro Regional de Profesores del Centro (Florida, Uruguay) desde el año 2000 al 2007 en las asignaturas: Unidad y diversidad de los sistemas vivos, Apoyo a la práctica Docente de tercer año de Biología (plan '97) y Didáctica de Biología II (plan 2005). Contenidista en Didáctica II y III de Biología. Coautora de artículos de Didáctica en revistas especializadas de Uruguay.

\*\*\* *Profa. Estela Pereyra Díaz.* Profesora de Física en Educación Secundaria, Uruguay, desde 1976. Efectiva por concurso. Profesora de Informática en Educación Secundaria, desde 1994. Efectiva por concurso. Docente de Apoyo a la Práctica Docente de 2º y 3º año de Física (plan '97) en Centro Regional de Profesores del Centro (Florida, Uruguay) desde el año 2004.



za<sup>1</sup>. Voces más críticas ponen en cuestión los costos que debemos pagar por un exceso de rigidez, es posible que perdamos de vista lo verdaderamente importante, que es promover aprendizajes. Sabida es la tendencia pendular y dicotómica con la que en ocasiones vemos la realidad, «para qué voy a planificar si de todas formas lo voy a cambiar», una visión antagónica podría hacernos caer en el relativismo extremo. Otra postura es la de lo Flexible, que significa no presente, si no está presente no lo puedo prever. Lo imprevisible a pesar de ser todo lo opuesto al control y precisión, no significa imposibilidad, sino que desafía a estar atentos para actuar con prudencia y no caer en determinismos.

El estado actual de la Didáctica propone que la Planificación de la enseñanza es un *proceso mental* mediante el cual el docente organiza un contenido de manera tal que pueda ser enseñado de la mejor forma posible. En ese proceso mental se intenta responder las grandes preguntas que implican el planificar, como lo son el qué, el cómo, y el para qué, lo cual contribuye a incrementar el conocimiento práctico de los docentes. Conocimiento que es enriquecido además por la reflexión que se lleva a cabo a posteriori, donde pueden formularse nuevas preguntas que ayuden a volver a pensar en cómo mejorar esa práctica; permitiéndonos tomar decisiones post activas fundadas en dicho conocimiento.

Planificar, como actividad mental comienza con el acto de pensar cargado de fantasía y creatividad, en el que se imaginan diversos escenarios posibles, es decir las diferentes cosas que pueden suceder en una clase, pero no suele quedar todo plasmado en el documento de planificación. Desde la razón se intenta seleccionar, sistematizar y ordenar las ideas buscando controlar el mayor número de variables posibles, pero dejando una puerta abierta para la toma de decisiones creativas en respuesta a los emergentes.

El pensamiento es libre, le brinda a la razón los elementos para que luego codifique, obteniendo un producto que se plasmará en un documento. Dicho documento es una herramienta imprescindible para que el docente revea su práctica y discuta con otros docentes lo planificado, además de constituir una exigencia administrativa. La planificación intenta prever todo lo posible pero exige también un docente abierto a hacer los cambios que se requieran.

Algunas de las interrogantes que nos seguirán inquietando son: ¿Qué tan detallada necesito que sea esa guía que orienta el acto de enseñar? ¿Podemos pensar en un único guión aplicable a cualquier docente, en cualquier momento de su carrera, para cualquier contexto? ¿Podemos pensar que son iguales en principiantes que en expertos?

Hasta ahora hemos hecho referencia a «la» planificación, pero ¿hay un único nivel de planificación?, ¿quiénes planifican?, ¿qué aspectos de la educación se planifican?

## Desde el diseño curricular al plan de clase

Existen diferentes niveles de planificación. Podemos acercarnos a estos niveles desde lo «macro» hasta llegar al aula. En ese camino encontramos primeramente el DISEÑO CURRICULAR, en el que se define los fundamentos del plan, se diseñan programas, se pauta aspectos generales de la evaluación.

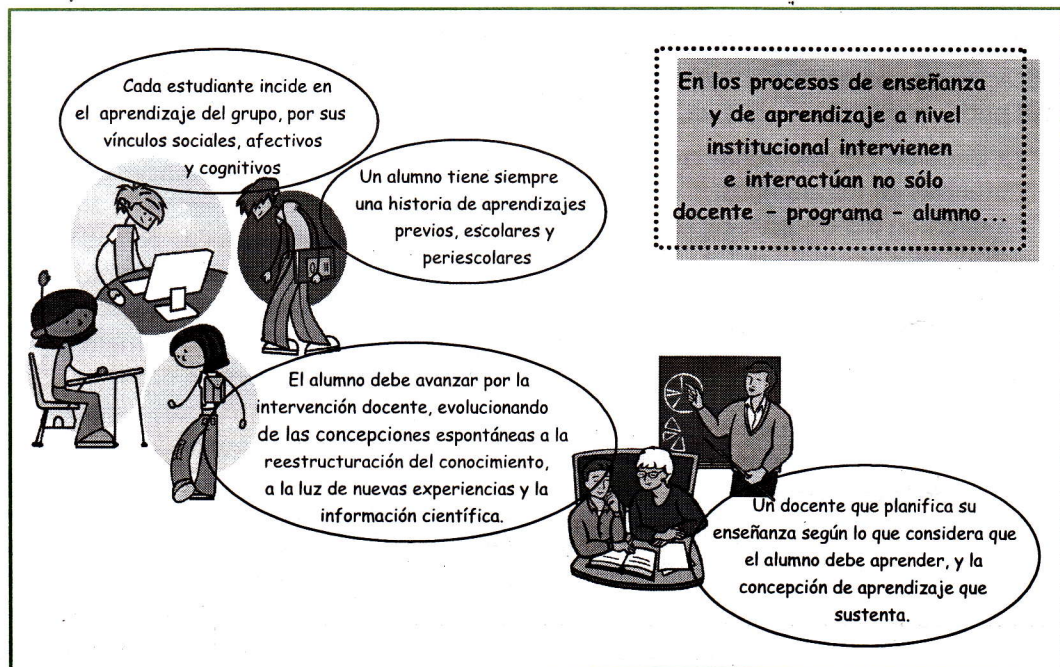
En un segundo nivel, el PROYECTO CURRICULAR DE CENTRO, donde se deciden las líneas de trabajo dentro de la propia Institución educativa, se planifican las acciones intentando involucrar a todos los actores de la comunidad liceal.

<sup>1</sup> Festermacher, G (1989) citado por Maggio, M, Revista de Educación, vol IX N°17, «Algunas reflexiones en torno al conocimiento didáctico». Marzo 2000, Argentina.



En el tercer nivel, la PROGRAMACIÓN de la ENSEÑANZA en la que los docentes, en lo posible en sala, acuerdan líneas generales para elaborar: plan anual, planes de unidades y de clases. Estas líneas generales recogen aportes del Proyecto del Centro y datos propios de la comunidad educativa. Esta programación evidencia la postura de los docentes frente a la Enseñanza y al Aprendizaje de la asignatura.

Para definir un marco teórico de referencia, orientador, habría que considerar la complejidad del hecho educativo a fin de atender a elementos y factores, y diversidad de variables que inciden en el mismo. Complejidad del hecho educativo, dada sus varias **dimensiones: social**, en cuanto involucra al alumno, al grupo, al contexto de pertenencia, al docente y a la institución; **académica**, en referencia a la selección de



Antes de continuar deberíamos plantearnos como interrogante qué entendemos por programa y por programación de la enseñanza. El programa es «el documento oficial de carácter nacional», mientras que «*hablamos de programación para referirnos al apoyo educativo didáctico específico desarrollado por los profesores para un grupo de alumnos concreto. Programa y programación son planteamientos no excluyentes*»<sup>2</sup> (Zabalza, 1987).

Corresponderá a cada docente el ajuste último de la programación, adecuándola a su contexto, a sus alumnos y a sí mismo; visualizando el aula como un espacio de innovación y desafío constante para la motivación profesional del docente.

conocimientos, actitudes y procedimientos que remite al saber dispuesto por el currículo oficial (pautas de la política educativa); y, finalmente, el **marco axiológico** asumido por los docentes como orientador en la toma de decisiones respecto a la selección de los contenidos, a la planificación y a la acción institucional y de aula.

Las múltiples variables que confluyen aportando cada una sus peculiaridades **constituyen «llaves»** a partir de las cuales se puede entrar a la planificación. Siendo una de las preguntas más comunes, ¿por

<sup>2</sup> Zabalza, M.A. (1987) «Diseño y desarrollo curricular». Madrid. Narcea.



**dónde empezar?**, a la que frecuentemente respondemos: «por los objetivos». Esta expresión que excluye otras posibilidades, puede implicar un criterio lineal de planificación: objetivos, contenidos, metodología, recursos y evaluación.

Considerando la actividad como un sistema abierto, desde un enfoque sistémico, la planificación puede surgir o iniciarse a partir de cualquiera de los elementos del sistema, podríamos imaginar respuestas alternativas a la pregunta «¿por dónde entro?» La planificación de una unidad, proyecto o actividad podría partir, entre otras, de:

- La decisión de desarrollar ciertas competencias en los alumnos.
- La decisión del docente de enseñar determinados contenidos.
- Los intereses o expectativas que se generan en los alumnos a partir de una actividad.
- Los temas o problemas emergentes del contexto cultural inmediato o mediato.
- Las necesidades que surgen del diagnóstico o de la evaluación.

Mas allá de por dónde se decida entrar, resulta imprescindible mantener la coheren-

cia dinámica entre todos los componentes del sistema.

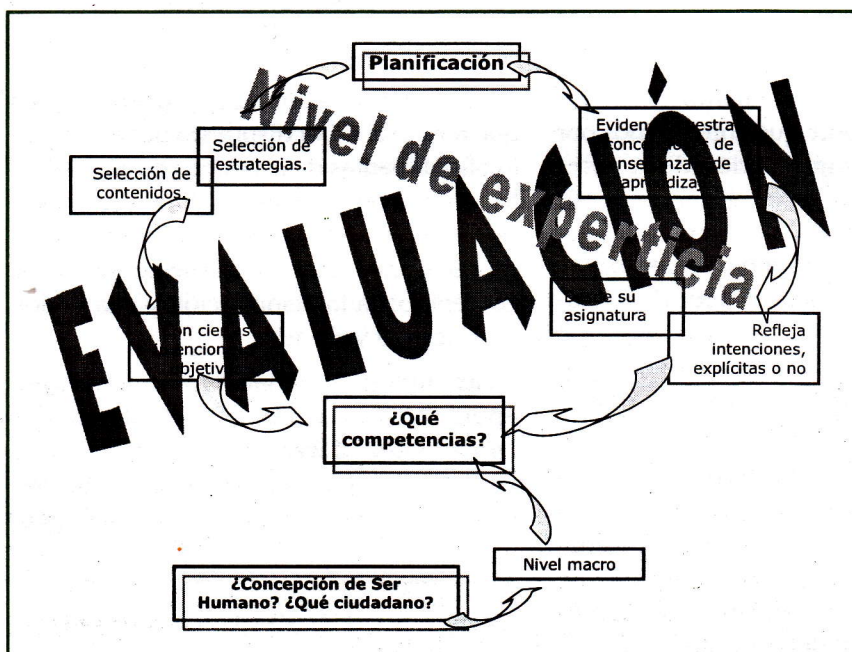
## Competencias, una de las posibles «llaves» para entrar a la planificación

### ¿Competencias? ¿Cuáles?

Esta forma de abordar la planificación implicaría un trabajo en varias etapas, aunque esto no signifique necesariamente un desarrollo lineal. Una vez tomada las decisiones (a nivel político, curricular, programático, de centro, de comunidad educativa) sobre las competencias que todo ciudadano debería tener, es decir aquellas consideradas fundamentales para el desarrollo pleno de la personalidad de un ciudadano del siglo XXI, ¿qué hacer a nivel aula para su consecución? ¿De qué manera podemos y debemos aportar desde nuestra asignatura? ¿Qué contenidos, estrategias, recursos, serían coherentes con las intenciones? ¿Será igual la selección y estructuración que necesita un docente novel que un experto? ¿Cómo conjugar los intereses y estilos de aprendizaje de ese grupo

en particular de alumnos con las intenciones educativas? Decíamos que la progresión o desarrollo no tiene por qué ser lineal, pues se podría comenzar a pensar y acordar, por ejemplo, desde esta última interrogante.

