

EDUCACIÓN en FÍSICA

ISSN: 0797-9045

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay



PROCEDIMIENTO DE PRESENTACIÓN DE TRABAJOS

Pueden ser enviadas para su publicación contribuciones de diverso tipo: trabajos teóricos, experimentales, de investigación, tesis, comentarios de libros, trabajos de divulgación, sugerencias de sitios web, comentarios acerca de software, y todo artículo que promueva el conocimiento o la enseñanza de la Física o ciencias afines.

Estos trabajos pueden enviarse impresos, manuscritos o en formato electrónico; por e-mail a:

*apfu@adinet.com.uy o
revistaapfu@gmail.com,*

por fax al (598) 2400 1258 o entregados personalmente en el local de la Asociación (18 de Julio 1559 Ap. 401), días hábiles de 14.00 hs a 19.00 hs) en forma impresa o manuscrita y si es en formato electrónico en CD, DVD, pendrive o tarjetas de memoria, debidamente identificados adjuntando una carta donde se solicita la consideración de dicho trabajo para ser publicado en la Revista.

En general no se aceptarán trabajos que ya hayan sido publicados, o estén en consideración de publicación, por otro medio diferente a esta Revista. El Comité Editorial podrá autorizar en forma extraordinaria la publicación de trabajos que se encuentren en la condición anterior atendiendo a razones justificadas.

Cuando la APFU recibe un trabajo para su publicación en la Revista asume que:

- a. dicho trabajo puede ser publicado en la Revista o reimpresso, como considere el Comité Editorial. Para su publicación en un medio diferente a la Revista, la

APFU requerirá de los autores una autorización por escrito.

- b. es responsabilidad de los autores, no de la APFU, requerir el consentimiento de otras partes para la publicación de dicho material, como ser por ejemplo, imágenes o datos previamente publicados.

El contenido de los trabajos publicados en la Revista es de exclusiva responsabilidad de sus autores, no de la APFU.

Los trabajos serán arbitrados en forma anónima y del informe de este arbitraje se decidirá si dicho trabajo amerita ser publicado en la Revista. Durante el arbitraje se puede requerir de los autores explicar, ampliar o reescribir parte de su trabajo. Si se decide publicar el trabajo, se les comunicará a los autores la aceptación y se les pedirá, si aún no lo han hecho, de enviar el trabajo en formato electrónico y con el estilo fijado por la Revista.

Para su publicación los trabajos deben ser presentados en formato electrónico susceptible de ser editado. Se prefiere que lo hagan en formato .doc ya sea con MS Word, Writer de OpenOffice.org u otro editor de texto que genere archivos .doc. No se aceptan en formato .pdf. Los trabajos deben ser enviados a la Asociación o la Revista en la forma descripta anteriormente.

Estos trabajos deben ser presentados siguiendo ciertas reglas de estilo. Estas reglas, así como una plantilla que sirve de modelo para la presentación de los trabajos, se encuentran en la página web de la APFU:

<http://apfu.fisica.edu.uy>

COMENTARIOS SOBRE EL TRABAJO DE LAS FUERZAS APLICADAS EN SÓLIDOS REALES

Ismael Núñez

Instituto de Física - Facultad de Ingeniería Udelar; inunez@fing.edu.uy

Artículo

Resumen

Los sólidos reales son cuerpos para los que la distancia entre dos cualesquiera de sus partículas no es fija como en los rígidos. Cuando se abordan problemas sencillos de mecánica, que involucran bloques que se mueven sobre superficies bajo la acción de fuerzas, se suelen mezclar inadvertidamente el modelo de cuerpo rígido para los bloques con el modelo de sólido para los mismos. Esto lleva a algunas contradicciones, como se discutirá en este trabajo. Analizaremos el caso de la fuerza de rozamiento por contacto entre superficies, la cual solamente puede existir si tratamos con cuerpos sólidos. Cuando se utilizan leyes obtenidas con el modelo de cuerpo rígido aplicándolas a un cuerpo sólido, se pueden obtener resultados erróneos, que terminan por crear en la mente de los estudiantes un aparente conflicto entre la Mecánica y la Termodinámica.

Palabras clave

Modelos físicos de sólido y de rígido.

Los tres modelos

Exceptuando la mecánica de los fluidos, en toda introducción a la mecánica podemos dividir los modelos utilizados en partículas, rígidos y sólidos. Así mencionados en nivel creciente de dificultad para su estudio, debido a que cada modelo involucra un nivel de complejidad mayor.

Por ejemplo, consideraremos una *partícula* como un modelo de cuerpo de dimensiones espaciales despreciables comparadas con las otras dimensiones del experimento (en rigor, como un cuerpo con volumen nulo pero con masa¹). Es el modelo mecánico más elemental porque los demás se pueden construir a partir de él.

El cuerpo rígido es una primera aproximación al cuerpo sólido. Puede definirse como un conjunto de partículas cuyas distancias relativas permanecen invariantes. De hecho, es intrascendente que el rígido sea un conjunto de partículas, puesto que puede considerarse un *continuo* material tal que la

¹ Resnick, Halliday, Krane (Física I) consideran como una partícula a un cuerpo extenso con la única condición de que se traslade sin rotar. Discrepamos con este concepto, entre otras cosas porque presenta problemas con la Estática ya que permitiría la existencia de fuerzas paralelas y no colineales sobre una misma «partícula», oscureciendo el modelo conceptual.

distancia entre dos cualesquiera de sus puntos permanece invariable. Por definición, un rígido no solamente es *indeformable* sino que es *irrompible*.

En resumen, los modelos de partícula y rígido se caracterizan por no necesitar ninguna *estructura interna*. Esto simplifica enormemente sus aplicaciones a la mecánica, si bien el rígido es un poco más complicado por tener más grados de libertad (tiene posibilidad de rotación).

El modelo de cuerpo sólido ya introduce una complejidad adicional porque para justificar su comportamiento mecánico requiere hipótesis sobre su estructura interna. Las partículas que lo forma están ligadas entre sí por fuerzas eléctricas que definen ciertas posiciones de equilibrio para aquellas. Pero las partículas pueden vibrar en torno a estas posiciones, con lo que aparece en los sólidos un movimiento interno que suele no ser macroscópicamente observable por medios mecánicos. Esto conduce a la aparición de una *energía interna* en el material que puede llevar a aparentes desbalances energéticos cuando solamente se están considerando las energías mecánicamente medibles, como la cinética y la potencial.

El cuerpo sólido también se puede modelar en muchos casos como un *medio continuo deformable*. De todas formas, esta «deformabilidad» involucra variaciones en la energía interna del sistema, que no aparecen cuando se utilizan los modelos de partícula aislada o de cuerpo rígido.

Otra característica del sólido es la «rompibilidad». Este fenómeno de ruptura del sólido puede ser a nivel microscópico, por ejemplo cuando dos sólidos rozan sus superficies. Sea a este nivel o a nivel macroscópico, la ruptura de un sólido requiere una inversión de trabajo externo para alejar «indefinidamente» partes que se atraen entre sí por las fuerzas eléctricas. Estos trabajos tampoco están contemplados como trabajos mecánicos macroscópicos (de la forma típica *fuerza x distancia*) cuando se estudia el movimiento del cuerpo como un todo bajo la acción de una fuerza externa macroscópica.

En el modelo de rígido, ni la «deformabilidad» ni la «rompibilidad» son posibles. Es decir, éstas son propiedades que caen fuera del modelo utilizado.

Por ello hay que tener especial cuidado cuando se está aplicando el modelo de rígido o partícula aislada en situaciones donde hay procesos que solamente pueden tener lugar si hay sólidos reales involucrados. Uno de estos casos es la fuerza de rozamiento por fricción entre superficies.

Las fuerzas de rozamiento

La fuerza de rozamiento por contacto entre superficies existe siempre entre cuerpos sólidos. Basándose en la segunda ley de Newton puede calcularse su valor (fuerza de rozamiento cinético) a partir de la medición de la aceleración de un bloque que desliza sobre una superficie. Se observa empíricamente que su valor es constante si no cambia la naturaleza de ambas superficies. En base a la primera ley de Newton, puede demostrarse también la existencia de la fuerza de rozamiento estático. Su valor se obtiene midiendo la fuerza externa necesaria para equilibrar el bloque en reposo sobre la superficie en cuestión. Se prueba que su magnitud depende de la fuerza externa aplicada pero tiene un límite superior, a partir del cual la fuerza externa provoca el movimiento del bloque.

Como aparece en todos los libros de física elemental, la naturaleza de estas fuerzas de rozamiento es explicada mediante un modelo sencillo y satisfactorio. Sin entrar en detalles, se supone que las superficies de los sólidos son microscópicamente irregulares. Por tal motivo, cuando un cuerpo se apoya sobre otro algunas «salientes» de uno encastran en algunas hendiduras del otro (eventualmente, también se puede interpretar que existen microsoldaduras entre puntos de ambos). Esto determina que una pequeña fuerza externa sobre uno de los sólidos (digamos, un bloque) no lo puede desplazar con respecto al otro. La fuerza originada por estas microsoldaduras o encastres entre ambas superficies es la de rozamiento estático, pero ésta tiene un valor límite máximo, en el punto en que se rompen las microsoldaduras o se parten las salientes que mantenían el encastre entre las superficies. Entonces comienza el desplazamiento relativo entre las mismas.

Durante este movimiento aparece una gran cantidad de fuerzas paralelas intermitentes, originadas por las irregularidades de las superficies. En el bloque móvil están orientadas en sentido opuesto al desplazamiento del mismo, y el valor medio temporal de la resultante de todas estas fuerzas constituye la fuerza de rozamiento cinético sobre el bloque. La experimentación directa prueba que esta fuerza es constante si no cambia la naturaleza de las superficies, situación que resulta teóricamente esperable desde el punto de vista estadístico debido al gran número de micro-fuerzas intermitentes que aparecen y desaparecen en diferentes lugares de contacto, y debido también a la homogeneidad macroscópica de ambas superficies («planas» desde este punto de vista).

Véase que este modelo aceptado para explicar la existencia de las fuerzas de rozamiento entre dos superficies por deslizamiento relativo, no es compatible con cualquier modelo de cuerpo.

Por ejemplo, sobre una partícula no puede existir ninguna de estas formas de rozamiento, porque la partícula no posee superficie.

El modelo de cuerpo rígido exige que la distancia entre dos cualesquiera de sus partículas permanezca invariable. A pesar de que los cuerpos rígidos pueden tener superficies de contacto, tampoco puede existir ninguna de estas fuerzas de rozamiento entre ellos. Pues si las «salientes» de una superficie microscópicamente irregular encastran en las «entrantes» de otro cuerpo rígido, la condición de rigidez requiere que no exista una fuerza paralela a esta superficie que pueda mover un rígido respecto al otro. Puesto que esto exigiría la rotura de las microsoldaduras que intervienen en el modelo explicativo de las fuerzas de rozamiento, y, con ello, la violación de la condición de rigidez. Entonces el coeficiente de rozamiento estático entre dos rígidos es infinito, o nulo (las superficies son perfectamente lisas). Lo mismo sucede para el rozamiento cinético, que tampoco puede existir.

Con esto concluimos que la fuerza de rozamiento originada por el contacto de las superficies de los cuerpos solamente puede existir entre sólidos no rígidos. Esto es, entre cuerpos deformables y rompibles. Este modelo de cuerpo «real» es el único que puede explicar cualitativa y cuantitativamente el comportamiento experimental observado para las fuerzas de rozamiento estático y cinético.

Las mecánicas de la partícula, del rígido y del sólido deformable

Según lo dicho antes, las mecánicas de la partícula y del rígido se pueden construir completamente a partir de las leyes de Newton, con el especial cuidado de excluir las fuerzas de rozamiento por contacto entre superficies, puesto que éstas quedan fuera de los modelos utilizados.

Naturalmente que uno puede incluir problemas sobre bloques que deslizan de acá para allá sujetos a fuerzas «de rozamiento». Pero aunque no se diga expresamente (tal vez porque resulte innecesario) se está utilizando entonces el modelo de sólido deformable y no el de bloque rígido. Esto no altera para nada las leyes fundamentales de la dinámica, para las cuales la fuerza neta es igual a la derivada temporal de la cantidad de movimiento lineal del sistema, y el momento neto de fuerzas es igual a la derivada temporal del momento cinético del sistema.

No obstante, una aparente paradoja tiene lugar cuando se introduce el balance energético en los problemas. Los únicos efectos posibles del trabajo de una fuerza sobre una partícula pueden ser cambiarle su energía cinética y/o potencial (si se encuentra en un campo externo conservativo). Igualmente sucede con el trabajo de fuerzas y momentos de fuerza sobre un rígido (aparecerá la energía cinética de rotación, además de la de traslación). Pero si el cuerpo es un sólido deformable (como lo exige la introducción de fuerzas de rozamiento), parte del trabajo puede, por ejemplo, incrementar la energía interna del cuerpo (por la deformación) o producir rotura. Entonces puede aparecer una aparente «falla» en la ley de conservación de la energía mecánica, si pretendemos aplicarla como fue deducida antes para partículas y rígidos. En el modelo de rígido, naturalmente, no existe la energía interna por estar inmóviles relativamente unas con respecto a otras todas sus partículas. O existe pero es irrelevante por ser invariante en cualquier problema.

La aplicación de las leyes fundamentales de la dinámica, tanto para partículas como para cuerpos rígidos, conduce directamente por simple deducción a la «ley de conservación de la energía», que en su forma más general se puede poner como

$$W = \Delta K + \Delta U_{pot} \quad (1)$$

donde W es el trabajo sobre el cuerpo efectuado por las fuerzas y momentos no conservativos, ΔK es la variación de su energía cinética (traslacional y rotacional) y ΔU_{pot} es la variación de su energía potencial en caso de que se encuentre en un campo de fuerzas conservativo.

No existe otra forma de energía en el modelo de la mecánica de partículas y rígidos, por lo que la expresión (1) es lógicamente correcta y abarca todos los casos posibles.

Si eventualmente no hay variación de energía potencial, como es el caso de un bloque que desliza sobre un plano horizontal sometido a una fuerza externa que produce un trabajo W , la expresión anterior queda

$$W = \Delta K \quad (2)$$

El trabajo sobre los cuerpos sólidos

Como dijimos antes, los cuerpos sólidos son cuerpos «reales» con volumen finito, esto es, los que son rompibles y deformables. La categorización excluye por tanto a los rígidos y a las partículas.

Un muy sencillo ejemplo muestra que las expresiones (1) y (2) no son válidas para estos cuerpos reales. Aunque se pueden validar a costa de «definir» una nueva «energía interna», la que suele ser no evidente ni observable por medios mecánicos.

El modelo más simple de cuerpo deformable, pero que será sumamente ilustrativo y generalizable a los cuerpos reales, consiste en dos bloques rígidos (o partículas) unidos por un resorte, como muestra la figura 1. Supongamos que los bloques tienen su base lisa y se apoyan sobre una superficie horizontal lisa y también rígida. Por lo dicho antes, no puede existir rozamiento entre esta superficie y los bloques. Este modelo puede asimilarse desde el punto de vista mecánico a una especie de «molécula diatómica».

Ambos bloques tienen la misma masas m y el resorte (sin masa) que los une tienen una constante elástica k y una longitud natural tal que la distancia entre los centros de los bloques es l cuando el sistema está en equilibrio. El bloque A tiene su posición inicial en el origen de coordenadas.

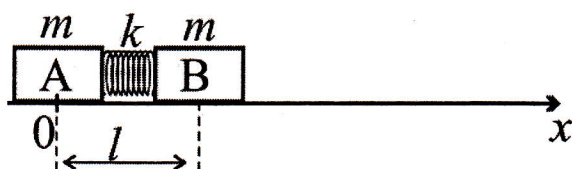


Figura 1. Dos bloques rígidos de base lisa están unidos por un resorte e inicialmente en equilibrio y en reposo sobre una superficie horizontal lisa.

Supongamos que se aplica una fuerza constante F hacia la derecha sobre el primer bloque (A) y el sistema comienza a moverse desde el reposo. Al cabo de un tiempo t el bloque A se encontrará en la posición x_A , el bloque B estará en la coordenada x_B y el resorte estará estirado (o comprimido) una distancia u , como ilustra la figura 2 para cierto instante $t > 0$.

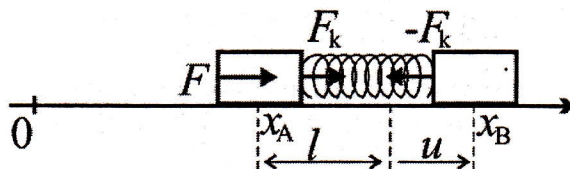


Figura 2. El bloque de la izquierda (A) es empujado con una fuerza externa constante F en la dirección positiva del eje x . F_k son las fuerzas internas ejercidas por el resorte.

El trabajo realizado por la fuerza externa neta en este problema es, evidentemente,

$$W = F x_A \quad (3)$$

Por otra parte, como ambos bloques partieron del reposo, la variación de la energía cinética del sistema hasta ese instante será

$$\Delta K = \frac{1}{2} m \dot{x}_A^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}_B^2, \quad (4)$$

donde $\dot{x}_A$ y $\dot{x}_B$ son, respectivamente, las velocidades del bloque A y del B en ese momento.