Pensamos que es una manera válida





y desafiante de ingresar a la planificación. Naturalmente exige un trabajo de reflexión, responsabilidad y compromiso por parte de los docentes. A partir del diagnóstico del grupo y de las sugerencias programáticas (no sólo la lista de contenidos disciplinares, sino la fundamentación, los objetivos, las sugerencias metodológicas), entre otros insumos, debería comenzar el desafío de reflexionar y explicitar qué competencias consideramos fundamentales para nuestros alumnos y cómo desde el accionar en el aula podemos contribuir a su construcción o desarrollo (por lo menos tratemos de no obstaculizar... «¿Qué puedo hacer por ti?... No me tapes el sol»). Contribución esta que es más rica si se logra un acuerdo de salas de asignatura y nivel, y se enmarca en el proyecto de centro. Este trabajo en colaboración es imprescindible si se trata de un docente novato, el cual recién comienza a construir su perfil, así como su bagaje de recursos y una mirada abarcativa de su asignatura. Vale aclarar que cuando decimos «novato» es en contraposición a «experto», no a «con antigüedad».

Antes de continuar, debemos detenernos en la palabra competencia y precisar a qué nos referimos. El vocablo «competencia» es controversial a nivel de docentes, suele generar rechazo por su origen empresarial. ¿Va la controversia más allá del término? ¿Hay razón suficiente para buscar («inventar») otro?

Intentemos responder a algunos interrogantes: ¿Cuáles son los significados de competencia? ¿Tiene validez desde el punto de vista educativo? ¿Qué elementos esenciales contiene?

Daniel Goleman (1998) popularizó el concepto de Inteligencia Emocional, definiéndola como «la capacidad de reconocer nuestros propios sentimientos y los ajenos, de motivarnos y de manejar bien nuestras emociones»<sup>3</sup> y aportó que las dos terceras partes del éxito de los trabajadores se debía a las aptitudes emocionales y la otra tercera

parte a las intelectuales. Es decir, el éxito de un trabajador, de un profesional, de toda persona, se debe en mayor medida a sus características personales, no intelectuales, ni meramente técnicas. En este sentido se habla de competencia como «una característica subyacente en una persona que está causalmente relacionada con una actuación exitosa en un puesto de trabajo... Las competencias pueden consistir en motivos, rasgos de carácter, conceptos de uno mismo, actitudes o valores».

Desde el punto de vista educativo, encontramos un referente en dos de los informes de UNESCO, «Aprender a Ser» y «La Educación Encierra un Tesoro». En ellos se pone el acento no tanto en el educar sino en el aprender, considerando al estudiante sujeto activo de su propio desarrollo, centro del hecho educativo, quien debe aprender a ser persona, ciudadano, sujeto de derechos y deberes. En «La Educación Encierra un Tesoro», se explicita que la Educación no es meramente un medio, un capital humano para el crecimiento económico, sino que el aprendizaje es esencial al desarrollo humano y por tanto un fin en sí mismo. «La Educación debe facilitar a todos, lo antes posible el pasaporte para la vida, que le permitirá comprenderse mejor a sí mismo, entender a los demás y participar así en la obra colectiva y la vida en sociedad». Otro aspecto refiere a los principios de la Educación: «La educación a lo largo de la vida se basa en cuatro pilares: Aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir juntos, aprender a ser. Aprender a conocer, combinando una cultura general suficientemente amplia con la posibilidad de profundizar los conocimientos en un pequeño número de materias. Aprender a hacer a fin de adquirir no sólo una calificación profesional, sino más generalmente, una competencia que capacite al individuo para hacer frente a gran número de situaciones y a

<sup>3</sup> Goleman, Daniel (1998) «La inteligencia emocional en la empresa», Javier Vergara Editor,



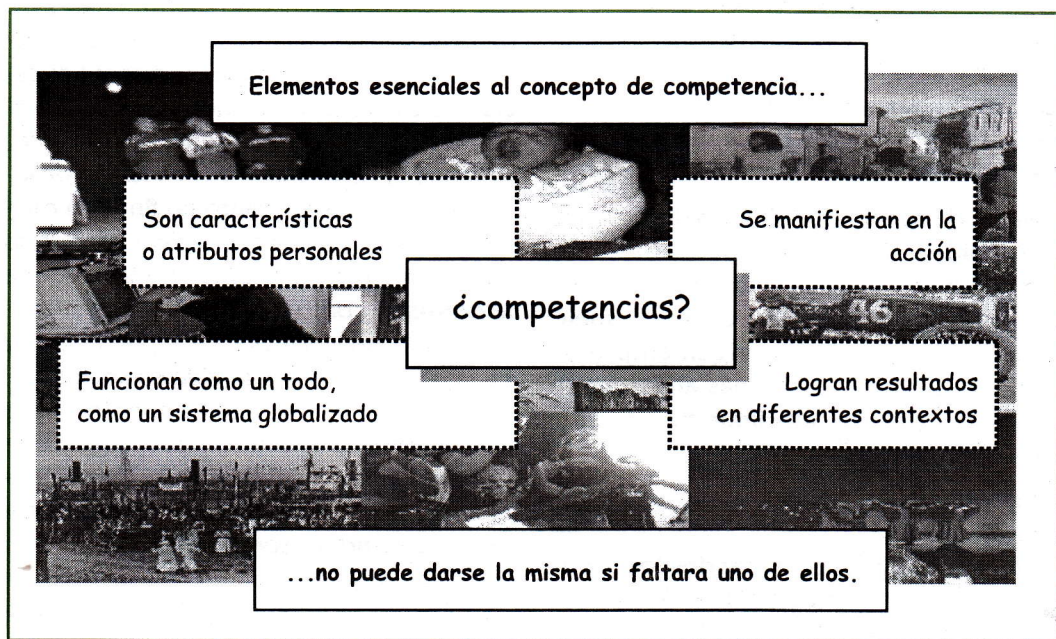
trabajar en equipo. Aprender a vivir juntos desarrollando la comprensión del otro y la percepción de las formas de interdependencia respetando los valores del pluralismo, comprensión mutua y paz. Aprender a ser para que florezca mejor la propia personalidad y se esté en condiciones de obrar con creciente capacidad de autonomía, de juicio y de responsabilidad personal» (Jacques Delors, 1996). A estos agregaríamos un pilar más: «Aprender a **emprender**». Todo ser humano, todo ciudadano, necesita crear y gestionar **nuevas** oportunidades de realización personal en su vida, lo que demanda una formación más abierta, que apunte a competencias tales que lo preparen para ello.

Desde la perspectiva de la Filosofía, Sicología y Pedagogía han cambiado las teorías del aprendizaje. Durante la mayor

motivaciones, participan activamente en la formación de nuevos aprendizajes cognitivos, procedimentales o actitudinales. En tal sentido hay correspondencia entre la teoría constructivista y el concepto de competencia.

De lo visto anteriormente podemos inferir que, con diferentes matices, tanto el modelo de gestión de recursos humanos como el educativo y la teoría constructivista convergen en el concepto de competencia, independientemente de que este concepto se haya originado en el ámbito laboral.

Preguntábamos qué elementos esenciales hacen al concepto de competencia. Puede considerarse cuatro elementos como esenciales, con la particularidad de que no podría darse la competencia si falta uno de éstos.



parte del siglo XX, los modelos educativos estuvieron sustentados por las teorías del Conductismo. En la segunda mitad del siglo XX se desarrolló y propagó la teoría del constructivismo en la que se plantea que las características internas del aprendiz, sus mapas mentales, el significado que asigne al mundo externo que se le presente, sus

### Dilemas y posibles alternativas

Creemos necesario emprender y fortalecer la transición de la noción de *calificación* a la de *competencia*, sin caer en la dicotomía «¿Se va al liceo para adquirir conocimientos o para desarrollar competencias?» Esta pregunta oculta un malentendido y revela un dilema real, al que nos enfrentamos a diario.



El malentendido consiste en creer que, al desarrollar competencias, se renuncia a los conocimientos. Casi todas las acciones humanas exigen conocimientos, a veces reducidos, a veces muy amplios. Cuanto más complejas, abstractas, mediatizadas por tecnologías, sean las acciones a realizar, exigen conocimientos más amplios, avanzados, organizados y confiables. Utilizamos el término competencia en el sentido de capacidades complejas que involucran un saber, un saber hacer y un pensamiento orientado a la construcción de conocimientos; jerarquizarlas no significa desconocer la importancia de los contenidos. Las competencias no son conocimientos en sí, pero utilizan, integran, movilizan conocimientos. Aunque el abogado conozca la teoría, su competencia va más allá de esta erudición, pues no le basta con conocer todos los textos para llevar a buen término el caso en cuestión. Su competencia consiste en relacionar su conocimiento del derecho, de los procedimientos y la representación del problema por resolver, utilizando un razonamiento y una intuición propiamente jurídicos. No podría hablarse de competente sin conocimientos, pero sí de un erudito incompetente.

El dilema real que mencionábamos es que para crear competencias, para favorecer su desarrollo, se necesita tiempo. Todos, al trabajar contenidos procedimentales o actitudinales, nos hemos enfrentado alguna vez a la sensación de que «le estamos restando» tiempo al curso, de que nos queda menos tiempo para «dar» conocimientos amplios a los alumnos. Probablemente este sentimiento sea causado por herencia del modelo tradicional de enseñanza (que, a pesar de todo lo investigado, discutido y publicado, creemos que sigue vivo en muchas de las aulas) y por una forma de trabajo docente individual, aislada.

Opinamos que no sólo es válido pensar la planificación desde las competencias, sino imprescindible. La formación debería apun-

tar de una forma estratégica al desarrollo de las competencias tales como autonomía intelectual, pensamiento crítico, creatividad, comunicación a través de códigos verbales y no verbales, investigación y producción de información, competencias afectivas y éticas. Al pensar nuestro accionar debemos tener presente el mundo en el que vive y vivirá nuestro alumno; cuáles son sus necesidades, así como las del grupo humano que integra. ¿Serán competencias que necesite, el aprender a manejar y resolver conflictos?, ¿y el ser feliz en la incertidumbre? ¿Deberíamos educar para la esperanza, a partir de la incertidumbre? Pensamos que sí.

Ahora bien, ¿qué viabilidad tiene esta propuesta?, ¿cómo conjugar esta creencia con la falta de tiempo real, por ejemplo? Aceptemos que siempre es preferible hacer algo que no hacer nada. Un solo docente puede planificar y actuar focalizado en las competencias que seleccione a su criterio, pero siempre será mejor que sea un grupo de docentes que planifiquen en forma coordinada y complementaria. Mejor aún... todos los del centro. A través de los espacios de coordinación institucional, es posible construir acuerdos, anuales o no, respecto a dos o tres competencias y planificar, elaborar e implementar el proyecto de centro en torno a ellas. Decimos dos o tres porque suele pasarnos que si el proyecto es demasiado ambicioso nos resulta muy difícil, si no imposible, cumplirlo. Puede llegar a transformarse en un hermoso pero inútil documento, sin ninguna repercusión en los alumnos, o generar un accionar voluntarioso pero disperso que puede llegar a confundirlos. ¿Cuánto tiempo y energía emplea cada año un estudiante en interpretar las intenciones, entender y distinguir la forma de trabajo y de evaluación de cada uno de sus profesores?; ¿estar tan ocupado ejerciendo su oficio de estudiante lo distrae del entenderse a sí mismo, explorar sus inquietudes, desarrollar toda su potencialidad?; ¿lo desmotiva?



¿Tenemos como docentes las competencias necesarias para enfrentar los actuales desafíos? Naturalmente... estos desafíos exigen un trabajo de reflexión, responsabilidad y compromiso por parte de los docentes... y mucha creatividad e imaginación!

*«En los momentos de crisis, sólo la imaginación es más importante que el conocimiento...*

*...No podemos resolver problemas pensando de la misma manera que cuando los creamos».*

Albert Einstein

## Bibliografía

- Camiloni, A. y otros (1995) «Corrientes didácticas contemporáneas». Buenos Aires. Aique.
- Díaz Barriga, Ángel, «Didáctica y Currículum». México: Ed. Marymar, 1983.
- Díaz Barriga, Ángel. (1995) *Docente y programa. Lo institucional y lo didáctico*, Buenos Aires, Aique.
- Delors, Jacques: (1996) Comisión Internacional sobre la Educación para el Siglo XXI, Informe a la UNESCO. «La Educación encierra un Tesoro». UNESCO.
- Fauré, Edgar (1972) Informe «Aprender a Ser. La educación del futuro». Alianza Editorial S.A./UNESCO.
- Fernández, José M. (2005) «Matriz de competencias del docente de educación básica», Revista Iberoamericana de Educación. Número 36/2. ISSN: 1681-5653.
- Goleman, Daniel (1995). «La inteligencia emocional». Ediciones B Argentina S.A. 2000
- Litwin, E. (1997) «Las configuraciones didácticas». Buenos Aires. Paidós.
- Ravazani, C, En: *Planificación, propedéutico de la práctica docente de tercer año*. CeRP del Centro, Febrero 2006.

\*\*\*

## 150 años

El 23 de abril hubiese cumplido 150 años el padre de la física cuántica, Max Planck (Kiel, Alemania - 1858-1947). Derribó la física clásica cuando intentaba apuntalarla; «fue un revolucionario a su pesar».



La ceremonia inaugural de la entrega del galardón Max Planck (izquierda) presenta a Albert Einstein (derecha) con la Medalla Max Planck, que otorga anualmente la Sociedad Alemana de Física, el 28 de junio de 1929, en Berlín

Sin su teoría no existirían los hornos microondas, láseres, reproductores de CD, etc.



Abiertamente en contra del nazismo, «su principal tarea era proteger la libertad de investigación».

Celebrando la ocasión se realizará: International Symposium: «Physics in the 150th Anniversary of Max Planck Birth». <http://physicsworld.com/cws/event/12349>. La Habana, Cuba, 10-12 julio 2008.

<http://www.mpg.de/english/aboutTheSociety/history/maxPlanckBiography/index.html>



# CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSAS

## La esfera perfecta

Antes de que Einstein publicara su teoría de la relatividad especial, se creía que el espacio y el tiempo eran como Isaac Newton lo había dicho en el siglo 17. El espacio era estático e inmutable.

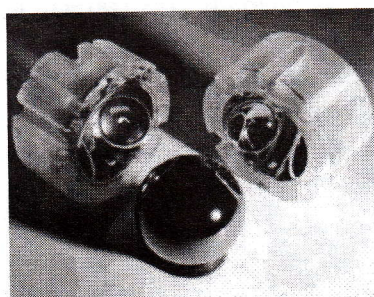
El artículo que Einstein publicó cambió esto para siempre, según este, el espacio en sí está siendo retorcido y curvado por la materia y la energía, y el tiempo fluye a diferentes velocidades para distintos observadores.



Sin embargo, existían algunas dudas debido a que la teoría de Einstein es incompatible, al menos eso parece, con la mecánica cuántica.

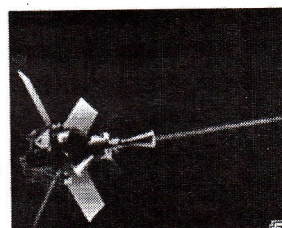
Para buscar «imperfecciones» en las teorías de Einstein los científicos crearon ingeniosos experimentos que pueden medir las predicciones de la relatividad con mucha precisión.

Uno de estos experimentos es la sonda de la NASA llamada Gravity Probe B (en español Sonda Gravedad B) o GP-B que básicamente consiste en un giroscopio en órbita alrededor de la Tierra. Su eje de giro apunta hacia una estrella distante como punto fijo de referencia. Libre



El giroscopio, esferas perfectas.

de fuerzas externas, el eje del giroscopio debería seguir apuntando a la estrella para siempre. Si el espacio estuviese curvado (lo que predice Einstein), la dirección del eje del giroscopio debería irse «torciendo» con el tiempo.

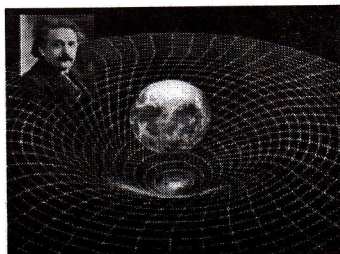


Para tener una idea de la precisión buscada, sirva el dato siguiente: los cuatro giroscopios en el GP-B son **las esferas más perfectas jamás antes fabricadas por los humanos**. Se trata bolas del tamaño de pelotas de pin-pong de cuarzo fundido y silicio que miden unos 4 cm de diámetro y no distan de ser una esfera perfecta más de 40 átomos de grosor. Esta precisión es indispensable para el éxito del experimento, si no, el eje de giro se modificaría aún sin los efectos de la relatividad.

Según los cálculos, la curvatura del espacio-tiempo alrededor de la Tierra debería ocasionar que el eje de los giroscopios se moviera 0.041 segundo de arco en un año (1/3600 de grado). Por supuesto, el aparato de medida debe funcionar sin tocar el giroscopio.

Luego de 50 años de planes, 700 millones de dólares de presupuesto, y al menos 7 cancelaciones, el experimento se llevó a cabo. Se lanzó el satélite con los giroscopios a bordo en 2004.

¿Qué ha resultado de todo esto?



**Fuentes:** [http://ciencia.astroseti.org/nasa/articulo\\_811\\_una\\_prueba\\_para\\_einstein.htm](http://ciencia.astroseti.org/nasa/articulo_811_una_prueba_para_einstein.htm); [http://www.wikilearning.com/articulo/teoria\\_de\\_einstein\\_parcialmente\\_verificada-teoria\\_de\\_einstein\\_parcialmente\\_verificada/14007-1](http://www.wikilearning.com/articulo/teoria_de_einstein_parcialmente_verificada-teoria_de_einstein_parcialmente_verificada/14007-1); película «Probando el Universo de Einstein (Testing Einstein's Universe)» de Norbert Bartel; [http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2005/28mar\\_gamma.htm](http://ciencia.nasa.gov/headlines/y2005/28mar_gamma.htm); y <http://einstein.stanford.edu> (Universidad de Stanford).



# MISCELÁNEA

Buscamos la siguiente información con intención de publicar en «*Curiosos casos, Cosas Curiosas*»:

- ¿Quién fue o es «**Jeova Sanctus Unus**», y cuáles fueron sus obras?
- ¿Quién recibió el título «**Grand Duke de Tuscany**» y años mas tarde muere en «**Arcetri**» con aproximadamente 77 años?
- ¿Quién fue el padre «**Tommaso Cacclini**» y que «daño» produjo en la Física?
- ¿Qué amigo famoso tuvo «**Gianfrancesco Sagredo**»?
- ¿A qué se refiere y que intenta explicar la teoría de la **Gravedad Cuántica de Bucles** (o **LQG** por su sigla en inglés)?
- ¿Qué prestigioso Físico(Matemático) afirmaba que «la piedra está compuesta de cuerpo, alma y espíritu» y en qué libro de su autoría?
- ¿Qué es un «**Arrianita o Arrianista**» y a cuál de ellos pertenece la obra «**Observations upon the Prophecies**» y lo apuntes «**Quaestiones quaedam philosophicae**»?
- ¿Quién fue el fabricante «**Marcantonio Mazzoleni**» y qué cosas manufacturaba?
- ¿Qué instrumento consta de un tubo de cristal hermético, con un liquido especial, en el cual flotan pequeñas esferas de cristal con liquido en su interior de color diferente cada una? ¿Cómo funciona? ¿Se fabrica en la actualidad? (¿Es correcta la mención que se hace a su inventor?)
- ¿Qué prestigioso parlamentario inglés hizo uso de la palabra una única vez durante su representación y sólo para pedir que cerraran una ventana?
- ¿A quién corresponde la frase «*Aquellos que buscan la «Piedra Filosofal» según sus propias reglas están obligados a una vida estricta y religiosa.*»
- ¿A quién acompañaron **Catherine y John Conduitt** en sus últimos momentos de vida?