Como cabía esperar, el sistema comienza a vibrar, además de desplazarse hacia la derecha. La aplicación de las leyes de Newton a cada bloque permite resolver las coordenadas de posición de cada bloque así como la vibración u , para todo instante t .

Los detalles del cálculo no son de importancia, por lo que los remitimos al Apéndice y discutiremos cualitativamente los resultados.

Es obvio que la energía potencial elástica que el sistema incorpora a causa de la vibración que tiene lugar cuando comienza el movimiento, debe provenir del único trabajo externo efectuado W . De forma que no existen dudas, como se demuestra en el apéndice, que debe de ser $W > \Delta K$.

Antes de que el lector piense que el ejemplo es demasiado trivial y de poco aporte a la discusión, véase que el sistema puede consistir en una «caja negra», en la cual no se ve el resorte. Entonces el físico se ve obligado a suponer que existe una especie de energía interna ΔU_{int} en el sistema (justamente la energía de vibración de este «modelo de molécula»), de forma que el trabajo de la fuerza externa se reparte en el incremento de energía cinética y de esta energía interna del propio bloque. Entonces se salva la conservación de la energía escribiendo

$$W = \Delta K + \Delta U_{\text{int}} \quad (5)$$

Nuestro ejemplo podría modelar un cuerpo bi-molecular, o bi-atómico. No hay que tomar a la ligera el hecho de haber aproximado la fuerza intermolecular o interatómica como si fuera la ejercida por un resorte lineal del constante k . De hecho, la fuerza entre dos moléculas o átomos en un sólido son de origen eléctrico, y los modelos más comunes para la energía potencial entre las partículas conducen a gráficas como la de la figura 3 (potencial de Lennard-Jones). Obsérvese que, en torno a la posición de equilibrio $r = r_0$, se ajusta bien una parábola si las amplitudes de las vibraciones no son muy grandes. Esto es lo que justifica aproximar la fuerza intermolecular con el modelo de un resorte lineal.

En última instancia, se puede modelar cualquier sólido no rígido como un conjunto muy grande de partículas unidas por resortes en sus tres dimensiones. Los resortes serán iguales o diferentes según que el sólido sea mecánicamente isotrópico o no.

Además de ser nanométricas las amplitudes de vibración de las moléculas, están en una relación de fase aleatoria. Por tal motivo, resulta inobservable la manifestación macroscópica de estas vibraciones y el sólido se presenta en todo caso con su volumen invariable. No obstante, la suma de todas las energías intermoleculares de vibración puede conformar una cantidad apreciable de aporte a la variación de la energía interna en la ecuación (5). Esto se corresponde con una variación en la temperatura del sólido.

Finalmente, veamos que si la mesa horizontal de la figura 2 es rígida, las vibraciones moleculares del bloque no pueden transmitirse a la misma. Dicho de otra forma: un cuerpo rígido no puede variar su temperatura (no puede dar ni recibir calor).

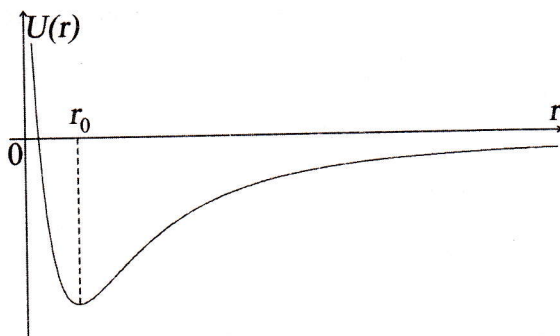


Figura 3. Energía potencial (Lennard-Jones) entre partículas vecinas de un sólido en función de la distancia entre ambas.

Un último aspecto a considerar sobre lo que puede hacer el trabajo externo sobre un sólido real, además de aumentarle su energía interna junto con la cinética, es la posibilidad de ruptura. Basta observar la gráfica del potencial de la figura 3 para darse cuenta que se necesita un trabajo externo para separar las partículas desde la distancia r_0 hasta el infinito. Esto significa romper el sólido.

Como se deduce de la misma gráfica, este trabajo de ruptura implica un incremento de la energía interna pues la lleva desde un valor negativo hasta 0 en el infinito. Podemos incluirlo entonces en la variación ΔU_{int} de la energía interna y mantener la validez de la expresión (5).

Con más razón tienen lugar estos procesos si la mesa también es un sólido rompible y deformable, como sucede en los hechos.

El trabajo del rozamiento y la termodinámica

A esta altura en que hemos llegado a la expresión (5) para evaluar el trabajo de una fuerza neta externa sobre un sólido no rígido, vemos que puede arribarse a conclusiones erróneas cuando se intenta aplicar las expresiones (1) ó (2) a problemas que involucran movimiento de sólidos con fuerzas de rozamiento por fricción. Pues en ese caso se utiliza una deducción obtenida con el modelo de cuerpo rígido o partícula a un cuerpo sólido deformable. Es decir que se mezclan inadvertidamente modelos diferentes de cuerpo físico en un mismo problema.

Para concretar, supongamos que tenemos un bloque sólido que se mueve con rozamiento cinético sobre una superficie horizontal fija, siendo ésta la fuerza externa neta.

Si la naturaleza de ambas superficies no cambia, es un hecho empírico que la fuerza de rozamiento cinético de módulo f_{roz} es constante y también lo será la aceleración a (negativa) del bloque. La ley fundamental de la dinámica nos habilita a escribir

$$-f_{roz} = ma = m \left(\frac{v_f^2 - v_i^2}{2d} \right) \quad (6)$$

donde m es la masa del bloque y d es la distancia recorrida por el mismo entre los puntos en que su velocidad inicial es v_i y su velocidad final es v_f .

Utilizando la definición de la energía cinética de traslación, la expresión puede ponerse como

$$-f_{roz}d = \Delta K \quad (7)$$

Hasta acá no hemos usado ningún balance energético y la expresión anterior, deducida exclusivamente de las leyes fundamentales de la dinámica, es correcta para sólidos deformables, como es este caso dado que existe un rozamiento por fricción.

Surge un problema cuando se intenta comparar (7) con (2) e identificar el producto $-f_{roz}d$ como el trabajo de la fuerza de rozamiento, lo cual es un error, porque la expresión (2) no es válida en el problema en que estamos aplicando la relación (7), la que sí es correcta.

Para un cuerpo deformable y rompible, la forma más general de conservación de la energía no es la obtenida con los limitados modelos físicos de partícula o de cuerpo rígido. Tampoco es la ecuación (5) obtenida antes, puesto que allí nos limitamos a una mesa rígida (aunque rugosa) y no dijimos nada sobre el aire circundante al sistema. La forma correcta, de la cual la expresión (5) es una parte, proviene del primer principio de la termodinámica.

Tomemos el bloque sólido de nuestro problema como sistema termodinámico. Sea W el trabajo hecho sobre el mismo por las fuerzas no conservativas, sean ΔU_{pot} y ΔK respectivamente las variaciones de energía potencial y cinética del bloque, sea ΔU_{int} su variación de energía interna (la energía térmica por agitación de las partículas y por ruptura de enlaces), y sea Q el calor que el sistema entrega al exterior (a la mesa horizontal -que ya no es rígida- y al aire circundante). Estamos considerando positivo al calor que sale del sistema. Se desprecia la energía acústica irradiada por el bloque deslizándose. Entonces el primer principio de la termodinámica establece la relación

$$W = \Delta K + \Delta U_{pot} + \Delta U_{int} + Q \quad (8)$$

Si asumimos, como antes, que no hay variación de la energía potencial del bloque tenemos que

$$W = \Delta K + \Delta U_{int} + Q \quad (9)$$

Como la fuerza neta externa es la de rozamiento f_{roz} , el trabajo W que aparece en (9) es efectivamente el trabajo de la fuerza de rozamiento W_{roz} en nuestro problema.

Sustituyendo (7) en (9) tenemos la expresión correcta para el trabajo de la fuerza de rozamiento como

$$W_{roz} = -f_{roz}d + \Delta U_{int} + Q \quad (10)$$

La experiencia nos indica que la temperatura del bloque se eleva por lo cual $\Delta U_{\text{int}} > 0$. Además también se eleva la temperatura de la superficie de la mesa y del aire circundante al sistema (el bloque), por lo que es $Q > 0$. De forma que se desprende inmediatamente de (10) que

$$W_{\text{roz}} \neq -f_{\text{roz}}d \quad (11)$$

Este resultado prueba que el trabajo de la fuerza de rozamiento no es el producto de la fuerza de rozamiento por la distancia que recorre el bloque y por el coseno del ángulo entre ambos. La única condición en que podríamos afirmar esto es suponiendo que no hay variación de la energía interna del bloque, ni se transfiere calor al medio circundante. Pero, de acuerdo a todo lo discutido antes, esto significa que no hay fuerza de rozamiento y estamos entonces tratando con rígidos o partículas puntuales.

Una salida que han manejado tanto Resnick-Halliday como Serway-Jewet al tratar este tema en sus libros de texto de Física I, es afirmar que el trabajo de la fuerza de rozamiento no se puede calcular como el producto de $-f_{\text{roz}}d$ debido a «la complejidad» de la naturaleza de la fuerza de rozamiento. Serway-Jewet en particular, así como sólo Serway en su «Física para estudiantes de ciencias e ingenierías», afirman que esta cantidad no es el trabajo de rozamiento porque d es el desplazamiento del bloque y no es el desplazamiento del punto de aplicación de la fuerza, dado que éste salta continuamente de un punto a otro de la superficie de contacto.

El texto de Sears, Zemansky, Young, Freedman («Física universitaria») ignora totalmente el problema y considera como trabajo de rozamiento el producto de la fuerza por la distancia por el coseno del ángulo.

Una solución que se me ocurre es plantearles a los estudiantes que el trabajo de rozamiento NO es exactamente $-f_{\text{roz}}d$, debido a que, además de variar la energía cinética, produce calor y aumentos de temperatura, por lo que deberá ser mayor que esa cantidad. No obstante, si suponemos que la temperatura circundante aumenta muy poco, podemos «aproximar» el trabajo de rozamiento al producto $-f_{\text{roz}}d$.

Lo que opino que no deberíamos hacer es no mencionar en clase este problema. A un alumno inteligente le puede surgir la duda sobre de dónde sale el calor generado por la fricción si el trabajo de rozamiento se invierte totalmente en variar la energía mecánica del cuerpo.

En fin, puede haber otros abordajes e intentos de resolver el tema. Sería bueno discutirlos.

Referencias

- Serway-Jewett, Física I, 3ra. edición, Ed. Thomson , 2004.
- Resnick-Halliday-Krane, Física Vol. 1, 5ta. edición, Ed. CECSA, 2005.
- Serway-Jewett, Física. Para ciencias e ingenierías, Vol. 1, 6ta. edición, Ed. Thomson 2005.
- Halliday-Resnick, Fundamentals of Physics, 8va. edición, Ed. John Wiley & Sons, 2008.

Apéndice

Trabajo externo y balance energético del «sólido deformable» formado por dos partículas unidas por un resorte.

Planteando las ecuaciones de Newton para las tres coordenadas de la figura 2 obtenemos

$$m\ddot{x}_A = F + F_k, \quad m\ddot{x}_B = -F_k, \quad F_k = ku \quad (12)$$

Además, tenemos la condición de ligadura que se deduce inmediatamente de la misma figura,

$$u = x_B - x_A - l \quad (13)$$

Restando las dos primeras ecuaciones (12) podemos eliminar la diferencia $x_B - x_A$ utilizando la ecuación (13). Resulta entonces una ecuación para la coordenada u en la forma

$$\ddot{u} + \frac{2k}{m}u = -\frac{F}{m} \quad (14)$$

De acá resulta un movimiento oscilatorio de frecuencia

$$\omega = \sqrt{\frac{2k}{m}} \quad (15)$$

Con las condiciones iniciales de $u(0) = \dot{u}(0) = 0$ (figura 1) tenemos la solución para la vibración del sistema,

$$u(t) = \frac{F}{2k}(\cos \omega t - 1) \quad (16)$$

Eliminando F_k entre la segunda y la tercera ecuaciones (12) podemos sustituir el resultado para u encontrado en (16) y resolver la ecuación para la coordenada x_B . Con las condiciones iniciales que aparecen en la figura 1, $x_B(0) = l$, $\dot{x}_B(0) = 0$, tenemos el resultado

$$x_B(t) = \frac{F}{4k}(\cos \omega t - 1) + \frac{F}{4m}t^2 + l \quad (17)$$

Finalmente, utilizando la relación (13) podemos sustituir las funciones halladas para u y para x_B para despejar x_A ,

$$x_A(t) = -\frac{F}{4k}(\cos \omega t - 1) + \frac{F}{4m}t^2 \quad (18)$$

De estos resultados tenemos que el trabajo hecho por la fuerza neta F sobre el sistema es, de acuerdo con (3),

$$W(t) = \frac{F^2}{4m} \left[t^2 + \left(\frac{\sin \omega t/2}{\omega/2} \right)^2 \right] \quad (19)$$

En tanto que la variación de energía cinética, de acuerdo con (4), resulta

$$\Delta K(t) = \frac{F^2}{4m} \left[t^2 + \left(\frac{\sin \omega t}{\omega} \right)^2 \right] \quad (20)$$

Se observa que $W \neq \Delta K$, lo que no puede sorprender ya que se introdujo una energía de vibración en el sistema que tuvo que salir del trabajo de la fuerza neta. Los resultados (16), (19) y (20) muestran que

$$W - \Delta K = \frac{1}{2} k u^2, \quad (21)$$

con lo que el balance energético cierra perfectamente, probando además que es $W > \Delta K$.

Se puede escribir la expresión (21) como la (5), donde aparece ΔU_{int} como el incremento en la energía interna (de vibración en este caso) de nuestra «molécula».

Vale la pena comentar lo siguiente. Si el resorte fuera «rígido» (esto es, si $k \rightarrow \infty$), entonces de acuerdo con (15) también es $\omega \rightarrow \infty$ y las expresiones (19) y (20) pasan a ser idénticas, como corresponde al modelo de cuerpos rígidos.

...



*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: 2408 6985 - Montevideo, Uruguay
edideas@adinet.com.uy | administración@editorialideas.com.uy



Reseña de Libros I

Prof. Mario Román Guerra Zabala

Título: «Noticias del Planeta Tierra»

Sub-título: «Galileo Galilei y la revolución científica»

Autor: Guillermo Boido; **Idioma:** Español; **Editorial:** «A-Z editora», Serie «La ciencia y la gente»; ISBN 950-534-382-5; **Edición:** 1996 [En la edición que se recomienda **no** figura la fecha segura de edición. Se ha elegido «1996» por corresponder a la fecha del *Prólogo redactado por el autor*]

El libro redactado por el Profesor Guillermo Boido, es un detallado análisis de los orígenes, desarrollo y culminación de la vida personal y científica de Galileo Galilei. Aunque se han redactado muchas obras con fines similares por parte de eminentes investigadores (Stillman Drake, Bernhard Cohen, Alexander Koyré, Arthur Koestler, John Claggett,...) el trabajo de Boido incluye aspectos diferentes y singulares que lo señalan como una lectura altamente recomendable.

A lo largo de sus catorce (14) capítulos, Boido desarrolla cuidada y documentadamente la evolución del pensamiento cosmológico desde la antigüedad hasta el advenimiento del copernicanismo, y las figuras de Galileo (centro de la temática) y Newton.

Las influencias provenientes del mundo medieval, particularmente el nominalismo y las posturas de importantes pensadores de los siglos XII y XIII, (William de Ockham entre los más conspicuos), son examinadas por el autor con gran detalle. Posteriormente, Boido examina aspectos personales de la obra científica de Galileo, incursionando para ello en las diferentes publicaciones que éste realizara. Entre ellas, se analiza una de enorme importancia en los sucesos posteriores que enfrentaron a Galileo con el santo Oficio: «Il Saggiatore». Y es aquí, particularmente en el Capítulo VII, donde la obra de Boido se presenta como diferente a todo lo escrito antes.

El autor señala en forma concisa los detalles de una investigación de enorme importancia acerca de razones fundamentales que pesaran en el conflicto Galileo-Santo Oficio. Esta investigación fue realizada en 1982 por el periodista e historiador de la ciencia italiano Pietro Redondi, que consultara [autorización mediante del Presidente de la Sagrada Congregación para la doctrina de la Fe (Cardenal Joseph Ratzinger)] documentos clasificados del Archivo Vaticano. En ese lugar, Redondi ubicó un documento clave, señalado como «G8», donde se pueden leer algunos aspectos no divulgados del conflicto galileano. Un conflicto que tiene menor relación con su divulgado copernicanismo y mucha mayor importancia al examinarse la posición atomista de Galileo. En aspectos esenciales a la Doctrina, esta posición coloca en discusión aspectos establecidos «de una vez para siempre» por el Concilio de Trento. Las investigaciones de Redondi se incluyen en el libro que redactara bajo el título «Galileo Heretic» (se trata de una obra en lengua inglesa) y que el mismo publicara como resultado de sus importantes hallazgos [Princeton University Press, Princeton, New Jersey, (1987)].