*Nota: 6 en 12 Notable, siga estudiando Física; 8 o más en 12 Huumm, salga más; menos de 6 Huumm, lea un poco más pero no mucho, tal vez no sea tan importante.*

\*\*\*

**ideas®**

**EDITORIAL  
IMPRESORA**

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

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

**Descuentos especiales  
para docentes**

**Mercedes 1786 CP 11200 - Telefax: 408 6985 - Montevideo, Uruguay**  
**edideas@adinet.com.uy / [www.editorialideas.com.uy](http://www.editorialideas.com.uy)**

**Solicite  
Catálogo**



# Campanas tubulares

## Un ejemplo de objetos vibrantes no caracterizados por la educación clásica de ondas

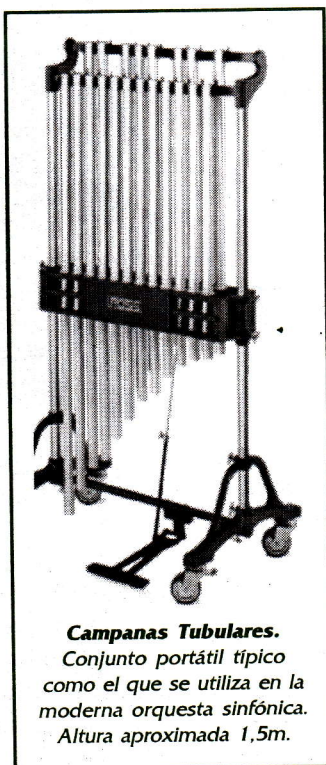
Martín Monteliro\*

### Contenido:

- Resumen.
- Breve Introducción Histórica.
- Instrumentos Armónicos E Inarmónicos.
- Las Campanas En La Música.
- ¿Cómo Abordar El Análisis De Una Campana Tubular?
- Análisis De La Campana Tubular Como Barra Oscilando Transversalmente.
- La Barra Como Medio Dispersivo Para Las Ondas Transversales.
- Soluciones A La Ecuación De Movimiento.
- Condiciones De Borde Y Modos Normales Asociados.
- Cálculos Y Medidas Para Campanas Tubulares De Aluminio.
- Conclusiones.
- Bibliografía.

### Resumen

En este trabajo se analizan los modos normales de vibración de una campana tubular, instrumento musical de la familia de los metalófonos (como el xilófono, el triángulo, el gong, etc.) consistente en un tubo metálico vertical libre que se hace sonar por percusión. A



**Campanas Tubulares.**  
Conjunto portátil típico  
como el que se utiliza en la  
moderna orquesta sinfónica.  
Altura aproximada 1,5m.

partir de cierto modelo físico que se discute, se llega a la ecuación de movimiento del objeto y finalmente se obtienen las frecuencias propias resolviendo el problema de las condiciones de borde. Se interpretan estos resultados y por último se contrasta el modelo teórico con medidas realizadas en tubos de aluminio reales. A modo de introducción contextualizadora se ofrece una visión histórica y musical sobre las campanas tubulares y sus antecesores. Se verá que a diferencia de lo que ocurre con las cuerdas o con las columnas de aire, donde aparecen frecuencias en series de números enteros, las campanas presentan sobretonos no armónicos. Como complemento, y para quienes estén interesados en escuchar los ejemplos musicales que aquí se citan, así como las campanas analizadas, se puede acceder al sitio del departamento de física del ITS: [www.fisica-its.co.cc](http://www.fisica-its.co.cc)

*Un nuevo estudiante se aproximó al maestro Zen y le preguntó como podía prepararse para su aprendizaje. «Piensa que soy una campana», explicó el maestro. «Dame un golpe suave y tendrás un pequeño sonido. Golpéame duro y recibirás un repique fuerte y resonante».*

### Breve introducción histórica

#### De oriente a occidente

Las campanas son objetos milenarios, de cuya existencia se tiene registro en las más diversas culturas. Las campanas han sido utilizadas con fines rituales y religiosos, como

\* Departamento de Física. Instituto Tecnológico Superior. (UTU-CETP). E-mail: [fisica@adinet.com.uy](mailto:fisica@adinet.com.uy) ([www.fisica-its.co.cc](http://www.fisica-its.co.cc))



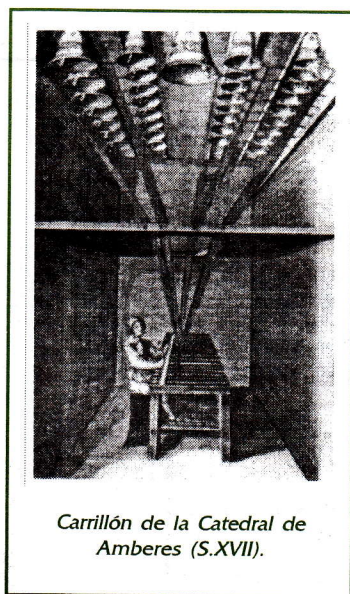


instrumentos musicales, y hasta con funciones sociales y domésticas. Los ejemplares más antiguos se encuentran en el oriente, en India, Egipto, China, etc., con más de tres mil años de edad. Del siglo V A.C. (aunque se conocen anteriores) datan los juegos más impresionantes de campanas chinas bitonales. De forma oval en su base, sus constructores lograron instrumentos de gran belleza, de gran tamaño y con una cualidad no imitada: eran capaces de sonar con dos tonos diferentes según el lugar donde se golpearan. Siglos después estos diseños van siendo reemplazados gradualmente por formas más simétricas, similares al panel o al barril, abiertas por debajo



y cerradas por arriba, de donde eran sostenidas. Su sonido se obtenía golpeándolas desde afuera con mazas de madera. Estas variedades todavía se construyen hoy en día. Son estos modelos «monotonalés» los primeros en llegar a Europa desde el oriente, antes de la edad media. Inicialmente conservan su forma oriental (de barril) y lentamente se van transformando, ensanchándose por de-

bajo, adquiriendo la tradicional forma de las campanas de iglesia. Desde un principio, su finalidad, como en oriente, es principalmente ritual. La Iglesia la adopta y le va a dar su nombre definitivo, y es que según la leyenda, las primeras campanas se comenzaron a utilizar en la región de Campana, en Italia. Por aquella época la institución católica utiliza la campana como sistema, ya sea para llamar a sus fieles, para marcar los momentos de oración, o señalar determinados eventos importantes para sus congregaciones. Al tiempo se le empieza a prestar atención como instrumento musical. Su sonoridad es incorporada en primer lugar a los templos —como ocurrió con los órganos de tubos— y es así que todavía se conservan iglesias con antiguos juegos de campanas llamados carrillones. Estos son enormes conjuntos accionados por un ejecutante a través de intrincados mecanismos de cuerdas y palancas. Así es como en occidente se ejecutan las primeras piezas musicales en campanas, aunque no se trata de composiciones destinadas especialmente a estas. En realidad es muy poca la música que los compositores le han dedicado a este instrumento. Se frecuenta muy poco —sobre todo en occidente— y esto tiene una explicación: las campanas poseen frecuencias que no son múltiplos enteros de la fundamental, es decir, el timbre o cualidad sonora intrínseca de la campana no es consonante en el sentido de la música occidental. En relación a la historia de la física, es recién





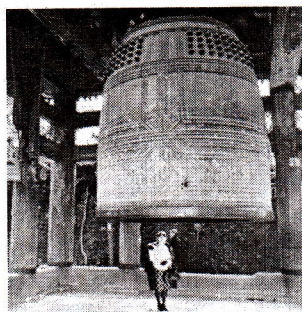
en el siglo XIX que físicos destacados, como Lord Rayleigh, le empezaran a dedicar su atención al problema del sonido de las campanas.

tradición son él y sus discípulos quienes por primera vez vinculan elementos tan disímiles como música, matemáticas, geometría, física y hasta psicoacústica. Desde antes de

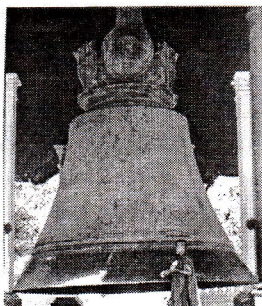
aquella antigüedad milenaria, se conocía la propiedad por la cual una misma cuerda es capaz de producir diferentes notas musicales con solo modificar su longitud. Este es el principio rector de instrumentos como la guitarra, el violín, etc., donde el ejecutante, con ayuda de trastes o sin ellos, modifica con sus dedos la longitud de la cuerda. Lo que Pitágoras descubrió fue que los sonidos agradables producidos por una cuerda están en relación directa con la sencillez de la razón entre sus longitudes. En términos modernos, cuanto más simple la relación entre sus frecuencias, más agradable al oído resulta el intervalo musical. Se denomina así a la razón entre frecuencias. Una determinada sucesión de éstos constituye una escala musical. He aquí, a modo de ejemplo, algunos de los intervalos consonantes más importantes: octava (2:1), quinta (3:2), cuarta (4:3), tercera mayor (5:4), etc.

Las cuerdas, además, son el paradigma de los denominados «instrumentos con características musicales» o con timbre compatible con la armonía pues poseen una distribución espectral en la que los sobretonos son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental del instrumento, es decir, los sobretonos son armónicos.

Para entender esta íntima conexión entre armonía musical y timbre, la Humanidad tuvo que esperar un largo paréntesis de más de 20 siglos –de Pitágoras a Helmholtz–, para descubrir que esta idea pitagórica de armonía musical, no solo explica el agrado por determinados intervalos, sino que explica también el agrado por determinados



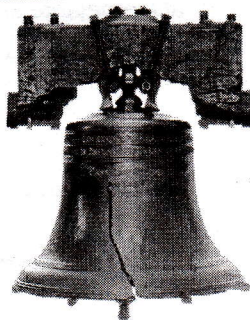
*Gran campana del templo budista Chion en Kyoto, Japón, con su antigua forma de barril. (74 toneladas).*



*Campana Mingun, en Burma. Obsérvese la similitud con la forma occidental. Es la mayor en funcionamiento. (97 toneladas).*



*Gran campana de Moscú, fundida en el año 1733. Nunca llegó a sonar pues se quebró antes, al incendiarse la torre en la que fue instalada. Es la mayor existente. (192 toneladas).*



*"Liberty Bell"  
La campana que anunció la independencia de los Estados Unidos, el 4 de julio de 1776.*

#### **Campanas Históricas**

## **Instrumentos armónicos e inarmónicos**

### **De las cuerdas a las campanas**

Podemos situar en Pitágoras la referencia más arcaica conocida de lo que hoy denominamos acústica musical, pues según la





Grabado en madera del *Theorica Musicae* de Franchino Gaffori (Milán, 1469).

timbres. El físico alemán Hermann von Helmholtz, uno de los principales impulsores de la acústica musical en el siglo XIX, en su libro «On the sensation of tone as a physiological basis for the theory of music», destaca que para que un sonido resulte notoriamente musical, debe poseer una serie de sobretonos armónicos, o sea, múltiplos enteros de la fundamental.

Por supuesto que la característica sonora o tímbrica de un instrumento depende no solo de cómo se distribuyen sus armónicos, sino también de cómo evolucionan éstos en el tiempo. Traducido a un lenguaje usual entre compositores, las características mencionadas son las que hacen al «color» de cada instrumento, y su variedad conforma la «paleta» a disposición del compositor.