Este es uno de los aspectos, que señalan como diferente a esta documentada obra que recomendamos con entusiasmo. El libro abarca «lo conocido de la historia» y lo *menos divulgado de la misma*, y que, como ocurre generalmente, tiene importancia decisiva para comprender las reales raíces del conflicto.

...

DINOSAURIOS SAURÓPODOS:

El problema de los cuellos largos

Martín Ghizzoni

Esc. Téc. Superior de Administración y Servicios, J. C. Gómez 351
Liceo Nº 4, Av. Solari 2050; CP 5000, Salto - Uruguay
E-mail: martin.ghizzoni@hotmail.com

Artículo

Resumen

La biomecánica es la aplicación de las leyes de la mecánica clásica a los sistemas vivos y en este caso se realiza la discusión de un tema controversial de la paleobiología: la postura del cuello en los dinosaurios saurópodos. La evidencia parece indicar que estos animales no habrían mantenido normalmente a demasiada altura sus cuellos, según lo que se deduce de las características de su sistema circulatorio y de su anatomía a nivel cervical.

Palabras clave

Dinosaurio, presión, torque, resistencia, esfuerzo.

La Física del cuello de los saurópodos

A. Introducción

Los dinosaurios se clasifican en dos órdenes, saurisquios y ornitisquios. Los ornitisquios se agrupan en el suborden de los tireóforos (herbívoros cuadrúpedos acorazados como los anquilosaurios o los estegosaurios) y en el de los cerápodos (también herbívoros, algunos bípedos y otros cuadrúpedos, como los paquicefalosaurios, los hadrosaurios o los ceratopsios). Por otra parte los saurisquios se dividen en el suborden de los terópodos (carnívoros bípedos como los velociraptores o los tiranosaurios) y en el de los sauropodomorfos (herbívoros cuadrúpedos de cuellos y colas largas). A este último grupo pertenecen los saurópodos, algunos de los cuales fueron los vertebrados terrestres que alcanzaron mayor masa corporal. Los diplodocos y los braquiosaurios son ejemplos de saurópodos, y es a este tipo de dinosaurios al que se ha representado con sus cuellos erguidos muchos metros de altura sobre el suelo alcanzando las copas de los árboles fácilmente, pero... ¿era posible? Los documentales televisivos lo muestran como algo sencillo y natural, sin embargo debe ser analizado con cuidado.

B. Hidrostática del sistema circulatorio

¿Es capaz un animal de elevar su cabeza una decena de metros sobre el suelo? Comúnmente se observan representaciones de los saurópodos con sus cuellos erguidos comiendo las hojas más altas de los árboles sin problemas, pero si se recuerda lo que le sucede a una persona que se levanta rápidamente luego de haber estado acostada cierto tiempo, se comprenderá que no habría sido tarea fácil para un saurópodo elevar un inmenso cuello sin perder presión sanguínea a nivel cerebral. Es difícil imaginar una

escena tan devastadora como la de un animal de decenas de toneladas tambaleándose por falta de irrigación sanguínea y desplomándose, arrastrando con algunos árboles durante la caída y produciendo un enorme y estruendoso impacto. Puede comenzarse por analizar lo siguiente: la jirafa (*Giraffa camelopardalis*) es el animal con el cuello más largo en la actualidad y la distancia entre el corazón y el cerebro es de unos 2,5 m aproximadamente (ver Figura 1).

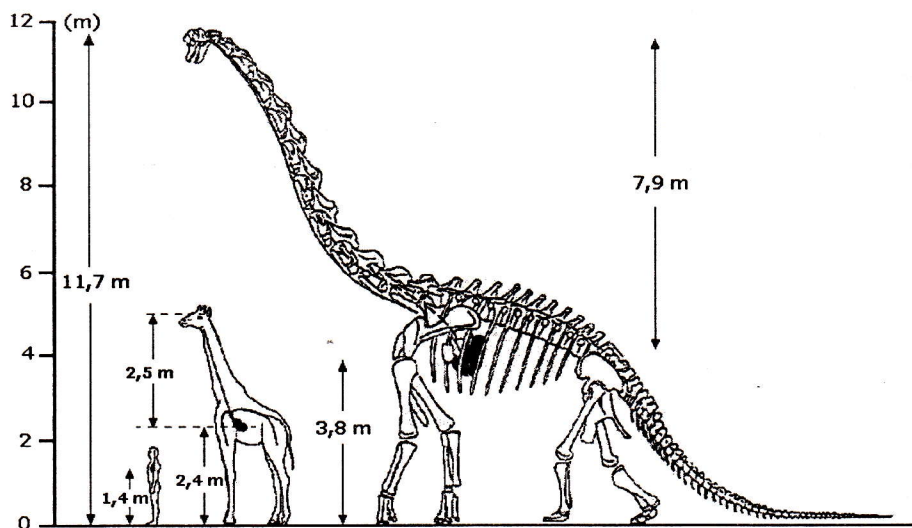


Figura 1. Comparación de alturas máximas entre el ser humano, la jirafa y *Brachiosaurus brancai*. Modificado de [7].

Mediante el Principio Fundamental de la Hidrostática se puede estimar la presión que ejerce la sangre a nivel del corazón en la jirafa. La presión que interesa aquí es la producida solamente por la columna de fluido (en este caso la sangre), es decir la presión manométrica. La presión de la columna de sangre (P_c) a la altura del corazón entonces es:

$$P_c = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

tomando la densidad de la sangre de los humanos que es cercana a 1055 kg m^{-3} [8] se obtiene:

$$P_c = 1055 \times 9,8 \times 2,5 = 2,6 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (2)$$

o sea unos 195 mmHg. Así que el corazón de la jirafa en principio debe por lo menos vencer esa presión para impulsar la sangre hasta el cerebro. Pero para que la sangre entre a la red vascular y mantenga las funciones cerebrales normales, además de la manométrica, debe vencerse la llamada presión de perfusión cerebral (PPC) que para las jirafas se estima que varía entre 60 mmHg y 125 mmHg [8], entonces la presión sería:

$$P = P_c + PPC \quad (3)$$

la cual estaría entre **255 mmHg** y **320 mmHg** aproximadamente y sin tener en cuenta la presión adicional que se debe aplicar para contrarrestar la fricción debida a la viscosidad de la sangre. Este mismo análisis se puede

realizar para el braquiosaurio (*Brachiosaurus brancai*) de la Figura 1, la distancia corazón-cerebro, según esta reconstrucción tradicional, es de unos impresionantes casi 8 m. La presión sanguínea manométrica sería:

$$P_c = 1055 \times 9,8 \times 8,0 = 8,3 \times 10^4 \text{ Pa} \quad (4)$$

o unos **624 mmHg**. De esto se deduce que el corazón del braquiosaurio debió, por lo menos, aplicar una presión dos veces más grande que la que aplica el corazón de una jirafa y esto sin tener en cuenta la PPC y la viscosidad de la sangre. Este es un valor muy elevado: es más del 80 % del valor de la presión atmosférica normal. Sin duda las presiones involucradas son enormes y cuesta creer que haya sido posible. Pero en la jirafa también las presiones son muy elevadas y mucho más grandes que las de otros animales y, si nunca se hubiese visto una jirafa viva, seguramente también se estaría dudando de su capacidad para mantener erguido su cuello. Sin embargo estos son animales exitosos que pueden llegar a vivir 25 años, ¿entonces cómo hacen estos mamíferos para mantenerse en pie?, el secreto está en que para compensar las elevadas presiones en su sistema circulatorio la evolución las dotó de un corazón muy grande con un peso casi igual al del corazón de un elefante, con una pared ventricular izquierda gruesa y una cámara ventricular izquierda grande, y además con arterias de paredes gruesas y resistentes.

Se han propuesto algunas adaptaciones biológicas para resolver el problema en los saurópodos y una de ellas es la de Choy & Altman [5], estos autores sugieren la existencia en *Barosaurus* de un conjunto de corazones trabajando en serie pero no existe evidencia directa de la presencia de corazones auxiliares de manera que esta extraña morfología no parece factible y sigue siendo razonable la idea de que los saurópodos tenían un solo y muy musculoso corazón capaz de ejercer presiones muy altas [3]. A su vez Seymour & Lillywhite [10] también sugieren la presencia de un único corazón pero estiman, en el mismo género de dinosaurio antes citado, que debido al tamaño que habría tenido sería un órgano ineficiente. Según sus estimaciones la energía requerida para poner en funcionamiento el corazón pudo ser, en determinadas condiciones, mayor que la necesaria para impulsar la sangre por lo que la solución para el dilema de la ineficiencia energética, concluyen, es mantener el cuello en posiciones bajas. Además hacen notar que presiones sanguíneas tan elevadas pudieron ser potenciales causas de edema (filtración de fluido dentro del espacio aéreo de los pulmones) y de ruptura de los capilares pulmonares.

C. Modelización de la postura cervical

Existe ahora otra interrogante, ¿tenía el cuello la flexibilidad necesaria para adoptar una posición erguida?

Stevens & Parrish [11] estimaron que cada vértebra cervical de los braquiosaurios podía sufrir una deflexión de 8° respecto de la postura neutra que sería la posición del cuello cuando éste no está flexionado dorsalmente ni ventralmente, es decir 8° de flexión dorsal y 8° de flexión ventral relativas al estado de deflexión neutra, y con ayuda del software DinoMorph® modelizaron la posición del cuello, como se ve en la Figura 2. De este estudio surgieron dos posibles modelos que describen la postura en los braquiosaurios, la diferencia entre el modelo A y el modelo B está en que

las posiciones finales del cuello dependen no solamente de la deflexión de las vértebras cervicales sino también de la ubicación de las dorsales (las de la espalda del animal). Si se observa con cuidado se puede apreciar que en el modelo B las primeras vértebras dorsales están más cerca de la parte superior de la escápula (omóplato) que en el modelo A, esto le da a la columna vertebral en esa región una inclinación mayor y por consiguiente la posibilidad de que la cabeza alcance más altura. Según este estudio la posición en postura neutra del cuello habría sido cercana a la dirección horizontal por lo que se estima que lo probable eran posiciones de la cabeza relativamente bajas. Otros autores como Taylor *et al.* [12] no comparten este análisis argumentando que la postura neutra no es la posición habitual del cuello en algunos vertebrados como las aves (que constituyen el grupo más cercanamente emparentado con los dinosaurios) sino que éste adopta una forma sigmoide (forma de S), además los dinosaurios presentan las extremidades erectas como los mamíferos (también las aves) y no flexionadas como los reptiles actuales, de manera que, afirman, extremidades erectas y cuello erecto forman parte de un mismo complejo funcional. También Wedel *et al.* [14][15] en su estudio sobre el dinosaurio *Sauroposeidon* sugieren para este saurópodo cierta curva en forma de S para el cuello.

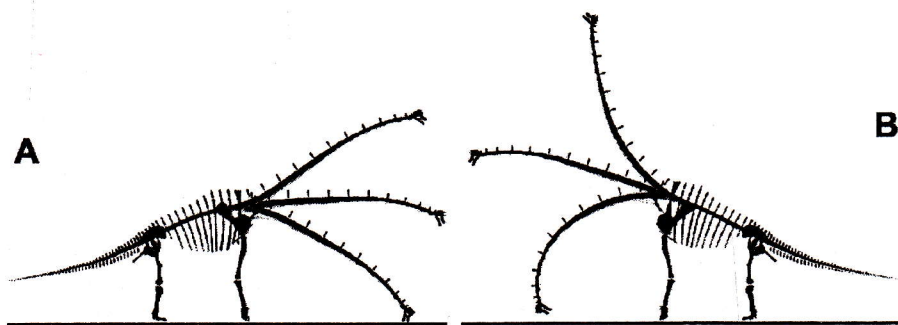


Figura 2. Modelo computarizado del movimiento del cuello en *Brachiosaurus brancai*. Tomado de [12].

D. Equilibrio de rotación y resistencia de estructuras

Un argumento en contra del modelo A puede ser que en esa situación, como el cuello tiende a adoptar una posición más cercana a la dirección horizontal, el peso tiende a producir un torque mayor y así se hace más difícil mantener el reposo porque las estructuras implicadas (músculos, tendones y ligamentos) están sometidas a esfuerzos mayores.

Para comprender mejor lo anterior es interesante analizar el estudio realizado por Alexander [1] sobre la posición del cuello en un dinosaurio saurópodo del género *Diplodocus*. En este estudio se estimó la masa de la cabeza y el cuello en unos 1340 kg y la ubicación del centro de masa del conjunto a 2,2 m (valores tomados de Alexander [2]) medido desde la articulación de la última vértebra cervical con la primera dorsal, es decir desde el punto donde estaría el «pivote» que permitiría el movimiento de rotación. En la Figura 3 se muestran las fuerzas que actúan

sobre el cuello: el peso del cuello y cabeza sumados ($\vec{P}$) produce un torque que tiende a producir una rotación en sentido antihorario, la tensión ($\vec{T}$) del ligamento nual tiende a su vez a producir un torque en sentido horario para equilibrar el momento de torsión del peso. La distancia entre el «pivote» (articulación entre última vértebra cervical y primera dorsal) y el lugar por donde pasa el «ligamento nual» (por las espinas neurales que son las proyecciones hacia arriba que poseen las vértebras y que en *Diplodocus* son bifurcadas) es de 42 cm aproximadamente. Por simplificación se considera un único ligamento al que se le llama ligamento nual igual al que poseen, por ejemplo, los mamíferos artiodáctilos (vacas, ovejas, ciervos, etc.). Una reconstrucción detallada se ve en las Figuras 4 y 5.

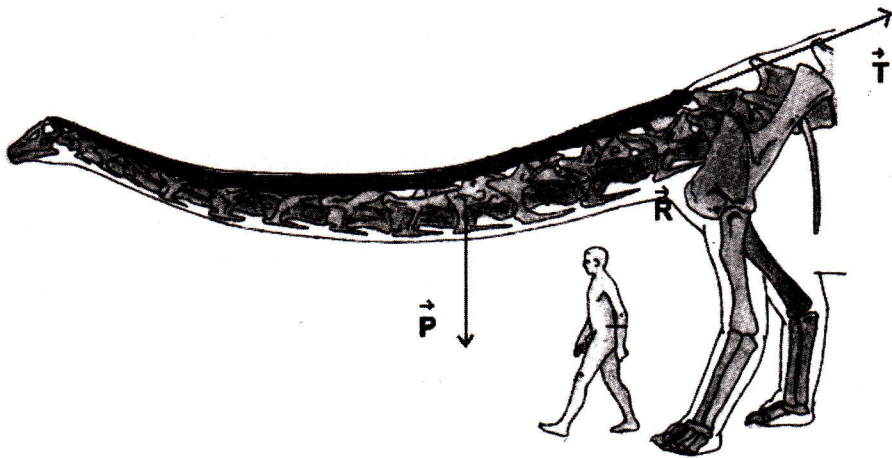


Figura 3. Fuerzas que actúan sobre el cuello en *Diplodocus*. La ubicación aproximada del ligamento nual se muestra a lo largo del cuello por sobre las vértebras cervicales. El círculo indica la posición donde estaría el «pivote» alrededor del cual rotaría el cuello. Los tamaños del «ligamento» y los vectores de las fuerzas implicadas no están a escala. Modificado de [4].

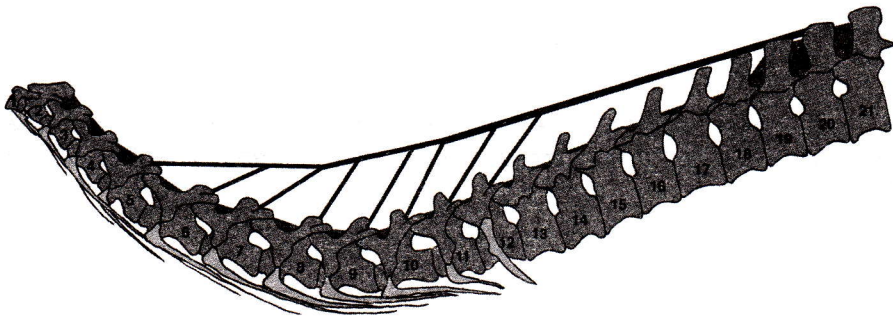


Figura 4. Reconstrucción hipotética del sistema de ligamentos en el cuello del saurópodo *Camarasaurus grandis* utilizando la analogía con el ñandú (*Rhea americana*). La línea superior y con bifurcaciones representa el ligamento elástico interespinal y los tramos sombreados por debajo, más cerca de las vértebras, representan el ligamento elástico interlaminar/interespinal. Tomado de [13].

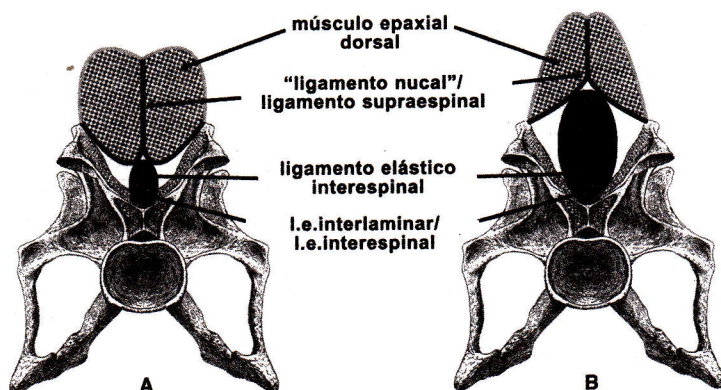


Figura 5. Dos posibles reconstrucciones de los tejidos blandos en vértebras cervicales de Apatosaurus basados en los diferentes volúmenes que ocuparían los ligamentos y el músculo epaxial. Modificado de [13].

¿Era el «ligamento nucal» suficientemente resistente como para contrarrestar el torque del peso y mantener el cuello en posiciones relativamente bajas? Para simplificar los cálculos se considerará la situación en que las fuerzas y los radios de rotación son perpendiculares o sea cuando el cuello se acerca a la posición horizontal. El torque producido por el peso es:

$$\tau_p = r_p \cdot P \quad (5)$$

es decir:

$$\tau_p = 2,2 \times 1340 \times 9,8 = 2,9 \times 10^4 \text{ Nm} \quad (6)$$

como el cuello está en equilibrio de rotación el torque neto debe ser nulo, es decir el torque del peso debe ser igual al torque de la tensión del ligamento ($\tau_p = \tau_T$), entonces la tensión sobre el ligamento nucal es:

$$T = \frac{\tau_T}{r_T} \quad (7)$$

por lo que:

$$T = \frac{2,9 \times 10^4}{0,42} = 6,9 \times 10^4 \text{ N} \quad (8)$$

Se estimó que el ligamento habría tenido unos $4,0 \times 10^4 \text{ mm}^2$ de área de sección transversal [2] entonces el esfuerzo de tensión sobre el mismo sería:

$$\sigma = \frac{6,9 \times 10^4}{4,0 \times 10^{-2}} = 1,7 \text{ MPa} \quad (9)$$

El esfuerzo de fractura de la elastina, que es la proteína que compone los ligamentos, es $\sigma_{\text{máx}} = 0,002 \text{ GPa}$ en bovinos [6] o sea $2,0 \text{ MPa}$. Suponiendo que la estructura es similar para los dinosaurios puede verse que el esfuerzo al que está sometido el ligamento, actuando solo, cuando el cuello está en posición horizontal es muy cercano al esfuerzo máximo que es capaz de soportar, al menos en *Diplodocus*. En general, en la naturaleza se da que las estructuras de soporte están construidas con cierto factor de seguri-

dad que les permite resistir bastante más que los esfuerzos que comúnmente deben afrontar y no trabajan tan cerca de su límite de resistencia. Pero esto no significa necesariamente que los dinosaurios saurópodos no hayan podido mantener sus cuellos en posiciones bajas, debe recordarse que el ligamento no era la única estructura de sostén sino que también estaba toda la musculatura correspondiente (Figura 6) y eso reduce el esfuerzo sobre la elastina. Además las vértebras cervicales de los saurópodos poseían muchos espacios huecos presumiblemente llenos de aire (característica llamada pneumatización y que también la tienen las aves modernas) que hacían más liviana esa región del cuerpo, por lo que el torque sobre el cuello pudo ser menor al estimado anteriormente. Entonces parece posible que músculos y ligamentos actuando en conjunto hubieran permitido posiciones del cuello relativamente cercanas a la horizontal.

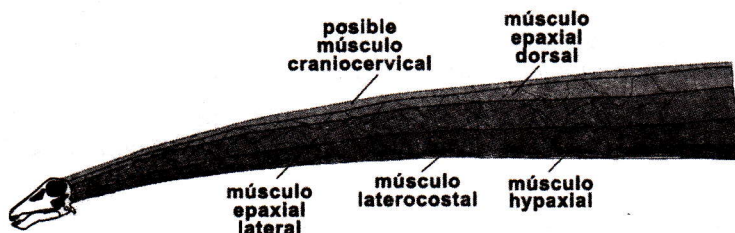


Figura 6. Reconstrucción de la musculatura cervical en *Diplodocus carnegii*. Modificado de [9].

E. Conclusiones

Las elevadas presiones que se generarían en el sistema circulatorio sumado a una postura neutra del cuello con tendencia a acercarse a la dirección horizontal y la existencia de estructuras de soporte aparentemente capaces de mantener esa postura, aportan evidencia de que este tipo de dinosaurios posiblemente no caminaban con sus cuellos tan en alto como se los ha representado tradicionalmente. Tal vez la imagen que se tiene de los saurópodos a modo de «jirafas prehistóricas» deba abandonarse.

F. Agradecimientos

A Martín Ubilla y Pablo Toriño por sus importantes sugerencias sobre los contenidos paleobiológicos. Andrea Cabot y José Machado realizaron la revisión de los principios físicos implicados y aportaron valiosos comentarios. Carlos Zamalvide indicó acertadas correcciones y sugerencias.

Referencias

- [1] Alexander, R. McN. 1985. Mechanics of posture and gait of some large dinosaurs. *Zoological Journal of the Linnean Society* **83**, 1-25.
- [2] Alexander, R. McN. 1989. *Dynamics of Dinosaurs and Other Extinct Giants*. Columbia University Press. New York.
- [3] Alexander, R. McN. 2006. Dinosaur biomechanics. *Proc. R. Soc. B* **273**, 1849 -1855.
- [4] Benton, M. 1993. *Tras las huellas de los dinosaurios*. Acanto. Barcelona.
- [5] Choy, D. S. & Altman, P. 1992. The cardiovascular system of *Barosaurus*: an educated guess. *Lancet* **340**, 534-536.

- [6] Gosline, J., Lillie, M., Carrington, E., Guerette, P., Ortlepp, C., & Savage, K. 2002. Elastic proteins: biological roles and mechanical properties. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B* **357**, 121-132.
- [7] Gunga, H., Kirsh, K., Rittweger, J., Röcker, L., Clarke, A., Albertz, J., Wiedemann, A., Mokry, S., Suthau, T., Wehr, A., Heinrich, W. & Schultze, H. 1999. Body Size and Body Volume Distribution in Two Sauropods from the Upper Jurassic of Tendaguru (Tanzania). *Mitteilungen des Museums für Naturkunde Berlin, Geowissenschaftliche Reihe* **2**, 91-102.
- [8] Qiong Gus Zhang. 2006. Hypertension and Counter-Hypertension Mechanisms in Giraffes. *Cardiovascular & Haematological Disorders-Drug Targets* **6**, 63- 67.
- [9] Schwarz, D., Frey, E., & Meyer, C.A. 2007. Pneumaticity and soft»tissue reconstructions in the neck of diplodocid and dicraeosaurid sauropods. *Acta Palaeontologica Polonica* **52**, 1, 167-188.
- [10] Seymour, R. & Lillywhite, H. 2000. Hearts, neck posture and metabolic intensity of sauropod dinosaurs. *Proc. R. Soc. Lond. B* **267**, 1883 - 1887.
- [11] Stevens, K.A. & Parrish, J.M. 1999. Neck posture and feeding habits of two Jurassic sauropod dinosaurs. *Science* **284**, 798-800.
- [12] Taylor, M.P., Wedel, M.J. & Naish, D. 2009. Head and neck posture in sauropod dinosaurs inferred from extant animals. *Acta Palaeontologica Polonica* **54**, 2, 213 - 220.
- [13] Tsuihiji, T. 2004. The ligament system in the neck of *Rhea americana* and its implication for the bifurcated neural spines of sauropod dinosaurs. *Journal of Vertebrate Paleontology* **24**, 1, 165 - 172.
- [14] Wedel, M.J., Cifelli, R.L., & Sanders, R.K. 2000a. *Sauroposeidon proteles*, a new sauropod from the Early Cretaceous of Oklahoma. *Journal of Vertebrate Paleontology* **20**, 107-114.
- [15] Wedel, M.J., Cifelli, R.L., & Sanders, R.K. 2000b. Osteology, paleobiology, and relationships of the sauropod dinosaur *Sauroposeidon*. *Acta Palaeontologica Polonica* **45**, 4, 343 - 388.

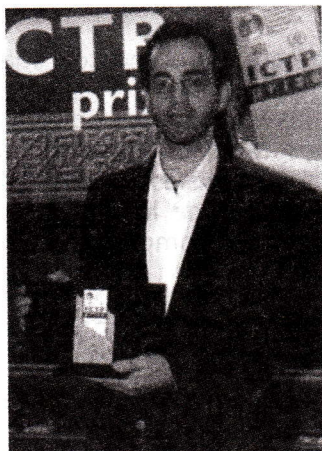
...

ENTREVISTA

al Dr. Marcelo Barreiro

Prof. Marta Marroig

Entrevista realizada el 10 de diciembre de 2010 por la Prof. Marta Marroig



El doctor Marcelo Barreiro obtuvo en 1994 la Licenciatura en Física, Facultad de Ciencias del Uruguay. Título de su tesis: *«Influencia del parámetro de ensanchamiento de línea dinámica de un laser de semiconductor con retroalimentación óptica externa»*. En 1998 obtuvo la Maestría en Física, Facultad de Ciencias del Uruguay. Título de su tesis: *«Dinámica de los fenómenos de baja frecuencia en la atmósfera del hemisferio sur»*. En 2003 obtuvo el Doctorado PhD, Oceanografía. Texas A&M University, EE.UU. Título de su tesis: *«Understanding seasonal climate predictability in the Atlantic sector»*. En 2004-2006 realiza un postdoctorado en la Universidad de Princeton, EE. UU. Profesor Agregado, Grado 4, de la Unidad de Ciencias de la Atmósfera, Instituto de

Física, Facultad de Ciencias. Coordinador del Área Geociencias del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas. En agosto de 2009 el Centro Internacional de Física Teórica (I.C.T.P.) le otorga el premio *Edward Lorenz* por sus investigaciones en el campo de la variabilidad climática tropical y en el del paleoclima. El 27 de noviembre de 2010 La Fundación *Lolita Rubial* distinguió al Dr. Marcelo Barreiro con el premio *Morosoli* de Plata en la categoría «Investigación Aplicada».

¿Qué es el estudio del clima?

Cuando se habla de clima la gente tiende a pensar que es el estudio de las condiciones medias de la atmósfera, por ejemplo: llueve tantos milímetros por año, la temperatura máxima media es tal en determinado lugar. Eso sería históricamente el área de la climatología; hoy día el estudio del clima es mucho más amplio que esto: es el estudio del sistema climático, que involucra la atmósfera, el océano, la biósfera y la Tierra sólida. Son los cuatro grandes componentes del sistema climático, por lo que el clima, desde este punto de vista, se puede definir como las condiciones medias de todos esos sistemas y las relaciones que se dan entre ellos.

¿Por qué el estudio del océano y la atmósfera? ¿Cómo están relacionados con la predictibilidad climática?

En escalas de tiempo relativamente cortas, con «cortas» me refiero a escalas climáticas que pueden ser interanuales, o sea año a año, o decadales, década a década, los componentes del Sistema Climático más importantes a considerar son el océano, la atmósfera y su interacción. Esta es una línea de mi investigación.

A mí lo que me interesa del clima en particular es el estudio de la predictibilidad. La atmósfera es un fluido turbulento que no tiene más predictibilidad que unos siete días; de acá a siete días eventualmente se puede decir cómo va a ser el tiempo, por ejemplo si va a llover, pero si uno quiere extenderlo más, no puede, por eso los pronósticos son de acá a siete días. Cuando hablamos de predictibilidad climática, no se quiere predecir si va a llover mañana o pasado, o la temperatura de un día; lo que quiere predecirse es la estadística, por ejemplo si en el verano va a llover por encima o por debajo de lo normal, si será más cálido o más frío de lo normal, o si se van a dar las condiciones usuales.

El océano permite decir (probabilísticamente) cómo será el verano con una antelación de tres a seis meses, porque mientras que la atmósfera «pierde la memoria» a los siete días, la evolución mucho más lenta de los océanos provee de memoria al sistema climático. Hay dos factores clave en la predictibilidad del clima de acá a los próximos tres o seis meses. El primero es que es posible predecir, hasta cierto punto, la evolución de los océanos, y el segundo es que los océanos son capaces de alterar el comportamiento atmosférico.

¿Qué tiene de particular la región sudeste de América del Sur, en la cual se encuentra Uruguay, para el estudio del clima?

El sudeste de Sudamérica, que comprende Paraguay, Uruguay, el sur de Brasil y el este de Argentina, es un área muy particular, porque si se la mira desde el punto de vista climatológico, por ejemplo las condiciones de lluvia, es la única región de toda América del Sur, al sur del Ecuador, en la que llueve todo el año (exceptuando el sur de Chile). En la mayor parte de Brasil tiende a llover en la época del verano, mientras que en invierno no llueve. En nuestra región los tipos de lluvia son diferentes, pero llueve más o menos uniformemente a lo largo de todo el año. Nuestra región también está influenciada por el fenómeno de El Niño, y estas dos características hacen que sea muy interesante su estudio, además de la aplicación concreta de la predictibilidad climática en nuestro país.

¿Cuál es la incidencia del fenómeno del El Niño en nuestra región?

El fenómeno de El Niño (calentamiento anómalo de las aguas ecuatoriales del Pacífico) es predecible; también lo es, y con cierto grado de certeza, la evolución de El Niño, una vez que ocurre. Cuando se calientan las aguas tropicales del Pacífico ecuatorial, generan ondas en la atmósfera que propagan la información de que el Pacífico está caliente, modificando la circulación atmosférica en nuestra región.

A veces se dice que es malo que se altere la circulación atmosférica porque de alguna forma se está alterando algo, es decir, se está saliendo de lo usual. Sin embargo, esto nos da la posibilidad de predecir, porque si sabemos que va a ocurrir un Niño y qué tipo de anomalía producirá en la atmósfera, entonces podemos realizar predicciones probabilísticas, si lloverá por encima o por debajo de lo normal, o si será más cálido o más frío de lo normal. Ese tipo de fenómeno es el que me interesa estudiar, llegar a predecir cómo va a ser el clima de acá a tres, seis meses.

Los océanos que influyen más en nuestra región son los tropicales, el Pacífico, fundamentalmente, y el Atlántico. En cuanto al Índico, hoy en día algunos estudios dicen que, aparentemente, también influye.

Cuando el océano se calienta más de lo normal, cambian los lugares de lluvia en los trópicos, pues la temperatura en la superficie del mar determina dónde se forman las nubes y, en consecuencia, dónde llueve. Al formarse la nube se libera calor latente a la atmósfera, que genera ondas, las que se propagan hacia el norte e influyen en el clima de los EE.UU. y de Canadá; también se propagan al sur, siendo la nuestra una de las regiones más afectadas. Es sólo un fenómeno de propagación de ondas, ondas especiales que dependen de que la Tierra rote y sea esférica; pero en definitiva son ondas, no hay nada extraño.

¿De qué forma se estudia la predictibilidad climática?

La propagación de ondas en la atmósfera se estudia a través de modelos de circulación general de la atmósfera; son modelos numéricos que resuelven las ecuaciones de conservación de masa (masa de fluido de la atmósfera, masa de agua), de conservación de la energía, de conservación de momento, más un esquema de radiación y de algún tipo de parametrización. La nube es un fenómeno emergente, una transición de fase, y es creada cuando el vapor de agua se condensa. Como las escalas espaciales de las nubes son muy pequeñas en comparación con la resolución de los modelos, es necesario parametrizarlas. De esta forma tenemos cómo la nube va a influir en definitiva sobre las escalas grandes, o sea lo que se puede resolver con la grilla del modelo.

¿Se hacen predicciones climáticas en Uruguay?

En estos momentos se está desarrollando el fenómeno de La Niña, que consiste en un enfriamiento de las aguas ecuatoriales del Pacífico. Comenzó aproximadamente en junio, y tiene el máximo enfriamiento de las aguas entre diciembre y enero, lo que genera una tendencia a que llueva por debajo de lo normal en primavera y en verano en nuestra región. Como hemos podido observar, hace tiempo que no llueve -dos o tres meses-, eso era esperable; nosotros hicimos esa predicción, y claramente se está verificando el efecto de La Niña.

Es un problema típicamente físico. Siempre me gustó este tema porque combina, por un lado, las leyes físicas, las leyes de Newton aplicadas a un fluido, con una aplicación muy clara en el clima, lo cual permite ver cómo las condiciones oceánicas pueden alterar los fenómenos atmosféricos como las precipitaciones, y, por otro lado, el impacto económico y social que tiene en la región. Cuando la seca empieza, los campos comienzan a sufrir; por suerte antes de la primavera había llovido mucho y por eso los suelos tenían suficiente agua. Por lo tanto, no hemos visto en estos tres meses consecuencias graves, pero donde siga sin llover se complicará la situación.

Nuestra última predicción es que en febrero seguirá lloviendo por debajo de lo normal. El verano ya es una estación de déficit hídrico, evapora más de lo que llueve, y, si todavía llueve menos de lo normal, digamos que las condiciones empeorarán.

¿Desde cuándo se hacen predicciones climáticas en Uruguay?

En forma continuada desde hace más o menos cuatro años. Existe un convenio entre la Dirección Nacional de Meteorología y la Universidad de la República. Las predicciones se emiten oficialmente y luego se publican, por

ejemplo, en la página web del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, que las toma como referencia, igual que otras que se hacen a nivel mundial.