Las campanas, como casi todos los idiófonos (instrumentos de percusión), -a diferencia de las cuerdas- poseen frecuencias que no se encuentran en razones de múltiplos enteros. Esto les da una peculiaridad que los sitúa a medio camino entre los instrumentos de tono definido y los instrumentos de tono indefinido. Si bien las campanas se clasifican como idiófonos metálicos (metalófonos) afinados, estrictamente no lo son, pues poseen sobretonos en relación no simple con su fundamental. Esto produce en el oído sensaciones que pueden ser confusas desde el punto de vista musical. Muchas veces su sonido se separa perceptivamente produciendo sensaciones

ambiguas. Esto se debe a la interacción entre percepción y algo que va inseparablemente de la mano con todo hecho subjetivo: la cultura. Nosotros estamos formados en una cultura tonal en la que la escala tiene una determinada estructura (relaciones entre intervalos). A esta se asocian determinados timbres que tienen una consonancia interna con esa estructura de escala. Así es como la campana, el instrumento que nos ocupa, se sitúa entre los de afinación definida y los no afinables. Como ejemplo informativo, entre los instrumentos de tono indefinido, parientes de las campanas, encontramos los platillos (extensamente utilizados en la murga, en la batería de rock, en el Jazz, en la orquesta, etc.), el triángulo, el tam-tam, el gong, etc., caracterizados por una riqueza tímbrica tan alta, es decir, con una producción espectral de tal cantidad de frecuencias que el oído es incapaz de discernir una como su fundamental (semejante al ruido blanco o rosado).

En síntesis, las campanas se encuentran fuera del cuadro de instrumentos considerados clásicamente como «musicales», debido a que la mayoría de los sobretonos que generan no son armónicos.

## Las campanas en la música

### De las grandes campanas a las campanas tubulares

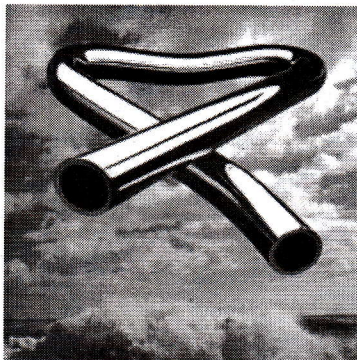
En occidente, es recién llegando al siglo XIX que surge cierto interés por el uso de las campanas como instrumento musical. El repertorio musical se amplía, las orquestas se hacen más grandes, se buscan nuevos sonidos y entre ellos la posibilidad de emular a las grandes campanas sin caer en los carillones fijos y voluminosos. Se busca algo más práctico, factible para una orquesta y más simple de transportar. Es así como surgen las campanas tubulares, como una necesidad de simular el sonido de las grandes campanas de iglesia. Lo que el compositor busca con las campanas es agregar «color» a sus composiciones, un «color»



caracterizado por un poderoso ataque (el momento del golpe) y una gran resonancia (en sentido musical significa una gran evolución tímbrica a lo largo del tiempo). O simplemente puede querer utilizarlas como recurso para referir a eventos asociados con las campanas religiosas.

Mencionamos a continuación algunos ejemplos:

- La obertura «1812», de Tchaicovsky, - que celebra el triunfo de la resistencia rusa sobre el ejército napoleónico-. Sobre el final de esta obra se escuchan, entre grandes golpes de orquesta y sonidos de cañones, un «retumbar» de campanas que simulan el sonido de las iglesias de Moscú festejando la victoria.
- Berlioz recurre a las campanas en su Sinfonía Fantástica, en el quinto movimiento «Sueño de una noche de sabbat». Aunque aquí muchas veces se utilizan «campanas» que son placas metálicas rectangulares.
- Wagner, con un aire más sublime y con su detallismo característico, incorpora campanas en su última ópera «Pársifal», con motivo de la entrada de los caballeros al templo del Santo Grial. Se cuentan varias anécdotas en torno a esta búsqueda de campanas. Se dice que Wagner quería reproducir dentro del teatro el sonido de las grandes campanas de iglesia pero sonando a lo lejos y sin opacar el sonido de la orquesta, asunto que resultaba obviamente imposible con las verdaderas campanas en el interior del teatro. Los sustitutos fueron desde tam-tams modificados (que no le conformaron), hasta un piano modificado con varias cuerdas graves sonando al unísono (que tampoco llegó a conformarle lo suficiente). Hoy en día, aparte de las



Portada del disco "TUBULAR BELLS" de Mike Oldfield (1973).

campanas tubulares, algunos directores recurren directamente a grabaciones en las que se puede controlar la intensidad del sonido sin perjuicio del equilibrio musical.

- Hacia principios del siglo XX, podemos mencionar la obra «Ionization, para 13 instrumentos de percusión», de Edgar Varese.
- Y a la música popular también llegaron las campanas. El ejemplo

más destacado, sin lugar a dudas, es el de «TUBULAR BELLS» de Mike Oldfield. Un disco instrumental, del género Rock Progresivo, extremadamente exitoso e influyente, editado en el año 1973. Baste como dato, para tener una idea de su popularidad, que llegó a vender más de 17 millones de copias.

## ¿Cómo abordar el análisis de una campana tubular?

### De los objetos flexibles tensos a los objetos rígidos

¿Qué es lo que le da a las campanas su sonido característico?. Para entenderlo mejor, establezcamos un comparativo entre, por una parte, cuerdas y membranas, y por otra parte, barras y placas metálicas. En el caso de la cuerda tensa (presente en violines, violas, bajos, guitarras, arpas, pianos, etc.) es bien sabido que aparecen sobretonos armónicos (es decir, frecuencias que son múltiplos enteros de la fundamental) debido a las condiciones de borde y al hecho de que la cuerda cumple con la ecuación de onda clásica: derivada segunda respecto de la posición es proporcional a la derivada segunda respecto del tiempo. Esto es así porque, considerada en primera aproximación, la fuerza restauradora que da lugar a las vibraciones proviene de la tensión. Lo



misma ecuación cumplen las membranas (presentes en los timbales y todo tipo de tambores), aunque en este caso la geometría (1 dimensión en el caso de la cuerda y 2 en el caso de la membrana) nos lleva a una doble derivada segunda o laplaciano bidimensional.

Pues bien, la diferencia fundamental entre cuerdas y barras (o entre membranas y placas), radica en el origen de la fuerza restauradora. Para las barras y placas, la fuerza restauradora no se debe a una tensión aplicada sino a la propia rigidez del material. Esto da como consecuencia (como veremos más adelante) una ecuación de onda atípica, donde ahora la derivada segunda respecto del tiempo es proporcional a la derivada cuarta respecto de la posición, que ya no es la ecuación clásica de onda.

| flexibles                                              | rígidos                                                         |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1-D : cuerda<br>(violín, guitarra, piano, etc.)        | 1-D : barra<br>(campana tubular, xilófono, triángulo, etc.)     |
| 2-D : membrana<br>(timbal, tambor, etc.)               | 2-D : placa<br>(campana, platillo, gong, etc.)                  |
| $\nabla^2 z \propto \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$ | $\nabla^2 \nabla^2 z \propto \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}$ |

Veamos, pues, cómo llegamos a la ecuación de movimiento para la campana tubular. Previamente es pertinente la pregunta ¿cómo analizar este objeto? Una posibilidad sería considerar a la campana tubular como una placa metálica plegada. En esta línea de pensamiento nos acercamos a la campana como objeto extendido, tal como las campanas de iglesia, o los platillos, cada uno caracterizado por sus condiciones de borde particulares. Por otra parte, podemos usufructuar el hecho de que el diámetro de las campanas tubulares es mucho menor que su longitud y en consecuencia considerar a las campanas como barras oscilando transversalmente. Y en este caso, por último ¿por qué solo considerar los modos transversales de oscilación? ¿Qué ocurre con las oscilaciones longitudinales? ¿Y con los modos de torsión? Sobre estas cuestiones tenemos algunos argumentos que postergamos para la conclu-

sión de este trabajo.

Por ahora, nuestro análisis se limitará únicamente a los modos normales transversales.

## Análisis de la campana tubular como barra oscilando transversalmente

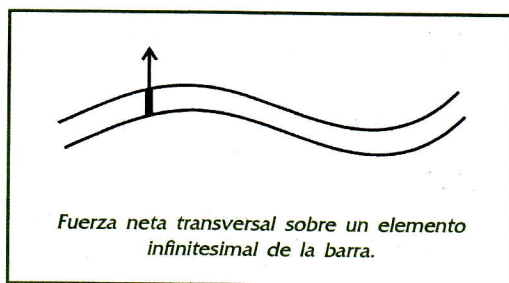
### De la ecuación de movimiento a las frecuencias propias

#### 1. Ecuación de Newton:

Consideramos una barra homogénea de densidad  $\rho$  y sección  $S$ , simétrica respecto del eje longitudinal  $x$ . Y elegimos el eje  $y$  en la dirección de las perturbaciones.

Para cada tramo de la barra, de longitud  $dx$ , se cumple la ecuación de Newton, en particular, para la componente transversal y tenemos:

$$F_{NETA\_y} = ma_y \quad (1)$$



Como la masa del tramo es  $m = \rho S dx$ , la ecuación de Newton para cada tramo infinitesimal de la barra tiene la forma:

$$F_{N\_y} = \rho S \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} dx \quad [\text{Newton}] \quad (2)$$

Para llegar a la ecuación de movimiento, nuestra siguiente tarea será encontrar la componente transversal de la fuerza neta.



## 2. Relación entre fuerza neta transversal y torque:

Para flexionar una barra es necesario aplicar un momento en cada extremo (del tramo que estamos considerando). El momento neto es entonces la suma de ambos:

$$M_N = M(x+dx) - M(x) \quad (3)$$

Diferencia que permite un desarrollo de Taylor de primer orden:

$$M_N = \left( M(x) + \frac{\partial M}{\partial x} \Big|_x dx \right) - M(x) = \frac{\partial M}{\partial x} \Big|_x dx \quad (4)$$

Por otra parte, este momento se traduce en una fuerza transversal que actúa sobre la barra. Si lo calculamos respecto del extremo izquierdo del tramo, obtenemos:

$$M_N = F_y(x+dx) \cdot dx + F_y(x) \cdot 0 \quad (5)$$

Igualando el momento neto calculado de ambas formas, llegamos a que en la barra flexada, la fuerza de corte transversal restauradora es igual a la derivada espacial del momento flexor,

$$F_y = \frac{\partial M}{\partial x} \quad [\text{Fuerza cortante}] \quad (6)$$

Estamos en condiciones de calcular la fuerza neta transversal sobre el tramo de barra (desarrollo de Taylor de primer orden

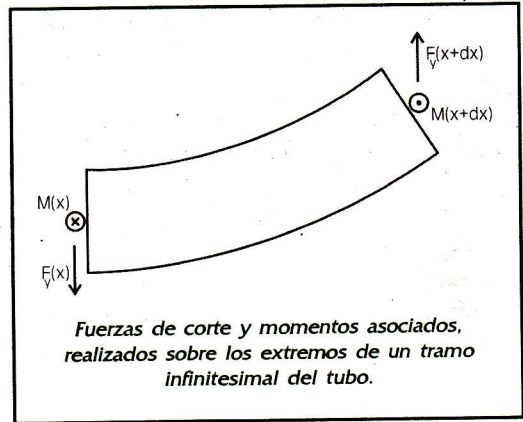
$$F_{N_y} = F_y(x+dx) - F_y(x) \approx \left[ F_y(x) + \left( \frac{\partial F_y}{\partial x} \right)_x dx \right] - F_y(x) = \left( \frac{\partial F_y}{\partial x} \right)_x dx = \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} dx \quad (7)$$

—mediante— en la fuerza transversal):

$$\text{Así tenemos, } F_{N_y} = \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} dx$$

[Fuerza neta transversal como derivada segunda del Momento Restaurador] (8)

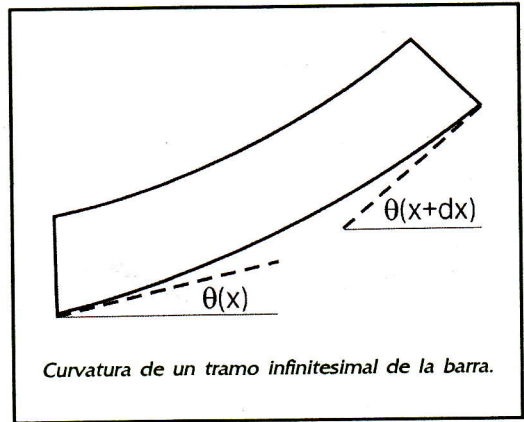
El siguiente paso en nuestro análisis será encontrar el origen dinámico de este torque  $M$ , que como veremos, está asociado a las



fuerzas longitudinales de estiramiento y compresión dentro de la barra.