Creo que esas predicciones las tiene que hacer alguien a nivel local. No podemos tomar siempre cosas de afuera; debe haber capacidad local para hacer las predicciones climáticas, tan importantes para nuestra economía. Porque si hay seca todos sufrimos; si uno va a la feria las frutas son –dijera mi suegra– cada vez más chiquitas, y tal vez las uvas vienen más dulces porque tienen menos agua.

Las predicciones estacionales climáticas tienen un valor estratégico muy grande; incluso en el caso de generación de energía hidroeléctrica, hay que saber qué cantidad de agua va a quedar en los embalses, pues esa energía es fundamental para el país. No podemos depender de gente de afuera que realice las predicciones que nosotros necesitamos.

Y estas predicciones, ¿las realizan universitarios en meteorología?

Las predicciones las realizamos investigadores de las Facultades de Ciencias e Ingeniería en colaboración con la Dirección Nacional de Meteorología.

Hoy en día, lamentablemente, en ninguna institución del estado existe un universitario en meteorología. En la Dirección Nacional de Meteorología trabajan técnicos –que no son universitarios– formados en la Escuela Nacional de Meteorología. Actualmente, a nivel internacional, los técnicos casi no existen, solo existen en los países subdesarrollados, como Uruguay. Con la creación de la Licenciatura en Ciencias de la Atmósfera en el año 2007, la idea es, justamente, comenzar a generar egresados para que empiecen a ocupar los puestos clave, donde la información meteorológica es importante.

Este es un tema que me preocupa. El país tiene gran necesidad de esta gente especializada; la necesidad ya está creada, porque en cualquier organismo del estado, por ejemplo en el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, en el Ministerio de Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, en el Ministerio de Industria, Energía y Minería, es decir, en cualquier lugar donde se necesite información meteorológica, alguien tiene que evaluarla, y hoy en día no se encuentran los idóneos; hay otras personas, que serán las más cercanas, pero no las idóneas. Se trata de una realidad que tenemos que cambiar con esta licenciatura. De a poco, espero que los egresados universitarios vayan ocupando esos puestos de trabajo. También esta licenciatura tiene una gran salida laboral porque la necesidad está ahí. El cambio climático ha convertido este tema en un *boom*: todo el mundo quiere saber, quiere tener algo que ver con el cambio climático, sobre todo en el área del financiamiento. Pero para hablar de cambio climático alguien tiene que saber de cambio climático y, lamentablemente, como siempre, «en el país de los ciegos el tuerto es rey». Es una realidad que me interesa cambiar.

Yendo a la otra línea de tu investigación: ¿qué es el paleoclima?

Esta línea está más relacionada con lo que es el cambio climático directamente, en el siguiente sentido: ¿cuáles son las pruebas para decir si está ocurriendo un cambio en el clima? Para hablar de clima, tenemos que pensar en un período de treinta a cuarenta años, y siendo un poco más estricto-

tos, en cien años por lo menos. Cuando miramos el registro meteorológico, encontramos desde 1900 mediciones instrumentales a nivel mundial. En Uruguay, desde 1950 en adelante contamos con registros más o menos continuos; en períodos anteriores, como por ejemplo se hizo en la Estación Pando, hubo registros, pero son discontinuos.

Cuando se habla de cambio climático hay que tener mucho cuidado con las escalas de tiempo a que nos estamos refiriendo. Los datos instrumentales del siglo XX sólo permiten estudiar dos períodos de cincuenta años, que es lo mínimo indispensable, pero no es suficiente.

¿Cuál es la forma de ver si realmente hay cambio climático? Ir y estudiar los climas pasados: ver qué tan diferente es el clima de hoy con respecto a los climas pasados, para de alguna manera intentar conocer todos los posibles climas que puede albergar la Tierra y sus causas. Tal es el propósito del estudio del paleoclima, o sea extender el registro histórico de climas hacia el pasado.

¿Cómo se puede conocer la temperatura que hubo en la Tierra en los últimos 800.000 años?

Una de las formas más usuales es perforar el hielo de los casquetes polares, por ejemplo la Antártida, que tiene tres kilómetros de hielo en su superficie. Con un tubo se hace un agujero, se saca un *testigo* y en él tenemos la historia del clima de la Antártida de los últimos 800.000 años. Las burbujas de aire atrapadas en el hielo contienen la información sobre el oxígeno, la partición del oxígeno 18 versus el oxígeno 16, la cantidad de polvo, la concentración de gas metano y la concentración de dióxido de carbono. Con esta información se puede reconstruir la evolución del clima de la Antártida, desde hoy hasta 800.000 años atrás.

¿Solamente se estudia el hielo de la Antártida?

En Groenlandia también. Se necesita un buen espesor de hielo. El que está cerca de la superficie es del día de hoy; cuanto más profundo, más viejo es el hielo, entonces podremos obtener datos de la temperatura más antigua, por ejemplo la de hace cientos de miles de años. De esta manera uno tiene la historia del clima.

¿Esta técnica se practica también en los océanos?

En el hielo se realiza cuando uno quiere llegar hasta 800.000 años, porque no hay más hielo. Pero cuando se quiere extender la información climática a escalas más largas, llegar por ejemplo hasta 60.000.000 de años, se tiene que ir a los sedimentos oceánicos. Allí es diferente: no se observan las burbujas de aire como se hace en el hielo, sino que se mira la actividad biológica ocurrida en diferentes períodos.

Los océanos están poblados de microorganismos llamados plancton. Cuando un organismo muere va a parar al fondo del océano, y su esqueleto pasa a formar parte de los sedimentos. El fondo de los océanos está así formado por capas y capas de remanentes de plancton que vivieron hace millones de años. Usando fórmulas empíricas que relacionan la abundancia de tal especie en los sedimentos con la temperatura, los paleoclimatólogos pueden determinar las condiciones de temperatura de hace millones de años.

La ciencia de la paleoceanografía desarrolla técnicas cada vez más sofisticadas para obtener mayor información sobre los sedimentos.

¿Y en Uruguay se buscan testigos?

En Uruguay hasta hace muy poco nadie iba a buscar *testigos*, porque se necesita de un barco. Aquí no tenemos un barco con cometido científico oceanográfico. Ese barco debe contar con la tecnología necesaria para realizar perforaciones. Recordemos que el océano tiene una profundidad de cuatro kilómetros, lo que implica efectuar una gran maniobra ingenieril: hay que sumergir un tubo cuatro kilómetros en la profundidad del océano y después introducirlo en los sedimentos.

En Facultad de Ciencias existe un grupo que recién empezó a trabajar en paleoceanografía, que se encarga de recoger *testigos* en el Río de la Plata y cuenta con la colaboración de un barco perteneciente a una agencia alemana. Este año extrajo *testigos* del fondo del Río de la Plata para estudiar las condiciones ambientales en los últimos miles de años.

Teniendo el registro de la temperatura de la Tierra en los distintos períodos de su evolución, ¿cuál es la causa de los diferentes climas que se observan?

En la actualidad hay en el mundo un empuje muy grande de hacer los máximos esfuerzos para entender cómo ha sido la evolución del clima en los últimos 3.000.000 de años, y cuáles fueron las razones por las que el clima ha cambiado.

El clima cambió muchísimo en los últimos 3.000.000 de años. En el último millón hubo ocho edades de hielo, que duraron cada una unos 100.000 años, habiendo sido interrumpidas por períodos de clima cálido o interglaciares. La última edad de hielo fue hace 20.000 años, y en ella las temperaturas eran bastante inferiores a las de hoy: teníamos casquetes glaciares que cubrían todo Canadá, todo Escandinavia y una parte de Europa. En América del Sur no ha habido mucho cambio porque hay poca tierra. Las eras de hielo son realmente un fenómeno del hemisferio norte, los hielos pueden crecer más fácilmente sobre los continentes.

Ahora estamos en el Holoceno, el último interglaciar, que abarca los últimos 10.000 años, el período cálido más prolongado que ha existido en el último millón de años.

La teoría científica más sólida para explicar los cambios climáticos es la de Milankovitch, quien relacionó los cambios de la órbita de la Tierra alrededor del Sol con los ciclos regulares de las glaciaciones. Los cambios en los parámetros orbitales terrestres, es decir, la oblicuidad, la precesión y la excentricidad, son, según Milankovitch, los causantes de los ciclos climáticos. La oblicuidad de la Tierra (inclinación del eje de la Tierra con respecto al plano de la órbita Tierra-Sol), ha cambiado en el último millón de años entre 22° y 24,5°; hoy en día es 23,5°. El grado de inclinación genera una serie de respuestas en el clima; por ejemplo, al estar más inclinado, los polos reciben más radiación del Sol, por lo tanto se espera que haya menos hielo. Estos cambios en la órbita terrestre le dan mayor radiación a las latitudes altas, y menor a las bajas, cerca de los trópicos. La respuesta al cambio en la insolación está dada por una serie de retroalimentaciones climáticas. Por

ejemplo: la retroalimentación hielo-albedo (parte de la radiación solar que es reflejada por el sistema climático) es la más importante para explicar las edades de hielo; si hay más radiación en verano, los casquetes glaciares entonces en esta estación van a tender a fundirse, a descongelarse, a desaparecer, por ende en el próximo invierno habrá menos hielo. Se parte así de una base menor para que crezca el hielo, y si hay menos hielo se tiene menos albedo, por tanto va a entrar más radiación, la Tierra va a absorber más energía del sol, se calentará más el clima, se tendrá menos hielo, y si se tiene menos hielo habrá menos albedo. Se trata de una retroalimentación positiva, y esa es una de las hipótesis más aceptada de por qué los casquetes glaciares han ido creciendo y desapareciendo: en la teoría de Milankovich la retroalimentación hielo-albedo es positiva, hace crecer y disminuir los hielos de acuerdo con la inclinación de la Tierra. Otra retroalimentación que juega un rol importante en las glaciaciones es la del dióxido de carbono.

Lo que a mí me interesa es la modelación: cómo interpretar los datos, cuáles son los mecanismos físicos que ocurrieron para que el clima de hace 3.000.000 de años haya sido de esa forma y no de otra. ¿Realmente había más carbono en la atmósfera? Porque de alguna forma la circulación oceánica era diferente a la de hoy; no olvidemos que la circulación oceánica no ha sido siempre igual: en escalas de millones de años los continentes se mueven, la circulación oceánica se reajusta, la circulación atmosférica también, porque ésta depende de la distribución de los continentes, todo está acoplado. Cuando uno observa escalas geológicas más largas, no sólo hay que considerar la atmósfera, el océano, sino también que la Tierra sólida empieza a moverse; asimismo, hay que tener en cuenta la biósfera, que en realidad funciona en todas las escalas de tiempo, aunque en general se deja un poco de lado, pues es una de las cosas que conocemos menos. Si consideramos escalas de tiempo largas y cuál es la concentración de carbono en la atmósfera, claramente tenemos que pensar en cómo actuaba la biósfera para captar el carbón. La biósfera es uno de los grandes sumideros de carbón de la atmósfera; por ejemplo, al crecer los árboles fijan carbón a través de la fotosíntesis. Existe una relación continua entre el flujo de carbono de la atmósfera, el océano y la biósfera. A escalas mucho más largas, hay que tener presente el carbón que es atrapado en el interior de la Tierra a través de la subducción de placas. Cuando se habla de ciclo de carbón hay que especificar qué escala de tiempo se está considerando. En escalas de millones de años, todo debe ser tenido en cuenta; en escalas de cientos de años, la atmósfera, el océano y la biósfera juegan un papel fundamental.

El 50% del carbón que hemos emitido con las actividades antropogénicas está en la atmósfera, mientras que el otro 50% fue absorbido por la biósfera y por los océanos. Allí está entonces una de las grandes preguntas: ¿eso se va a saturar? Hasta ahora el océano y la biósfera nos han ayudado, porque han absorbido gran parte del dióxido de carbono que nosotros hemos emitido. Pero si continuamos, el océano no puede captar indefinidamente el carbón; de hecho, el reservorio mayor de carbono está en el fondo oceánico. Si por alguna causa la circulación oceánica fuera a cambiar, cabe la posibilidad de que parte del carbón que está en el fondo oceánico emerja, lo que para nosotros significaría un gran perjuicio.

Desde el punto de vista climático, uno de los grandes problemas que tenemos hoy en día en nuestros modelos –empleados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (Premio Nobel de la Paz en 2007)–, es que el ciclo de carbono que utilizamos en ellos es muy rudimentario, falta mucho por entender sobre dicho ciclo, por modelar. Si la temperatura del clima aumenta, por ejemplo, en dos grados, la vegetación, las plantas, van a cambiar, y esto no ha sido tomado en cuenta en los modelos porque no hay un ciclo de carbón muy avanzado en ellos, como tampoco se ha considerado la interacción del carbón que está guardado en el océano, y la atmósfera. Todo esto no se encuentra en los modelos que tenemos, lo que da una incertidumbre muy grande en las proyecciones del cambio climático que se hacen. Las barras de error son tan grandes porque hay una infinidad de procesos que todavía no se ha representado; si bien sabemos que existen, no sabemos cómo modelarlos, cómo introducirlos.

Volviendo al paleoclima: lo que me interesa es intentar ver cómo, al estudiar los climas pasados, se puede entender mejor el clima presente y cuáles son los mecanismos por los que éste va a responder y cambiar. Porque no se trata sólo del dióxido de carbono; el clima del siglo XX es solamente una realización de clima, y para conocer el clima del futuro tengo que estudiar otras realizaciones de clima. La única forma es ir al registro histórico y estudiar cómo era el clima en las eras de hielo, en los interglaciares, en el Plioceno, período en el que yo he trabajado más, de manera de lograr entender hacia dónde vamos y cuáles son los mecanismos que gobiernan realmente al clima en general. Es mucho más que dióxido de carbono, que es lo que la gente tiende a pensar; sin duda que es importante, pero lo que estamos haciendo nosotros al emitir dióxido de carbono a la atmósfera, es provocar una alteración, y hay que ver cómo responde el sistema climático. Parte de este dióxido de carbono podrá ser absorbido, pero a medida que se vaya calentando la atmósfera por el efecto invernadero, van a cambiar los vientos y, si estos cambian, también se modifica la circulación oceánica. No esperamos grandes cambios en el futuro cercano, todo indica que va a ser un proceso lineal, pero es bueno conocer un poco más acerca del funcionamiento del sistema climático para evitar sorpresas. Esa es la razón de por qué estudiamos los climas pasados, o sea para tratar de entender cómo funciona el sistema climático en general. Cualquier físico sabe que el estudio de un solo caso resulta insuficiente, así que tiene que contar con varias realizaciones de lo mismo porque, dado que los forzantes son varios, el sistema va a responder de diferente forma.

¿Por qué el estudio del Plioceno?

El Plioceno medio ocurrió hace 3.000.000 de años. Este fue el último momento en que la Tierra tenía una concentración de dióxido de carbono muy parecida a la que posee hoy: 400 partes por millón. Por lo tanto, se lo considera como un análogo potencial del clima futuro.

¿Cómo era el clima, la circulación oceánica, la temperatura? En el clima de ese entonces, el nivel del mar era de 20 a 25 metros más alto que el de hoy. Es bastante, las costas desaparecerían y las playas también, no habría casquetes polares en el Ártico durante todo el año, únicamente en invierno. Se observan, pues, cambios importantes.

Era un clima más cálido, dos o tres grados más que el de hoy. Son estimaciones con cierto grado de incertidumbre, realizadas por computadora, mediante las cuales podemos tener la idea del clima de hace 3.000.000 de años. Pero hay grandes incógnitas. Una hipótesis que nosotros hemos llevado adelante es que no solo el dióxido de carbono era alto, sino que hace 3.000.000 de años había lo que denominamos un fenómeno de El Niño permanente.

Actualmente, en el Pacífico ecuatorial este hay lo que se llama una *lengua fría* de temperatura, cerca de 24°C , en tanto que el Pacífico oeste se encuentra cerca de 29°C , por lo cual se designa *piscina cálida* del Pacífico. Entre ellos hay un gradiente de temperatura de 5°C . Las evidencias muestran que hace 3.000.000 de años el este del Pacífico estaba tan cálido como el oeste, no existía la lengua fría, por eso El Niño permanente. Entonces surge esta pregunta: ¿cómo influye este Niño permanente sobre el clima?

Los cálculos que hemos hecho muestran que si se impone un Niño permanente en un modelo, es decir que la temperatura del este es tan cálida como la del oeste, el clima entonces es más cálido. O sea que no se trata solamente del efecto del dióxido de carbono.

Si miramos los registros de sedimentos en la profundidad del océano correspondientes a 3.000.000 de años –para ser más precisos 2.700.000 años–, el este y el oeste del Pacífico ecuatorial estaban tan cálidos el uno como el otro. A partir de ahí empiezan a separarse las temperaturas: el oeste quedó igual (la piscina cálida del Pacífico), y el este (la lengua fría del Pacífico) empezó a enfriarse.

Si queremos intentar reproducir este estado en los modelos de circulación climáticos que existen hoy día, en los más avanzados y que se usan para realizar las proyecciones de clima a futuro, no se puede.

Por consiguiente, ¿la información que se extrae de los sedimentos es incorrecta, o los modelos están mal?