## 3. Torque o momento de flexión restaurador realizado por la barra:

### a) Geometría de la barra flexionada:



Consideremos el ángulo de torsión, que es aquél ángulo formado entre las secciones extremas, es decir:

$$d\theta = \theta(x+dx) - \theta(x) \quad (9)$$

En aproximación de ángulos pequeños  $\theta \approx \text{tg}(\theta)$ , que es la derivada primera de la elongación respecto de  $x$ .

$$d\theta \approx \text{tg}(\theta(x+dx)) - \text{tg}(\theta(x)) = \frac{\partial y}{\partial x} \Big|_{x+dx} - \frac{\partial y}{\partial x} \Big|_x \quad (10)$$



Tomando a la derivada como función de  $x$ , podemos aproximarla en primer orden por Taylor:

$$\left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{x+dx} = \left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_x + \left. \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right|_x dx \quad (11)$$

con lo que el ángulo de flexión de la barra queda expresado en términos de la segunda derivada de la elongación (lo mismo ocurre al analizar las vibraciones en una cuerda tensa):

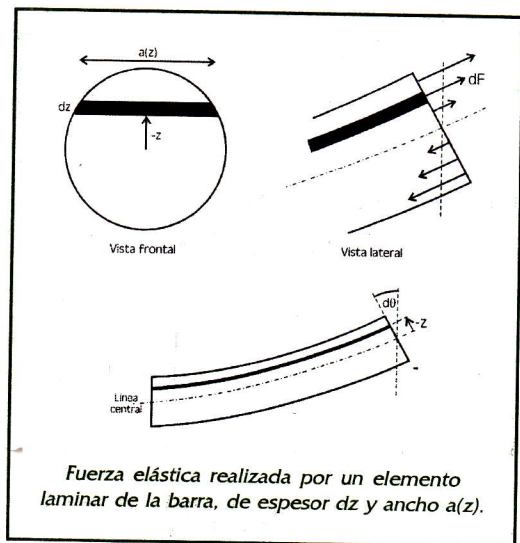
$$d\theta \approx \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx$$

[Curvatura de la Barra] (12)

Este resultado no es extraño si se recuerda que la derivada segunda es una medida de la concavidad.

### b) Momento restaurador:

La flexión de la barra implica estiramiento de las láminas exteriores y compresión de



las interiores (con respecto al centro de curvatura). Definimos una coordenada  $z$  para designar la posición relativa de cada lámina respecto de la línea central. Esta línea central se corresponde, por definición, con la lámina de la barra que no está estirada ni comprimida. Cada lámina se estira (o com-

prime) una cantidad  $dl = z \cdot d\theta$ . Teniendo en cuenta la ecuación anterior para la curvatura de la barra, la variación de longitud de cada lámina es,

$$dl = z \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx \quad (13)$$

Cada lámina realiza una fuerza  $dF$ . Suponiendo que el material se comporta linealmente —pues estamos bajo hipótesis de pequeñas perturbaciones—, se cumple que la fuerza por unidad de superficie realizada por cada lámina es igual al módulo de Young ( $Y$ ) por el estiramiento unitario, es decir:

$$\frac{dF_x(z)}{dS} = -Y \cdot \frac{dl}{l} \quad (14)$$

Dado que consideramos pequeñas perturbaciones, podemos asumir que  $l \approx dx$ . Por su parte, la sección de cada lámina depende de la forma de la barra, en particular, del ancho de cada lámina:  $dS = a(z) \cdot dz$ .

De este modo, la fuerza realizada por cada lámina es,

$$dF_x(z) = -Y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} z \cdot a(z) \cdot dz \quad (15)$$

Y el momento realizado por cada lámina es  $z \cdot dF$ , con lo que integrando en toda la sección obtenemos el momento neto:

$$M = \int dF z = - \int Y \cdot z^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} a(z) dz = -Y \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \int z^2 a(z) dz \quad (16)$$

Es usual definir una constante  $k$ , asociada a la sección de la barra,

$$k^2 = \frac{\int z^2 a(z) dz}{\int a(z) dz} \quad (17)$$

Obsérvese que el denominador es el área de la sección de la barra ( $S$ ). Con esta definición, finalmente, el momento restaurador realizado por la barra es,



$$M = -Y \cdot S \cdot \kappa^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

[Momento Restaurador] (18)

#### 4. Ecuación de Movimiento:

Recapitulando. La ecuación de Newton nos dice que la fuerza transversal es igual a la masa de cada tramo por su aceleración transversal:

$$F_{N-y} = \rho S \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} dx \quad (19)$$

Ya hemos calculado que para la barra flexada, esta fuerza transversal es la derivada segunda del torque respecto de la posición:

$$F_{N-y} = \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} dx \quad (20)$$

Sustituyendo esta en la anterior se tiene,

$$\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} = \rho S \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (21)$$

Por último vimos que este torque restaurador realizado por la barra es proporcional a su curvatura, y que la curvatura es esencialmente la derivada segunda de la elongación respecto de x:

$$M = -Y \cdot S \cdot \kappa^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (22)$$

Derivando dos veces esta expresión y sustituyendo en la anterior, llegamos finalmente a la ecuación de movimiento que estabamos buscando para las vibraciones transversales de una barra:

$$-Y \cdot \kappa^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (23)$$

O de modo más claro,

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -c^2 \kappa^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4}$$

[Ecuación de Movimiento] (24)

Donde  $c = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$  es la velocidad de las ondas longitudinales pero atención: no es la velocidad de las ondas transversales. Esta ecuación nos dice que ante pequeñas perturbaciones el comportamiento de la barra es lineal, no obstante lo cual, las ondas transversales son dispersivas, es decir, la velocidad de propagación de las ondas transversales en una barra depende de la frecuencia.

Observemos que la constante c resume las características físicas del material (pues depende de la rigidez y la densidad), mientras que la constante k resume las características geométricas de la campana (pues depende de la forma de la sección).

#### La barra como medio dispersivo para las ondas transversales

En la ecuación de onda clásica (lineal y no dispersiva) cualquier función de la forma  $f(x,t) = f(x \pm ct)$  es solución (solución de D'Alembert), lo que significa que el perfil de una onda o pulso se propaga sin deformarse, cualquiera sea su forma. En términos de un análisis de Fourier, esto se debe a que cada componente monocromática del pulso se propaga con la misma velocidad c. Es lo que ocurre, (como se sabe, en primer orden de aproximación) con las ondas transversales en una cuerda e incluso con las ondas longitudinales en una barra. Pero no es esto lo que sucede con las ondas transversales en la barra. Veamos que ocurre si proponemos una solución de este tipo en la ecuación de movimiento:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2} &= c^2 f''(x \pm ct) \\ \frac{\partial^4 f(x,t)}{\partial x^4} &= f^{IV}(x \pm ct) \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

$$\rightarrow c^2 f'' = -c^2 \kappa^2 f^{IV} \Rightarrow f'' = -\kappa^2 f^{IV} \quad (25)$$



Y como es obvio, no cualquier función es solución de esta ecuación diferencial.

Demos un paso más y supongamos una onda monocromática,  $f(x,t) = Ae^{i(kx-\omega t)}$ ,

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial t^2} &= -\omega^2 f(x,t) \\ \frac{\partial^4 f(x,t)}{\partial x^4} &= K^4 f(x,t) \end{aligned} \right\} \rightarrow$$

$$\rightarrow -\omega^2 = -c^2 \kappa^2 K^4 \Rightarrow \boxed{\omega(K) = \pm c \kappa K^2}$$

[Relación de Dispersión] (26)

La última ecuación es lo que se conoce como relación de dispersión, que nos brinda información importante sobre la propagación de las ondas transversales en la barra. En particular nos permite determinar la velocidad de fase y la velocidad de grupo,

$$v_f = \frac{\omega}{K} = c \kappa K = \sqrt{c \kappa \omega}$$

[Velocidad de fase] (27)

$$v_g = \frac{\partial \omega}{\partial K} = 2 c \kappa K = 2 \sqrt{c \kappa \omega}$$

[Velocidad de grupo] (28)

Esto deja suficientemente claro, entonces, que la velocidad de propagación de las ondas depende de la frecuencia, confirmando que las ondas transversales en una barra son dispersivas.

## Soluciones a la ecuación de movimiento

Nos disponemos a encontrar los modos normales por el método de separación de variables, asumiendo que la componente temporal es periódica (la parte real de una exponencial compleja), es decir:

$$f(x,t) = \psi(x) \cdot \phi(t) = \psi(x) \cdot e^{-i\omega t} \quad (29)$$

Ahora derivamos y sustituimos en la ecuación de movimiento (que es una PDE

o ecuación diferencial en derivadas parciales),

$$\left. \begin{aligned} \partial_{tt} f &= -\omega^2 \psi \phi \\ \partial_{xxxx} f &= \psi^{IV} \phi \end{aligned} \right\} \rightarrow -\omega^2 \psi \phi = -c^2 \kappa^2 \psi^{IV} \phi \rightarrow$$

$$\rightarrow \omega^2 \psi = c^2 \kappa^2 \psi^{IV} \quad (30)$$

Con lo que hemos reducido la PDE a una ecuación diferencial ordinaria (ODE), que no es otra que una versión modificada de la ecuación de Helmholtz o ecuación de onda independiente del tiempo. La única salvedad es que esta es de cuarto orden, sin embargo la técnica de solución es idéntica. Por simplicidad de notación definimos una constante  $\gamma_0^4 = \frac{\omega^2}{c^2 \kappa^2}$ , y buscamos soluciones exponenciales de la forma:  $\psi(x) = e^{\gamma x}$ , con lo que reducimos la ODE a una ecuación algebraica (polinomio de cuarto grado con cuatro raíces diferentes):

$$\left. \begin{aligned} \psi(x) &= e^{\gamma x} \\ \psi^{IV}(x) &= \gamma^4 e^{\gamma x} \end{aligned} \right\} \rightarrow \omega^2 e^{\gamma x} = c^2 \kappa^2 \gamma^4 e^{\gamma x} \rightarrow$$

$$\rightarrow \gamma^4 = \gamma_0^4 \rightarrow \begin{cases} \gamma_1 = \gamma_0 = \sqrt{\frac{\omega}{c \kappa}} \\ \gamma_2 = -\gamma_0 \\ \gamma_3 = i\gamma_0 \\ \gamma_4 = -i\gamma_0 \end{cases} \quad (31)$$

Así obtenemos cuatro funciones linealmente independientes y que por lo tanto forman una base de soluciones para la ODE, dado que esta es de cuarto orden. Explícitamente el conjunto base es,

$$\{e^{\gamma_0 x}, e^{\gamma_1 x}, e^{\gamma_2 x}, e^{\gamma_3 x}\} =$$

$$= \left\{ e^{\sqrt{\frac{\omega}{c \kappa}} x}, e^{-\sqrt{\frac{\omega}{c \kappa}} x}, e^{i\sqrt{\frac{\omega}{c \kappa}} x}, e^{-i\sqrt{\frac{\omega}{c \kappa}} x} \right\} \quad (32)$$



Equivalentemente, una combinación lineal de exponenciales reales genera el mismo espacio de funciones que una combinación lineal de las funciones seno hiperbólico y coseno hiperbólico. Y una C.L. de exponenciales imaginarias genera (en los reales) el mismo espacio que una C.L. de las funciones seno y coseno. De modo que con otra base, más adecuada a nuestros propósitos, tenemos que la forma más general para  $\psi(x)$  es la siguiente,

$$\psi(x) = A \cdot \sinh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + B \cdot \cosh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + C \cdot \sin\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + D \cdot \cos\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) \quad (33)$$

donde hemos expresado los argumentos en términos de la velocidad de fase. (Observar que de acuerdo con la ec. 27:  $\omega/v_f = \sqrt{\omega/c_k}$ . La solución general para la ecuación de movimiento es, entonces,

$$f(x,t) = \left( A \cdot \sinh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + B \cdot \cosh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + C \cdot \sin\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + D \cdot \cos\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) \right) e^{-i\omega t} \quad (34)$$

Las cuatro constantes (A, B, C y D) requieren cuatro condiciones de borde (dos por cada extremo) que analizamos seguidamente.

## Condiciones de borde y modos normales asociados

En forma ideal –y a modo de ejemplo–, las situaciones más elementales en las que pueden estar cada extremo de la barra son tres:

### Extremo libre:

Desplazamiento del extremo = libre.

Pendiente del extremo = libre.

Torque aplicado en el extremo = 0  
(ver ec.18)

$$\Rightarrow \left. \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right|_{\text{extremo}} = 0 \quad (35)$$

Fuerza cortante en el extremo = 0  
(ver ecs. 6 y 18)

$$\Rightarrow \left. \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \right|_{\text{extremo}} = 0 \quad (36)$$

### Extremo fijo:

Desplazamiento del extremo = 0

$$\Rightarrow y|_{\text{extremo}} = 0 \quad (37)$$

Pendiente del extremo = libre.

Torque aplicado en el extremo = 0  
(ver ec.18)

$$\Rightarrow \left. \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right|_{\text{extremo}} = 0 \quad (38)$$

Fuerza cortante en el extremo = libre.

### Extremo empotrado:

Desplazamiento del extremo = 0

$$\Rightarrow y|_{\text{extremo}} = 0 \quad (39)$$

Pendiente del extremo = 0

$$\Rightarrow \left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{\text{extremo}} = 0 \quad (40)$$

Torque aplicado en el extremo = libre.

Fuerza cortante en el extremo = libre.

Estas son solo algunas de las condiciones de borde, las más simples. A nuestros fines solo nos vamos a ocupar de las soluciones que surgen cuando ambos extremos están libres.

## Las 4 condiciones de borde para Ambos Extremos libres:

En  $x=0$ .

Torque nulo (ec. 35):



$$\begin{aligned}
 M|_{x=0} = 0 &\Rightarrow \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{x=0} = 0 (\forall t) \Rightarrow M|_{x=L} = 0 \Rightarrow \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{x=L} = 0 (\forall t) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow \left. \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \right|_{x=0} = 0 \Rightarrow \frac{\omega^2}{v^2} \left( A \cdot \sinh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + \right. \\
 &+ B \cdot \cosh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) - C \cdot \sin\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) - \\
 &\left. - D \cdot \cos\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) \right) \Big|_{x=0} = 0 \\
 &\Rightarrow \frac{\omega^2}{v^2} (B - D) = 0 \\
 &\therefore \boxed{B = D} \quad (41)
 \end{aligned}$$

Fuerza cortante nula (ec. 36):

$$\begin{aligned}
 &A \cdot \sinh\left(\frac{\omega}{v_f} L\right) + B \cdot \cosh\left(\frac{\omega}{v_f} L\right) - \\
 &- C \cdot \sin\left(\frac{\omega}{v_f} L\right) - D \cdot \cos\left(\frac{\omega}{v_f} L\right) = 0
 \end{aligned}$$

(43)

Fuerza cortante nula (ec. 36):

$$\begin{aligned}
 F_y|_{x=0} = 0 &\Rightarrow \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{x=0} = 0 (\forall t) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow \left. \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} \right|_{x=0} = 0 \Rightarrow \frac{\omega^3}{v^3} \left( A \cdot \cosh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + \right. \\
 &+ B \cdot \sinh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) - C \cdot \cos\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + \\
 &\left. + D \cdot \sin\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) \right) \Big|_{x=0} = 0 \\
 &\Rightarrow \frac{\omega^2}{v^2} (A - C) = 0 \\
 &\therefore \boxed{A = C} \quad (42)
 \end{aligned}$$

En  $x=L$ .

Torque nulo (ec. 35):

$$\begin{aligned}
 F_y|_{x=L} = 0 &\Rightarrow \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{x=L} = 0 (\forall t) \Rightarrow \\
 &\Rightarrow \left. \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} \right|_{x=L} = 0 \\
 &\left\{ \begin{aligned} &\frac{\omega^3}{v^3} \left( A \cdot \cosh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + B \cdot \sinh\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) - \right. \\ &\left. - C \cdot \cos\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) + D \cdot \sin\left(\frac{\omega}{v_f} x\right) \right) \Big|_{x=L} = 0 \end{aligned} \right. \\
 &\therefore \boxed{A \cdot \cosh\left(\frac{\omega}{v_f} L\right) + B \cdot \sinh\left(\frac{\omega}{v_f} L\right) -} \\
 &\boxed{- C \cdot \cos\left(\frac{\omega}{v_f} L\right) + D \cdot \sin\left(\frac{\omega}{v_f} L\right) = 0} \quad (44)
 \end{aligned}$$



Llegamos así a un sistema del que debemos obtener las cuatro constantes. Sin embargo, lo que nos interesa, más que encontrar las constantes, es encontrar las frecuencias propias, es decir, las frecuencias de los modos normales. Para esto sustituimos las igualdades de las dos primeras ecuaciones ( $A=C$  y  $B=D$ ) en las dos últimas y expresamos el sistema (ahora reducido a  $2 \times 2$ ) en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \sinh\left(\frac{\omega}{v_f}L\right) - \sin\left(\frac{\omega}{v_f}L\right) & \cosh\left(\frac{\omega}{v_f}L\right) - \cos\left(\frac{\omega}{v_f}L\right) \\ \cosh\left(\frac{\omega}{v_f}L\right) - \cos\left(\frac{\omega}{v_f}L\right) & \sinh\left(\frac{\omega}{v_f}L\right) + \sin\left(\frac{\omega}{v_f}L\right) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = 0 \quad (45)$$

Sistema que, como es homogéneo, va a tener soluciones no triviales sí y solo sí el determinante es nulo, (para abreviar definimos  $z = \frac{\omega L}{v_f}$ ), esto es,

$$\begin{aligned} & [\sinh(z) - \sin(z)][\sinh(z) + \sin(z)] - \\ & - [\cosh(z) - \cos(z)][\cosh(z) - \cos(z)] = 0 \end{aligned} \quad (46)$$

o,

$$\begin{aligned} & \sinh^2(z) - \sin^2(z) - \cosh^2(z) - \\ & - \cos^2(z) + 2 \cosh(z) \cos(z) = 0 \end{aligned} \quad (47)$$

Teniendo en cuenta las identidades fundamentales ( $\sin^2 + \cos^2 = 1$  y  $\cosh^2 - \sinh^2 = 1$ ), tenemos que,

$$\boxed{\cosh(z) \cos(z) = 1} \quad (48)$$

Esta ecuación trascendental la podemos resolver numéricamente como la intersección de las funciones  $\cos(z)$  y  $\cosh^{-1}(z)$ , tal como se muestra en la gráfica que se muestra en el cuadro.

Las primeras raíces de esta ecuación (representadas por las intersecciones de las dos

gráficas, sin contar  $z=0$ ) son:

$$\begin{aligned} z & \approx \{4.730, 7.853, 10.996, 14.137, 17.279, \dots\} \approx \\ & \approx \frac{\pi}{2} \{3, 5, 7, 9, 11, \dots\} \end{aligned} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} \text{Así tenemos, } \frac{\omega}{v_f} L & \approx \frac{\pi}{2} (2n+1) \\ (n & = 1, 2, 3, \dots) \end{aligned} \quad (50)$$

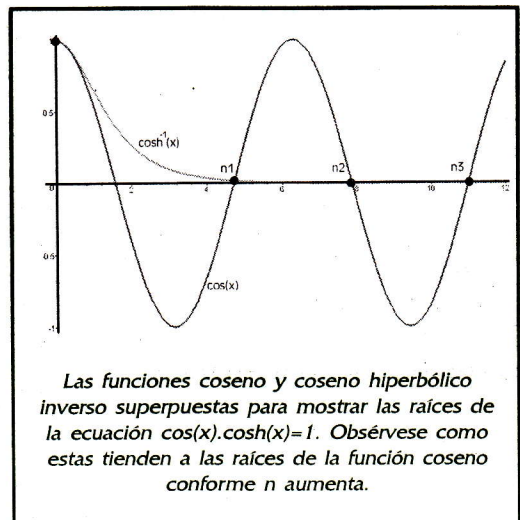
Sustituyendo la velocidad de fase y simplificando llegamos finalmente a la frecuencia de los modos normales para la barra vibrando transversalmente,

$$\frac{\omega}{\sqrt{cK\omega}} L \approx \frac{\pi}{2} (2n+1) \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (51)$$

$$\sqrt{\omega} \approx \frac{\pi \sqrt{cK}}{2L} (2n+1) \quad (52)$$

$$\omega \approx \frac{\pi^2 cK}{4L^2} (2n+1)^2 \quad (53)$$

$$\boxed{f \approx \frac{\pi cK}{8L^2} (2n+1)^2} \quad (54)$$



En términos de la frecuencia fundamental (la correspondiente a  $n=1$ ), los sobretonos superiores aparecen en la siguiente sucesión aproximada:

$$\frac{f_n}{f_1} \approx \frac{(2n+1)^2}{9.07} \approx \{2.76, 5.40, 8.93, 13.34, \dots\}$$

(55)

He aquí la demostración teórica de que los sobretonos producidos por una campana tubular (o barra, en general) no son armónicos desde el punto de vista musical.