Si la interpretación de los datos que se extraen de los sedimentos del océano es incorrecta, entonces siempre hubo una lengua fría, El Niño permanente no existió; pero si es correcta, si realmente existió, entonces tendríamos que preguntarnos por qué los modelos climáticos no lo pueden reproducir.

Con respecto a los modelos, una de las cosas que uno quiere hacer es testearlos. Si queremos hacer proyecciones, tenemos que estar seguros, tener cierto grado de certeza de que puedan reproducir climas diferentes a los de hoy. Los modelos fueron hechos para el clima de hoy. Hay cientos de parámetros que deben ajustarse para resolver las ecuaciones de conservación de masa, de calor, etc. Al realizar tales ajustes podemos preguntarnos si estos modelos valen para cualquier otro clima anterior, o si los ajustes hechos valen únicamente para el clima de hoy.

Todo aquel que trabaja con modelos en cualquier área, sabe que, si bien se basan en leyes físicas, cuando se quiere representar algo del mundo real siempre hay que ajustarlos. Nuestros modelos se ajustan al clima de hoy porque contamos con una sola realización climática, el clima actual. Pensa-

mos que estos ajustes son válidos para el clima de hace 3.000.000, 100.000 ó 2.000 años, pero no estamos seguros.

El estudio del paleoclima tiene toda una compleja carga que acarrea bastante controversia a nivel científico, pero no el estudio en sí mismo, sino las interpretaciones que se hacen de los sedimentos. Podríamos decir que esto levanta olas, por ejemplo: las disputas en torno al Niño permanente, porque hay gente que entiende que la información no está bien interpretada; por el contrario, otros dicen que los datos están bien y que lo que está mal son los modelos. Aquí hay dos comunidades: la que trabaja con el océano y realiza e interpreta las mediciones y no emplea modelos, y la que sí trabaja con modelos y no realiza mediciones.

Yo trabajo con modelos, no hago mediciones. La idea que tenemos con nuestros colaboradores es tratar de unir las dos comunidades, lo que sin duda es bastante complicado, en el sentido de que probablemente ninguna de las dos sean correctas, es decir, ni los modelos ni la interpretación. Por supuesto, siempre existirán enfoques, puntos de vista distintos o encontrados. Lo importante es poder discutir, confrontar nuestras posturas, lo que académicamente tiene un gran valor. Considero que el estudio del paleoclima nos permite entender el funcionamiento del sistema climático en su conjunto y poder ver hacia dónde vamos.

¿Se puede decir que estamos ante un calentamiento global?

Cuando se habla de calentamiento global, estamos pensando en los últimos cincuenta años, pero si uno mira en la perspectiva de hace 60.000.000 de años, comprueba que ha habido un enfriamiento global, los dinosaurios se extinguieron, el clima era mucho más cálido que el actual; nadie se opone a eso, estamos todos de acuerdo. Se trata de escalas de tiempo completamente diferentes, una cosa no quita la otra. Dentro del enfriamiento global que estamos teniendo a escalas geológicas, en los últimos cincuenta años tenemos un calentamiento, y es al que se refiere la gente cuando habla de la acción antropogénica de la emisión de carbono en la atmósfera. Este calentamiento existe, no hay duda, y tiene dos facetas: una, es la detección del calentamiento, que hasta hace unos años los escépticos tendían a discutirlo, y otra –la más importante–, es su atribución, ya no solo la detección sino la atribución o el porqué de ese calentamiento. Aquí es donde aparecen los diferentes puntos de vista: el 99% de la comunidad científica está de acuerdo con que la acción humana tiene un gran porcentaje de responsabilidad en ese calentamiento; el 1% restante, y que sin embargo se hace sentir, está constituido por los que afirman que el calentamiento se debe al ciclo natural del clima.

¿El calentamiento global es homogéneo en toda la Tierra?

Cuando se emite dióxido de carbono se altera el balance *radiativo* de la atmósfera, o sea cambia el balance de la energía que entra con respecto a la que sale (ahora sale menos, por lo tanto se va a calentar). A nivel global es fácil verlo; el problema es cuando se estudia a nivel regional porque es mucho más difícil, hay otros factores que influyen. A nivel global se promedian las señales de todo el globo, entonces cuando uno promedia, en general tiene una curva mucho más suavizada y puede verse con facilidad. Cuando

se toma un punto, es *ruido*, y resulta mucho más difícil detectar el cambio climático en un lugar determinado.

¿Qué está pasando en nuestro país?

¿Cómo nos adaptamos al cambio climático?

Cuando hablo de un nivel particular, me refiero, por ejemplo, a escalas de departamentos en Uruguay. Como había dicho antes, los registros de temperaturas y precipitaciones en Uruguay existen solamente para los últimos cincuenta años. La Dirección Nacional de Meteorología tenía esos datos en papel hasta hace unos años, y no era fácil acceder a ellos, salvo en el caso de cinco estaciones del I.N.I.A., que cuentan con un muy buen registro al alcance de cualquier consulta.

Hace dos años la doctora en Ciencias de la Atmósfera, Madeleine Renom, hizo su tesis de doctorado en la que creó una base de datos diarios de la temperatura en alrededor de doce estaciones meteorológicas de Uruguay. Realizada la base de datos de temperatura, Renom está elaborando ahora una base de datos diarios de precipitaciones. En Uruguay hay más estaciones que miden precipitaciones, más pluviómetros, más información, porque todo esto tiene gran interés; por ejemplo, le interesa a U.T.E. La creación de la base de datos diarios de precipitación de Uruguay, forma parte de un proyecto en el que yo colaboro, financiado por la Unión Europea para estudiar la Cuenca del Plata, y en el cual intervienen también Brasil y Argentina. Este proyecto pretende generar una base de datos diarios de precipitación de toda la región, y en él la doctora Renom se encarga de Uruguay.

Entonces, cuando uno habla de cambio climático en Uruguay, debe tener mucho cuidado con lo que escucha, porque la base de datos para estudiar fenómenos extremos no está creada aún. Cuando los medios informativos nos dicen que los fenómenos extremos en Uruguay han aumentado o van a aumentar, no sé verdaderamente de dónde sacan esa información; si la obtienen extrapolándola de regiones cercanas, ello resulta peligroso porque, como ya dije, el sudeste de Sudamérica es una región muy particular, pues llueve todo el año, presenta particularidades que no pueden ser extrapoladas a regiones vecinas. En Argentina hacia el oeste, en Brasil hacia el norte, es otra cosa; pero en nuestra región, muy restringida, no podemos extrapolar lo que pasa afuera: acá tenemos que tener nuestra propia base de datos.

En Ciencias de la Atmósfera estamos partiendo de cosas muy básicas, como la de crear una base de datos para poder estudiar. Por tanto, cuando en este país se habla de adaptación al cambio climático, hay que pensar a qué nos tenemos que adaptar, ya que todavía no existe una base de datos histórica. Si bien hay algunos indicios, eventualmente se puede saber algo de la región, ciertos datos se pueden sacar de las pocas estaciones que el I.N.I.A. tiene disponible, pero realmente es necesaria una base de datos completa del Uruguay, y eso –como ya dije– recién ahora se está creando.

En la actualidad se dispone a nivel internacional de muchísimos fondos para adaptarse al cambio climático, y todo el mundo quiere acercarse a ellos, obviamente, con razones válidas. No obstante, nos falta lo elemental, la información; si contáramos incluso con la base de datos de los últimos cincuenta años a nivel regional, sería muy difícil determinar que va a ocurrir

un cambio climático de aquí a futuro, porque hay mucho *ruido*, está el uso de la Tierra, la polución atmosférica, la contaminación atmosférica. Todo eso influye, sin duda, pero no es cambio climático, es decir, son variables que cuando promediamos en el globo, desaparecen, si bien a nivel local influyen y juegan un papel muy importante.

Separar la señal de cambio climático a nivel regional, a nivel local, para adaptarse a algo particular, es todo un arte. Si tenemos series históricas largas, allí puede ser que salgamos a hablar, pero con cincuenta años –que es con lo que probablemente se cuente–, va a ser bastante complicado, aunque igual nos suministrará mucha información que todavía no está; bastante complicado saber cuáles son las medidas de adaptación que se tienen que tomar. Uno puede pensar globalmente: va a ocurrir esto, va a ocurrir lo otro, bueno, adaptémonos a eso; tal vez vamos por el camino equivocado, tal vez una mejor forma es la famosa diversificación, no plantar tanta soja, por ejemplo, o sea diversificar la economía.

¿Qué postura debe tomar la ciencia con respecto al cambio climático regional?

Es muy difícil decir cómo serán los cambios a nivel regional, la barra de error es enorme. En el plano político, sirve decir que va a aumentar la temperatura media global solamente a los efectos de ir a las cumbres globales y, en éstas, que tenemos que reducir la emisión de dióxido de carbono en la atmósfera. Pero cuando se va a nivel regional, se quiere saber qué sucederá en cada comunidad; ahí es cuando yo tiendo a decir que no podemos proporcionar esa información y, en caso de brindarla, tendrá una barra de error tan grande que no servirá de nada. Ese es el gran dilema que no sólo se da en Uruguay sino en todo el mundo. Como ya hemos dicho, nosotros tenemos el problema adicional de que la base de datos es inexistente; en cambio, en el mundo desarrollado del norte ya la tienen y es más larga porque han hecho mediciones durante más tiempo (cien años, en lugar de cincuenta).

Hay que poner el personal idóneo en los lugares correspondientes, en donde tiene que estar. Por lo general, la gente habla *de oído*, extrapola información de otros lugares considerando que ya está todo hecho, como si se supiera qué va a ocurrir, cuando en realidad sólo sabemos qué va a ocurrir a nivel global, pero a nivel regional no sabemos. Desde el punto de vista político importa lo regional; en cuanto a lo nacional, más allá de las relaciones internacionales, subsiste esa dicotomía. Es que si se quiere acercar la ciencia a la toma de decisiones resulta muy difícil que todos estemos de acuerdo, no se puede decir todo lo que la gente quisiera escuchar. A veces la información igual se da y ahí surgen los problemas, porque hay muchos fondos, muchos intereses de por medio en relación a este tema del cambio climático. Está bien que la ciencia aporte, pero se puede llegar hasta determinado punto; luego, las decisiones son políticas y entonces la ciencia tiene que dejar en claro que hay cosas que puede decir y otras que no. Ése es para mí el mensaje que está faltando, tanto en lo nacional como en lo internacional.

LAS OLIMPIADAS IBEROAMERICANAS DE FÍSICA: un desafío para todos

Andrea Cabot¹, Arturo C. Martí², Raquel Pesce³

¹CETP-ANEP; ²Facultad de Ciencias Udelar; ³CETP-ANEP

Resumen:

A fines de setiembre de 2010 se celebraron en Panamá las XV Olimpiadas Iberoamericanas de Física con la participación de 71 estudiantes de 19 países de Latinoamérica y la península Ibérica. Como es habitual este evento es el mojón final de un largo proceso que incluye un riguroso proceso de selección, una exhaustiva preparación de los estudiantes seleccionados y un arduo proceso de organización en todas las fases locales y muy especialmente para el país anfitrión. En este artículo se repasan todos estos aspectos y se valora las Olimpiadas de Física como instrumento al servicio de la promoción de la Ciencia.

Palabras clave:

Olimpiadas, problemas.

A. La previa

La primera fase de las Olimpiadas tiene lugar al interior de cada uno de los países participantes, durante la misma se seleccionan y se preparan los estudiantes que participarán de las pruebas. Este proceso de selección está a cargo de diferentes instituciones públicas y privadas. En algunos países como Brasil, México o España está a cargo de las sociedades de Física, en otros forma parte de las actividades habituales de los organismos gubernamentales a cargo de la educación. El ejemplo más claro de esta última forma de organización se da en Cuba donde se realizan diferentes competiciones a lo largo y ancho de todo el sistema educativo.

En nuestro país, funciona ininterrumpidamente desde el año 2000 un comité organizador integrado por representantes de la Sociedad Uruguaya de Física (SUF), la Asociación de Profesores de Física del Uruguay (APFU) y delegados de los consejos de Educación Media. En las primeras ediciones se contó con el apoyo de la asociación de colegios privados pero, desafortunadamente, este apoyo no perduró en el tiempo. Diversas instituciones brindan apoyo material y humano; además de las antes citadas, debemos destacar la activa participación del Laboratorio de Física del IPA, que además de facilitar las instalaciones, varios de sus docentes colaboran en la preparación de los estudiantes seleccionados. Finalmente, debemos destacar que todos los docentes que participan lo hacen en forma honoraria y voluntaria.

Siguiendo la metodología adoptada hace algunos años en las Olimpiadas nacionales se distinguen dos categorías, la **clasificatoria** orientada a estudiantes de 6to. año de bachillerato de donde se seleccionan los representantes de nuestro país en las Iberoamericanas y la **preparatoria** que, como su nombre lo indica, es una experiencia previa pensando en posteriores actuaciones y está enfocada a estudiantes de 4to y 5to. año.

El año 2010 marcó un punto de inflexión en la metodología de trabajo de la fase local. En efecto, en esta oportunidad se usó intensivamente el campus virtual de la ANEP que, con el conocido sistema *moodle*, brinda numerosas posibilidades para realizar proyectos a distancia. En el marco de las Olimpiadas de Física, usamos principalmente dos aspectos de este sistema. Durante las etapas más tempranas se utilizó el sistema de foros y listas de correo para que los organizadores planteásemos problemas y los estudiantes expusieran dudas y preguntas. La segunda herramienta utilizada fue la realización de pruebas virtuales. La primera prueba de las Olimpiadas se realizó en forma paralela en una docena de institutos en todo el país brindando así la posibilidad de participar a un centenar de estudiantes que, de otra forma, hubiera sido muy difícil acercar.

B. La definición

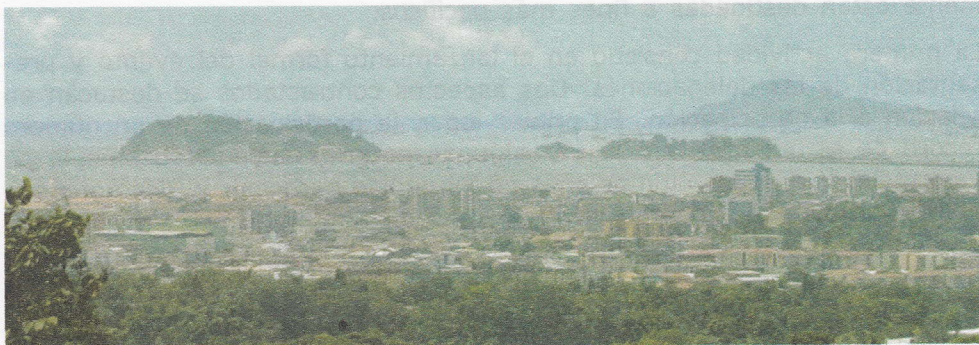
Como resultado de la primera prueba se seleccionaron 12 estudiantes de cada categoría. Estos estudiantes continuaron el proceso de preparación en sus Institutos, en el campus virtual y en una jornada que se realizó en el Laboratorio de Física del IPA. Finalmente, luego de las vacaciones de julio, tuvo lugar en la Facultad de Ciencias la prueba final de carácter presencial. En ambas categorías la prueba consistió de dos sesiones, una prueba de problemas teóricos y un problema experimental. En los cuadros 1 y 2 reproducimos un problema de cada categoría. Observamos, que el problema de la prueba preparatoria tiene un carácter más informal mientras que en la prueba clasificatoria se propusieron problemas más tradicionales.

Una vez finalizadas las pruebas, luego de un breve espacio de recreación, se dieron a conocer los resultados. Cuatro estudiantes de la categoría clasificatoria recibieron como premio la designación para representar a nuestro país en Panamá. Asimismo, tres estudiantes de la preparatoria recibieron premios a la mejor prueba, mejor prueba experimental y mejor prueba teórica. Todos los premios otorgados se enumeran en el cuadro 3.

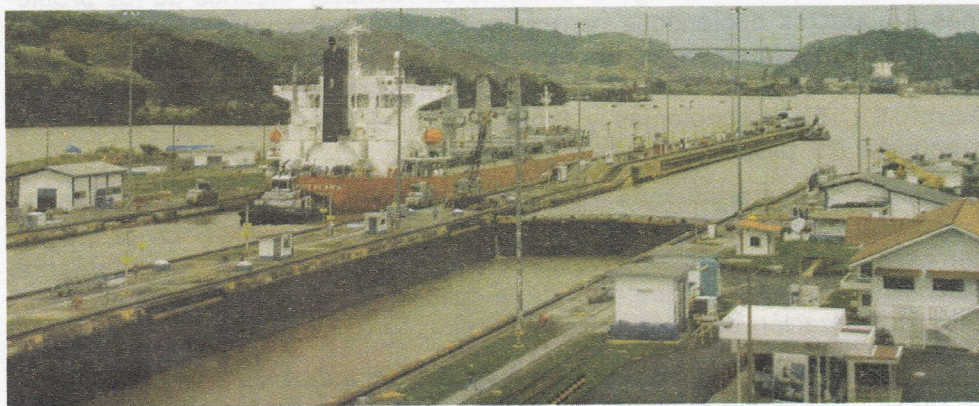
Una vez seleccionados los participantes comienzan dos carreras de obstáculos. La primera busca preparar a nuestros estudiantes en aquellos temas que usualmente reciben poco tratamiento en los cursos pero integran el programa de las Olimpiadas Iberoamericanas. La segunda carrera busca conseguir financiamiento para los participantes y delegados. El reparto de costos que posibilita la realización de las OIBF obliga a los países organizadores a hacerse cargo del alojamiento y manutención de las delegaciones mientras que cada país debe afrontar los costos de los traslados. En nuestro país el financiamiento no es automático y todos los años debemos salir a buscar los recursos. En esta oportunidad contamos con el aporte financiero del CODICEN, del área de Física del PEDECIBA y del LATU que financiaron los pasajes aéreos. También destacamos el papel jugado por la APFU

que adelantó el efectivo mientras se tramitaba el pago por parte del CODICEN, de lo contrario hubiera sido imposible contar con los pasajes en tiempo y forma.

C. ¡Por fin llegamos!



Entrada al Canal de Panamá



*Vista de las esclusas de Miraflores, entrada al Canal de Panamá
por el extremo del Océano Pacífico*



La delegación a la llegada al aeropuerto de Tocumen en la ciudad de Panamá (de izquierda a derecha): Javier Peraza, Andrea Cabot, Pablo Cerruti, Raquel Pesce, Arturo Martí, Ignacio Vilaró, Telmo Canabarro.

Una vez superadas las peripecias habituales, que no viene al caso relatar aquí pero engrosan el anecdotario Olímpico, aterrizamos en el Aeropuerto de la ciudad de Panamá. Los delegados fueron conducidos a un hotel céntrico mientras que los estudiantes se dirigieron a la *Ciudad del Saber*. Esta Ciudad forma parte de las enormes instalaciones que otrora conformaban las bases militares norteamericanas en torno al canal de Panamá y actualmente están destinadas a fines más pacíficos.

La primera actividad consistió en el lanzamiento formal del evento y presentación de las delegaciones. Dos aspectos contrastados se destacan en relación a la participación. En primer lugar, la participación de un número récord de estudiantes y a la vez algunas notorias ausencias como la de Venezuela, que en los últimos años no ha podido participar y Nicaragua con fuertes problemas económicos.

Tal como marcan los estatutos, los problemas fueron propuestos por el Comité Organizador y discutidos por el Jurado Iberoamericano formado por los delegados de todos los países participantes. Los problemas teóricos originaron, como es habitual, una ardua discusión entre los delegados. En esta ocasión incluso se llegó al extremo de rechazar algunos de los problemas propuestos debiéndose recurrir al conjunto alternativo de problemas. Finalmente, los problemas aprobados resultaron poco convencionales pero creativos y con un fuerte sesgo hacia las aplicaciones, más concretamente Astrofísica, Nanotecnologías y Biofísica. En el Cuadro 5 reproducimos la propuesta del problema de Nanotecnologías.

Por otro lado, los problemas experimentales se centraron en una ingeniosa propuesta ambientada en el tema la energía fotovoltaica. La propuesta correspondiente se puede apreciar en el cuadro 4. Desafortunadamente, muchos estudiantes se quejaron de la calidad de los materiales entregados para la realización de la prueba.

Una vez conocidos los resultados, el medallero indicó un claro predominio de Brasil que obtuvo el récord de medallas de oro, seguido por actuaciones muy destacadas de España, Portugal y México. Nuestro país obtuvo dos menciones de honor a cargo de Javier Peraza de Maldonado e Ignacio Vilaró de Montevideo.

D. Porque la Física no es todo...

Como es costumbre, las Olimpiadas fueron acompañadas de un conjunto de actividades divulgativas y culturales. Debemos destacar la conferencia del entonces presidente de FEIASOFI Dr. Gerardo Delgado-Barrio sobre la Física en Iberoamérica que despertó mucho entusiasmo e incluyó, por parte del auditorio, preguntas tales como: ¿podré conseguir trabajo si estudio Física? En los aspectos recreativos, como no podía ser de otra manera, se destaca la visita al Canal de Panamá y las fabulosas obras de ampliación, orgullo de los panameños que gracias a su posición estratégica buscan fortalecer su rol como nación eje del comercio mundial. Como ya se ha vuelto una tradición, los estudiantes destacaron el ambiente de compañerismo y sana diversión vivido a lo largo de una intensa y agotadora semana.

de la superficie libre del líquido se deja caer un cuerpo pequeño de densidad $\rho_2 = 7874 \text{ kg/m}^3$. Despreciando la viscosidad del fluido, se pide determinar la profundidad máxima que alcanzará el cuerpo en el líquido.

Cuadro 3:

Premios otorgados en las Olimpiadas de Física del Uruguay

Categoría Preparatoria:

Enzo Davyt (Ombúes de Lavalle): Mejor Prueba

Florencia Marrero (Maldonado): Mejor Prueba Teórica

Alejo García (Montevideo): Mejor Prueba Experimental

Categoría Clasificatoria:

Telmo Canabarro (Montevideo)

Pablo Cerruti (Carmelo)

Javier Peraza Martiarena (Maldonado)

Ignacio Vilaró (Montevideo)

Cuadro 4:

Primera parte del problema experimental de Panamá

Frente a los problemas de contaminación que generan los hidrocarburos fósiles en la producción de energía eléctrica, se tienen dos opciones para resolver el problema, el uso de las llamadas energías alternas (o limpias) y el de la energía nuclear. Esta última crea, en la población, temores por razones de seguridad y las llamadas alternas generan costos muy altos para hacerlas soluciones masivas. Entre las energías alternas hay una muy popular que es la obtenida a partir de la energía solar. Sin embargo, sus características y problemas no son bien conocidos. Queremos explorar algunos elementos de esta forma de energía para la producción de electricidad.

En la literatura encontramos información como la siguiente:

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz solar que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia de potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de generar una corriente a través de un circuito externo produciendo un trabajo útil. La energía que entrega un dispositivo fotovoltaico está determinada por: *el tipo y el área del material fotosensibles; la intensidad de la luz incidente; la longitud de onda de la luz incidente.*

Las celdas solares de silicio policristalino tienen una eficiencia de menos del 20% y las celdas amorfas de silicio tienen una eficiencia de cerca del 10 %, ambas debido a pérdidas internas de energía. Una característica importante de las celdas fotovoltaicas es que el voltaje de la celda no depende de su tamaño, y sigue siendo bastante constante con el cambio de la intensidad de luz. La intensidad de la corriente eléctrica en estos dispositivos, es casi directamente proporcional a la intensidad de la luz y al tamaño de la celda. Para comparar diversas celdas se les clasifica por densidad de corriente, medidas en amperios por centímetro cuadrado.

Materiales: suministramos lo siguiente –use los que crea necesarios:

1. Un bombillo (lámpara, foco) de luz blanca de 12 V, 4 W, que simula el Sol (se te da un bombillo de repuesto).
2. Un batería de 12 V y otra de 9 V.
3. Una celda solar en miniatura.
4. Dos multímetros.
5. Un potenciómetro (reóstato) de 1 kW.
6. Una placa de montaje eléctrico o protoboard.
7. Cables.
8. Una fotorresistencia.
9. Una regla.

Primera parte del problema: estudio de la celda solar.

Se estudiará la relación entre la tensión (voltaje) y la intensidad de corriente eléctrica suministrada por una celda solar. Antes de hacerlo familiarízate con el material.

1. Describe en pocas palabras el procedimiento que usarás para establecer la relación entre voltaje e intensidad de corriente eléctrica en la celda solar. (1 punto).
2. Haz un esquema del circuito (representa la celda solar como una batería). (1 punto).
3. Elabora una tabla con los valores medidos. (1 punto).
4. Construye el gráfico correspondiente. (2 puntos).
5. Compara el gráfico anterior con el que se obtendría si se sustituyese la celda por una batería de la misma tensión (voltaje) en circuito abierto. (1 punto).
6. Determina la potencia máxima suministrada por la celda solar. (2 puntos).
7. Si el aumento de la intensidad luminosa aumenta la intensidad de corriente eléctrica y no así el voltaje, ¿cómo asociarías varias celdas para obtener mayor voltaje? (2 puntos).
8. Si el aumento de intensidad de corriente eléctrica proviene del aumento de luminosidad y del tamaño de la celda solar (superficie iluminada) y no puedes aumentar la intensidad luminosa, cómo aumentarías la intensidad de corriente eléctrica del circuito, manteniendo el voltaje constante? (2 puntos).

Cuadro 5:

Problema Teórico 2: Partículas contaminantes

En las salas de manufacturación de dispositivos de micro y nanotecnologías, como procesadores y memorias RAM, es esencial la ausencia de partículas en el ambiente. Actualmente el tamaño de los transistores que se integran en estos dispositivos es del orden de 30 nm, mientras que el radio de una partícula ambiental es del orden de 1 μm . Por ello, si una de estas partículas se deposita sobre el circuito durante el proceso de fabricación puede producir su pérdida. Para minimizar estas pérdidas, la fabricación se realiza en salas llamadas «blancas» donde hay un estricto control de la densidad de partículas en el aire.

Considera una partícula esférica de radio $R=1,0 \mu\text{m}$ en una sala blanca donde no hay corrientes de aire y la temperatura es constante. El

aire puede considerarse como un fluido viscoso donde se cumple la *ley de Stokes*.

1. Indica, en un diagrama, las fuerzas que actúan sobre la partícula. Considera que el eje Z está en la dirección del campo gravitatorio. (1 punto).
2. Escribe la ecuación de movimiento de la partícula y encuentra la expresión de la velocidad límite. (Coeficiente de Stokes $6\pi\eta R$ y densidad del aire $\rho_a = 1,213 \text{ kg/m}^3$). (1,5 puntos).
3. Compara la velocidad límite en el caso de una partícula de Plomo $Pb = 11\,340 \text{ kg/m}^3$ y una partícula de Silicio ($\rho_{Si} = 2330 \text{ kg/m}^3$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ y $\mu = 1,829 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s m}$) (1 punto).
4. Representa, en forma aproximada y en un mismo gráfico, la velocidad límite en función del tamaño de la partícula en el rango desde $R_{\min} = 0$ hasta $R_{\max} = 10 \text{ }\mu\text{m}$, para el Si y para el Pb. (1,5 puntos).
5. Calcula el tiempo de caída por metro para Plomo y Silicio, una vez alcanzada la velocidad límite. (1 punto).

NOTA: De esto se deduce que, a estas escalas tan pequeñas, incluso una partícula de uno de los elementos más pesados puede sedimentarse muy lentamente. Por ello, el flujo de aire y la presencia de partículas, deben estar muy controladas, ya que pueden quedar suspendidas en el aire por un tiempo no despreciable.

6. Considera el caso en que la partícula de radio ligeramente submicrónico, $R = 0,10 \text{ }\mu\text{m}$, ha alcanzado su velocidad límite y que se encuentra a una altura $h = nR$ (n veces el radio) de una superficie metálica en la sala. Si se considera que la partícula está cargada superficialmente con una distribución de carga $\sigma = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$, indique en un diagrama las fuerzas que actúan sobre la partícula. (1 punto).

AYUDA: La interacción entre un plano conductor y una partícula cargada es equivalente a la interacción entre esta partícula y otra de carga igual y signo contrario, situada simétricamente al otro lado del plano. (Método de las imágenes).

7. Compara la fuerza electrostática en esta situación con la fuerza gravitacional en el caso de la partícula de Silicio $R = 0,10 \text{ }\mu\text{m}$, para $n = 5$, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ N.m}^2/\text{C}^2$; $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$. Suponga la partícula puntual y de carga $q = 4\pi\sigma R^2$. (2 puntos).

NOTA: De lo anterior se deduce que, en estas circunstancias, la interacción electrostática puede ser dominante. Por ello es necesario controlar la humedad ambiente y diseñar sistemas de descarga controlada de los dispositivos metálicos de la sala.

8. Representa, en forma aproximada y en un mismo gráfico, ambas fuerzas en función del tamaño de la partícula, desde $R_{\min} = 0$, hasta $R_{\max} = 50 \text{ }\mu\text{m}$, para el caso del Si. Determine el radio límite por debajo del cual la fuerza electrostática domina la fuerza gravitacional. (1 punto).

...

APLICACIÓN DEL MODELO DE LAS CARGAS MAGNÉTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA COMPONENTE HORIZONTAL DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA

Álvaro Suárez

Profesor de Física en el Liceo N°1 de La Paz y de Física Moderna del Instituto de Profesores Articas; e-mail: alsua2000@hotmail.com

Artículo

Resumen:

En este artículo se determina la componente horizontal del campo magnético de la Tierra, a partir de las medidas de la posición de equilibrio de una brújula inmersa en el campo magnético generado por un conductor recto y largo. Para ello se consideran las dimensiones de la brújula, modelando a la misma como dos cargas magnéticas.

Palabras clave:

Brújula, campo magnético de la Tierra, cargas magnéticas.

A. Introducción

Una práctica habitual de los cursos de electromagnetismo a nivel preuniversitario consiste en determinar la componente horizontal del campo magnético de la Tierra utilizando las medidas de la posición de equilibrio de una brújula colocada en las vecindades de un conductor recto y largo por el que circula corriente.

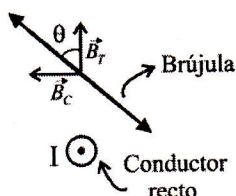


Figura 1. Si la componente horizontal del campo de la Tierra y el campo del conductor son perpendiculares entre sí en el eje de la brújula y se considera que la dirección de la brújula es igual a la del campo magnético resultante en el eje de la misma; conociendo θ y el campo del conductor, se puede determinar B_T ya que $\tan \theta = B_C / B_T$.

Para llevar a cabo este experimento se supone que:

- El campo magnético generado por el conductor es equivalente al generado por uno recto e infinitamente largo.
- La dirección señalada por la brújula es igual a la dirección del campo magnético que resulta de la superposición del campo del conductor con el de la componente horizontal del campo magnético terrestre en el eje de la misma.

En función de estos supuestos se determina la componente horizontal del campo magnético de la Tierra. *Sin embargo la hipótesis (b) en general no es válida.*

Cuando una brújula se encuentra inmersa en un campo magnético, su dirección de equilibrio es aquella para la cual el torque neto ejercido por el campo magnético es nulo. Esta dirección coincide con la del campo magnético en el eje de la brújula solamente si los campos magnéticos son uniformes. Si la condición anterior no se verifica, la dirección de equilibrio de la brújula depende de su largo y de cómo varía el campo magnético en el espacio donde se encuentra.

En este artículo se encuentra una expresión teórica de la dirección de equilibrio de una brújula inmersa en un campo magnético generado por un conductor recto e infinitamente largo, superpuesto con la componente horizontal del campo magnético terrestre. Para ello se considerará a la brújula como un dipolo magnético, partiendo del modelo de las cargas magnéticas. A partir de la relación obtenida se determina experimentalmente la componente horizontal del campo magnético de la Tierra. Previamente se describe someramente el modelo de las cargas magnéticas.

B. Cargas magnéticas, algunas bases del modelo

Uno de los primeros científicos que realizó estudios formales cuantitativos sobre las fuerzas eléctricas ejercidas entre cuerpos cargados y las fuerzas magnéticas ejercidas entre imanes fue Charles Coulomb. Así fue que a fines del siglo XVIII, demostró experimentalmente que dos partículas cargadas se ejercen fuerzas. La fuerza que una partícula ejerce sobre la otra, resulta proporcional al producto de sus cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa.

De manera análoga encontró que los polos de los imanes se ejercen entre sí una fuerza proporcional al producto de sus «cargas magnéticas» e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa [1]. A diferencia de las cargas eléctricas que pueden existir en forma aislada, los imanes siempre poseen una carga magnética positiva y una carga magnética negativa de valores opuestos.

En años posteriores a los trabajos de Coulomb otros científicos desarrollaron las interacciones entre los campos magnéticos y los imanes en forma análoga a las interacciones entre los campos eléctricos y las cargas eléctricas. En estos modelos se supone que cada carga magnética de un imán genera un campo magnético directamente proporcional a su carga magnética e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia a la misma.

Por analogía con la electrostática, si en cierta región del espacio donde hay un campo magnético, se encuentra una carga magnética, sobre ésta actúa una fuerza directamente proporcional al campo magnético y al valor de dicha carga magnética.

El modelo de las cargas magnéticas resulta particularmente útil para describir el campo magnético generado por un imán, especialmente en puntos alejados del mismo, donde disminuye con el cubo de la distancia, al igual

que un dipolo eléctrico. Sin embargo cuando se aplica para describir el campo magnético dentro de los imanes, se obtienen resultados incorrectos.

C. Modelando a la brújula como dos cargas magnéticas

Supongamos una brújula inmersa en un campo magnético dado por la superposición de la componente horizontal del campo de la Tierra y el campo generado por un conductor recto e infinitamente largo.

La posición de la brújula es tal que en el eje de la misma, el cual se encuentra a una distancia d del conductor recto, la componente horizontal del campo magnético de la Tierra es perpendicular al campo magnético generado por el conductor y vale $\vec{B}_T = B_T \hat{j}$.