## Cálculos y medidas para campanas tubulares de aluminio

### De la teoría a la práctica

Con motivo de contrastar los resultados obtenidos hasta aquí, nos proponemos calcular las frecuencias normales para dos campanas tubulares de aluminio y luego medir las frecuencias que verdaderamente resultan al hacerlas sonar.

Primeramente determinamos las constantes  $c$  y  $k$ .

La dos campanas construidas consisten en tubos de aluminio extruido, suspendidos por hilos.

| Longitud (mm) | Diámetro exterior (mm) | Espesor (mm) |
|---------------|------------------------|--------------|
| 1000          | 25,4                   | 1,0          |
| 340           | 9,5                    | 0,8          |

\* La menor incertidumbre en el diámetro y el espesor se deben a que son datos del fabricante, que brinda tolerancias en las décimas de milímetro.

### Determinación de la constante $c$ :

Material: ALUMINO, aleación 6063 (Características físicas según «Online Material Data Sheet»).

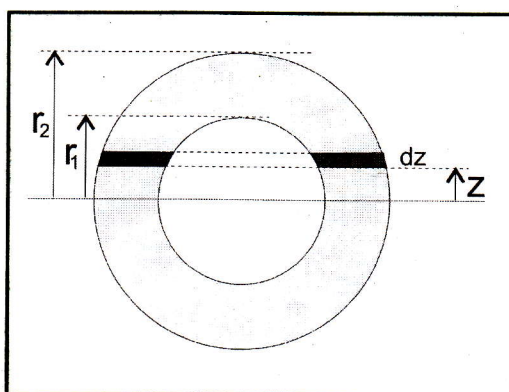
$$\left. \begin{aligned} Y_{Al} &= 6,89 \times 10^{10} \text{ Pa} \\ \rho_{Al} &= 2,70 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow c = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = 5,05 \times 10^3 \text{ m/s}$$

Esta constante es la misma para ambas campanas, pues solo depende del material.

### Determinación de la constante $k$ :

Debemos calcular ahora la constante asociada a la forma de la sección de la barra (ecuación 17).



Evidentemente, en el caso de las campanas tubulares se trata de una sección anular, y debemos determinar  $a(z)$ , que es el ancho efectivo de cada lámina de la barra.

Con un poco de geometría se puede concluir que esta es,

$$a(z) = \begin{cases} 2(\sqrt{r_2^2 - z^2} - \sqrt{r_1^2 - z^2}) & (z < r_1) \\ 2\sqrt{r_2^2 - z^2} & (r_1 < z < r_2) \end{cases} \quad (56)$$

Integrando entre 0 y  $a$ , luego entre  $a$  y  $b$ , y multiplicando todo por 2, obtenemos finalmente,

$$k = \frac{\sqrt{r_1^2 + r_2^2}}{2} \quad (57)$$



Así para las campanas que estamos considerando:

$$\kappa = 8,6 \times 10^{-3} m \text{ (para la de 25,4 mm)}$$

$$\kappa = 3,1 \times 10^{-3} m \text{ (para la de 9,5 mm)}$$

A partir de estos valores podemos calcular las frecuencias de sus modos normales.

Además, con algunos cálculos elementales más, se puede ver que el error relativo en las frecuencias calculadas es, aproximadamente:

$$\frac{\delta f}{f} = \frac{\delta c}{c} + \frac{\delta \kappa}{\kappa} + 2 \frac{\delta L}{L} \quad (58)$$

Con todo lo anterior obtenemos las frecuencias (en Hertz), para algunos modos normales de ambas campanas:

|           | n=1 | n=2  | n=3  | n=4  | n=5  | n=6  | n=7   | $\delta f/f$ |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|-------|--------------|
| L=1000 mm | 155 | 432  | 847  | 1400 | 2091 | 2920 | 3387  | 2%           |
| L=340 mm  | 481 | 1328 | 2602 | 4302 | 6426 | 8976 | 11950 | 4%           |

En los gráficos siguientes pueden observarse los espectrogramas correspondientes

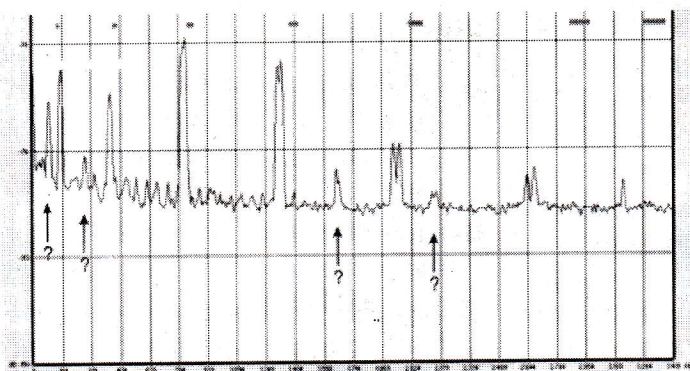
a cada campana, obtenidos por transformada rápida de Fourier (FFT), a partir del sonido capturado con micrófono, tarjeta de sonido y computadora. En la parte superior de cada gráfico se han incluido -en forma de marcas rectangulares- las frecuencias teóricas calculadas en la tabla anterior, con sus incertidumbres.

## Conclusiones

En este trabajo nos hemos aproximado a la física de la campana tubular modelándola como un objeto unidimensional, en el que solo se manifiestan pequeñas perturbaciones transversales. Bajo esas hipótesis se observa que:

- La ecuación de movimiento no es la clásica ecuación de onda lineal de segundo orden en el tiempo y el espacio, sino una ecuación también lineal y de segundo orden en

clásica ecuación de onda lineal de segundo orden en el tiempo

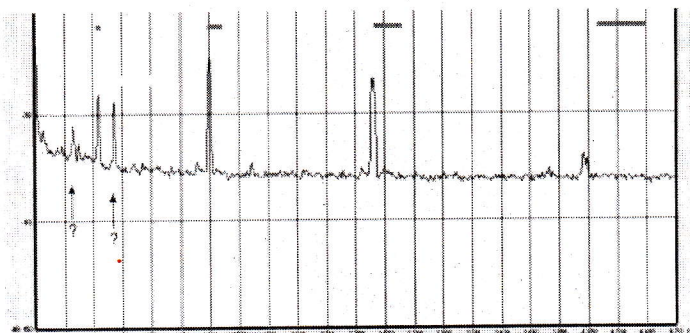


Espectro correspondiente a una campana tubular de aluminio (intensidad dB vs. frecuencia Hz)

Dimensiones:

1000 x 25,4 x 1,0 mm

Los rectángulos superiores indican las frecuencias teóricas.



Espectro correspondiente a una campana tubular de aluminio (intensidad dB vs. frecuencia Hz)

Dimensiones:

340 x 9,5 x 0,8 mm

Los rectángulos superiores indican las frecuencias teóricas.

el tiempo, pero de cuarto orden en el espacio.

- La modificación de la ecuación de movimiento tiene como una de sus consecuencias que no admite soluciones generales de la forma de D'Alembert.
- La campana resulta, así, ser un medio dispersivo para las ondas transversales, es decir, la velocidad de propagación depende de la frecuencia.
- Cuando se resuelve la ecuación de movimiento con las condiciones de borde apropiadas, se obtienen familias de soluciones que solo admiten determinadas frecuencias. Son estas las frecuencias de los modos normales:  $\{ 1 f_1 ; 2,76 f_1 ; 5,40 f_1 ; 8,93 f_1 ; 13,34 f_1 ; \dots \}$
- La validez del modelo seguido se puede aceptar como un primer orden de aproximación al problema si se contrasta con las medidas experimentales.

Aspectos pendientes que no se han tratado en este trabajo:

- El problema de condiciones iniciales: que según el lugar y la intensidad del impacto nos permitiría obtener la solución general en forma de serie de funciones ortogonales.
- El problema de la distribución espectral de energía y su evolución temporal.
- El problema de la radiación acústica y la eficiencia radiante de cada modo.
- El problema de los posibles acoplamientos o interacciones entre los modos transversales, longitudinales y torsionales.
- El problema de fenómenos no lineales.
- El problema de abordar una estrategia diferente para modelar al objeto, como

por ejemplo, suponiendo a la campana como una placa plegada.

Por último, los resultados experimentales sugieren varias cuestiones que dejamos planteadas y que seguramente están muy relacionadas con los comentarios anteriores:

- ¿Por qué están desplazadas las frecuencias teóricas respecto de las medidas? Una posible respuesta es que las constantes  $c$  y  $k$  estén sesgadas. Esto podría deberse a inhomogeneidades en el material, la presencia de microburbujas, tensiones internas, imperfecciones en la forma, etc.. Recuérdese que la homogeneidad del material y su sección invariable son hipótesis de trabajo fundamentales en el desarrollo que hemos propuesto.
- ¿Por qué aparecen frecuencias extrañas al modelo?
- ¿Por qué se da el fenómeno de duplicación de frecuencias?

## Bibliografía

- A.V., 2000, Acústica Musical, Biblioteca Scientific American., España.
- Bragard, De Hen, 1973, Instrumentos de Música, Daimon, España.
- Fletcher, Rossing, 1998, The Physics of Musical Instruments, Springer, USA.
- Kinsler, Frey, Coppens, Sanders, 1995, Fundamentos de Acústica, Limusa, México.
- Sandved y cols, 1962, El Mundo de la Música, Espasa-Calpe, España.

\*\*\*



# EDUCACIÓN en FÍSICA

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay  
Volumen 7 Número 6

Abril, 2008

## SUMARIO

**EDITORIAL** ..... pág. 1

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

**LOS MODELOS ATÓMICOS DESDE  
LOS FILÓSOFOS JÓNICOS HASTA SCHÖDINGER:  
aportes para su enseñanza**  
Ana G. Dumrauf - Silvina Cordero - Cecilia Mordegliá ..... pág. 3

**FÍSICA DEL HUMOR** ..... pág. 12

**MOVIDA OLIMPIADAS DE FÍSICA** ..... pág. 13

**COMUNICADOS** ..... pág. 14

**PLANIFICACIÓN: algunos aportes  
para volver a pensar sobre un  
clásico de la agenda docente**  
Cristina Rebollo - Claudia Cabrera - Estela Pereyra ..... pág. 15

**CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSAS** ..... pág. 23

**MISCELÁNEA** ..... pág. 24

**CAMPANAS TUBULARES  
Un ejemplo de objetos vibrantes  
no caracterizados por la  
educación clásica de ondas**  
Martín Monteiro ..... pág. 25