Si la brújula está en equilibrio, el ángulo θ que forma respecto a la componente horizontal del campo magnético de la Tierra es aquel para el cual el torque ejercido sobre ella es nulo. Para encontrar la relación entre θ , el largo de la brújula y los campos magnéticos, se modela a la brújula como un dipolo magnético formado por dos cargas magnéticas opuestas, separadas una distancia $L=2l$, siendo L el largo de la brújula.

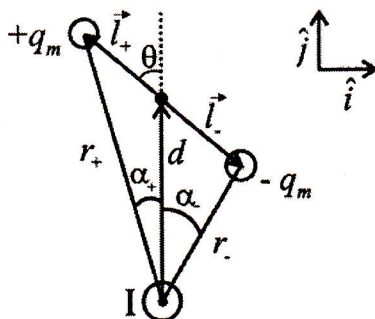


Figura 2. Cargas magnéticas inmersas en un campo magnético dado por la superposición de la componente horizontal del campo de la Tierra, el cual está dado por $\vec{B}_T = B_T \hat{j}$ y el campo

generado por el conductor recto, dado por $\vec{B}_c = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \hat{e}_\alpha$

Al modelarla de esta manera, el ángulo de equilibrio θ es aquel para el cual el torque realizado por la fuerza magnética sobre la carga magnética positiva es opuesto al torque realizado sobre la carga magnética negativa.

$$\vec{\tau}_+ = -\vec{\tau}_- \quad (1)$$

$$\vec{l}_+ \wedge \vec{F}_+ = -\vec{l}_- \wedge \vec{F}_- \quad (2)$$

Como plantea Sadiku en la referencia [2] $\vec{F} = q_m \vec{B}$ y $+q_m = -q_m$, sustituyendo estas expresiones en la ecuación 2, podemos encontrar la relación que describe la posición de equilibrio de la brújula en función del campo magnético que actúa sobre cada carga magnética ($\vec{B}_+$ y $\vec{B}_-$):

$$\vec{l}_+ \wedge \vec{B}_+ = \vec{l}_- \quad (3)$$

El campo magnético resultante sobre cada carga magnética está dado por:

$$\vec{B}_+ = -\frac{\mu_0 I \cos \alpha_+}{2\pi r_+} \hat{i} + \left(B_T - \frac{\mu_0 I \sin \alpha_+}{2\pi r_+} \right) \hat{j} \quad (4)$$

$$\vec{B}_- = -\frac{\mu_0 I \cos \alpha_-}{2\pi r_-} \hat{i} + \left(B_T + \frac{\mu_0 I \sin \alpha_-}{2\pi r_-} \right) \hat{j} \quad (5)$$

Analizando la figura 2:

$$\begin{cases} \cos \alpha_+ = \frac{d + l \cos \theta}{r_+} \\ \sin \alpha_+ = \frac{l \sin \theta}{r_+} \\ r_+^2 = d^2 + l^2 + 2dl \cos \theta \\ \vec{l}_+ = -(l \sin \theta) \hat{i} + (l \cos \theta) \hat{j} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \cos \alpha_- = \frac{d - l \cos \theta}{r_-} \\ \sin \alpha_- = \frac{l \sin \theta}{r_-} \\ r_-^2 = d^2 + l^2 - 2dl \cos \theta \\ \vec{l}_- = (l \sin \theta) \hat{i} - (l \cos \theta) \hat{j} \end{cases} \quad (7)$$

Sustituyendo las relaciones anteriores en las expresiones de $\vec{B}_+$ y $\vec{B}_-$ en cada lado de la ecuación 3 obtenemos:

$$\vec{l}_+ \wedge \vec{B}_+ = [-(l \sin \theta) \hat{i} + (l \cos \theta) \hat{j}] \wedge \left[-\frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{(dl + \cos \theta)}{(d^2 + l^2 + 2dl \cos \theta)} \hat{i} + \left(B_T - \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{l \sin \theta}{(d^2 + l^2 + 2dl \cos \theta)} \right) \hat{j} \right] \quad (8)$$

$$\vec{l}_- \wedge \vec{B}_- = [(l \sin \theta) \hat{i} - (l \cos \theta) \hat{j}] \wedge \left[-\frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{(dl - \cos \theta)}{(d^2 + l^2 - 2dl \cos \theta)} \hat{i} + \left(B_T + \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{l \sin \theta}{(d^2 + l^2 - 2dl \cos \theta)} \right) \hat{j} \right] \quad (9)$$

Operando e igualando las expresiones:

$$-B_T l \sin \theta + \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{(l^2 + dl \cos \theta)}{(d^2 + l^2 + 2dl \cos \theta)} = B_T l \sin \theta + \frac{\mu_0 I}{2\pi} \frac{(l^2 - dl \cos \theta)}{(d^2 + l^2 - 2dl \cos \theta)} \quad (10)$$

Reordenando y simplificando la expresión anterior, obtenemos una ecuación que permite determinar la componente horizontal del campo magnético de la Tierra en función del largo de la brújula $L=2l$, la distancia del conductor al centro de la misma d , su ángulo de equilibrio θ y la intensidad de corriente I que circula por el conductor.

$$B_T = \frac{1}{\tan \theta} \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left[\frac{d(d^2 - L^2/4)}{(d^2 + L^2/4)^2 - (Ld \cos \theta)^2} \right] \quad (11)$$

Si se realiza el límite del factor $\left[\frac{d(d^2 - L^2/4)}{(d^2 + L^2/4)^2 - (Ld \cos \theta)^2} \right]$ cuando $L \ll d$,

se obtiene la expresión «clásica» para la componente horizontal del campo magnético de la Tierra.

$$B_T = \frac{1}{\tan \theta} \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \quad (12)$$

Con esta ecuación se puede determinar B_T considerando despreciable el largo de la brújula, ya que tiene implícito el hecho de considerar que el campo magnético resultante en el eje de la brújula, coincide con la dirección de la misma.

D. Determinación de la componente horizontal del campo magnético de la Tierra

Para determinar la componente horizontal del campo magnético de la Tierra, se colocó una brújula de $(0,030 \pm 0,001)\text{m}$ de largo a diferentes distancias de un conductor recto y largo, de forma tal que en el eje de la misma, el campo magnético generado por el conductor recto fuese perpendicular a la componente horizontal del campo magnético de la Tierra. Para cada distancia se modificó la intensidad de corriente del conductor, midiéndose para cada valor de corriente, el ángulo θ formado entre la brújula y la dirección de la componente horizontal del campo magnético de la Tierra.

Las distancias al conductor recto a las que se colocó la brújula fueron $(0,030 \pm 0,003)\text{m}$, $(0,060 \pm 0,003)\text{m}$, $(0,090 \pm 0,003)\text{m}$ y $(0,120 \pm 0,003)\text{m}$.

El conductor recto formaba parte de un cuadro de 1,20 m de lado, el cual estaba enrollado por 5 vueltas por los lados del marco.

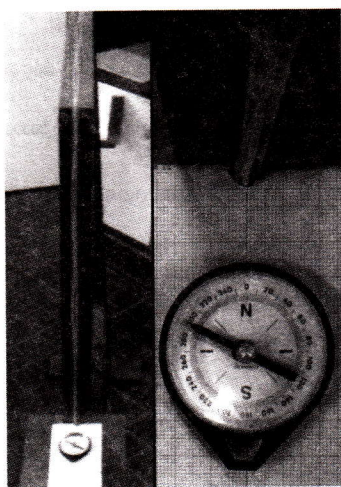


Figura 3. Dispositivo experimental utilizado.

Para comparar el modelo «clásico» con el de las «cargas magnéticas», se trabajó en primera instancia con la ecuación 12, graficándose $\tan(\theta)$ en función de $\mu_0 I / 2\pi$ para cada distancia, obteniéndose los gráficos 4, 5, 6 y 7. La pendiente de dichos gráficos resulta numéricamente igual al inverso de la componente horizontal del campo magnético terrestre.

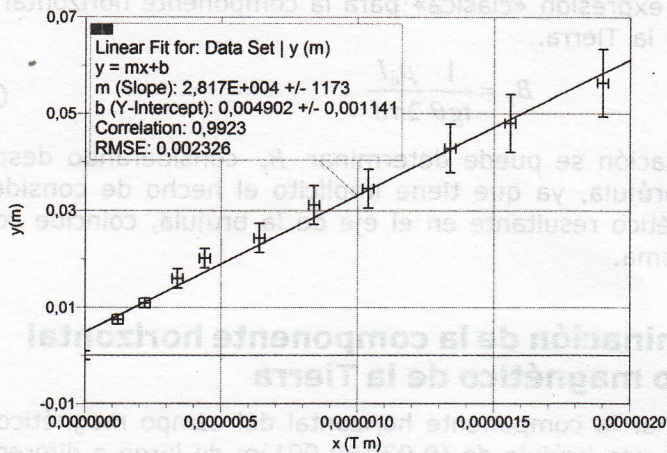


Figura 4. Modelo clásico para $d=0,030m$

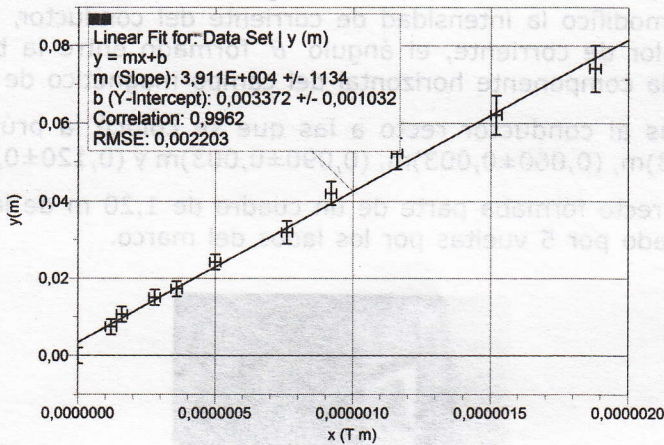


Figura 5. Modelo clásico para $d=0,060m$

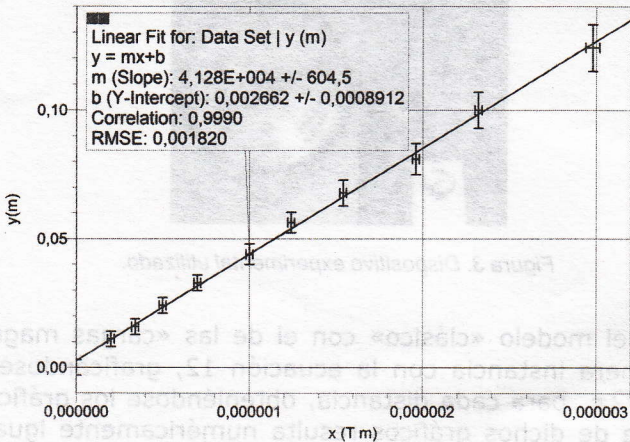


Figura 6. Modelo clásico para $d=0,090m$

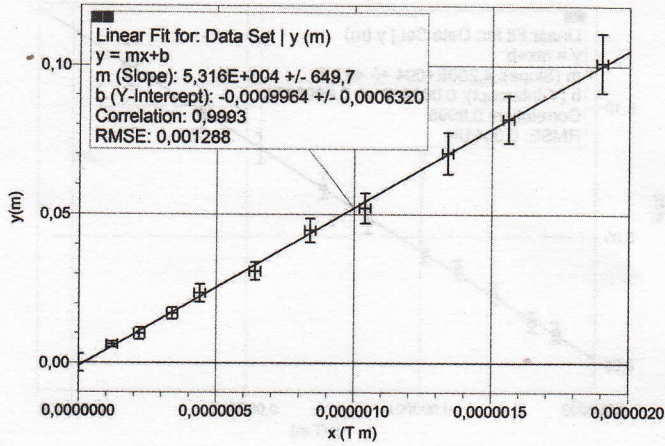


Figura 9. Modelo de las cargas magnéticas para $d=0,030m$

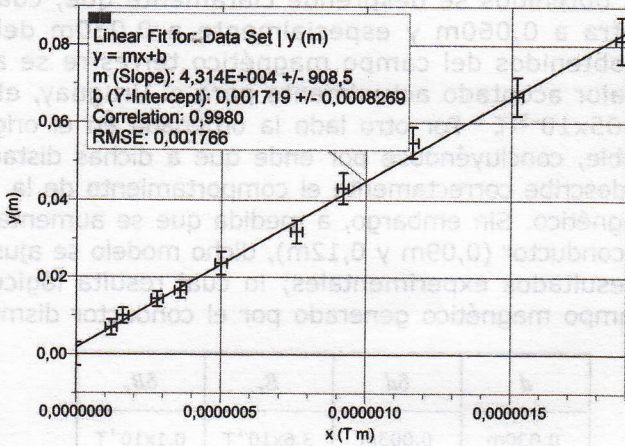


Figura 10. Modelo de las cargas magnéticas para $d=0,060m$

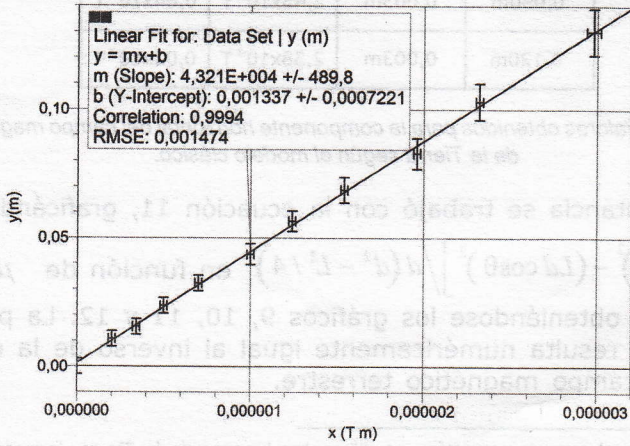


Figura 11. Modelo de las cargas magnéticas para $d=0,090m$

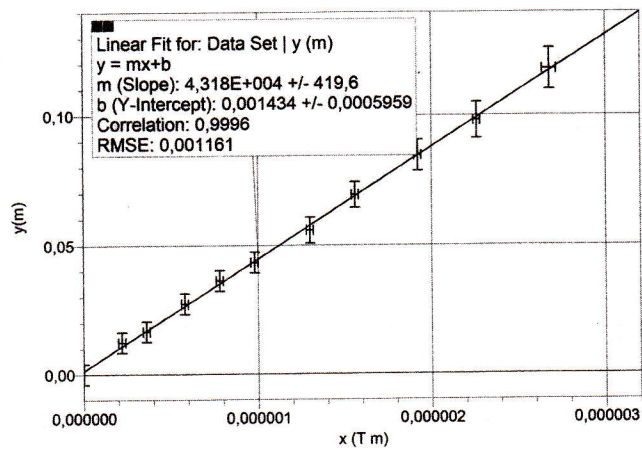


Figura 12. Modelo de las cargas magnéticas para $d=0,120m$

De los gráficos obtenidos se desprende claramente que el modelo de las cargas magnéticas describe correctamente el comportamiento de la brújula frente al campo magnético. Para las cuatro distancias trabajadas, la ordenada en el origen es despreciable, mostrándose la proporcionalidad directa entre las magnitudes graficadas.

d	δd	B_r	δB_r
0,030m	0,003m	$1,88 \times 10^{-5} T$	$0,02 \times 10^{-5} T$
0,060m	0,003m	$2,32 \times 10^{-5} T$	$0,05 \times 10^{-5} T$
0,090m	0,003m	$2,31 \times 10^{-5} T$	$0,03 \times 10^{-5} T$
0,120m	0,003m	$2,32 \times 10^{-5} T$	$0,02 \times 10^{-5} T$

Figura 13. Valores obtenidos de la componente horizontal del campo magnético de la Tierra para el modelo de las cargas magnéticas

E. Limitaciones a la aplicación del modelo

El modelo presentado para determinar la componente horizontal del campo magnético de la Tierra a partir de las cargas magnéticas posee varias limitaciones:

- a. Se parte de la base que las cargas magnéticas se encuentran en los extremos de la brújula. De ser esta hipótesis correcta, dos imanes en los cuales se enfrentan polos opuestos, cuando están «unidos» deberían atraerse con una fuerza infinita.
- b. A priori no se puede descartar un cambio en la dirección de magnetización de la brújula en presencia del campo magnético resultante, modificándose la posición de las cargas magnéticas.
- c. Se supuso que el campo magnético generado por el conductor recto verificaba la ecuación que describe el campo magnético de un conductor recto e infinitamente largo.

F. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos experimentalmente trabajando con el campo magnético producido por una corriente eléctrica continua en un conductor rectilíneo, se puede concluir que el modelo de las cargas magnéticas aplicado a la acción del campo magnético sobre la brújula, permite una descripción significativamente mejor de la acción de un campo magnético sobre un imán en las proximidades del conductor, en comparación con la descripción obtenida utilizando el modelo de dipolo magnético clásico.

G. Apéndice: Cálculo de las incertidumbres

Para determinar la incertidumbre asociada con el factor $\mu_0 I / 2\pi$, se tomaron en cuenta las características técnicas del multímetro Fluke 87, el cual fue utilizado para medir la intensidad de corriente en el circuito.

El alcance del multímetro es de 10,0A, con una apreciación de 0,01A. La incertidumbre de cada medida se determinó sabiendo que la precisión de las medidas está dada por un 0,2% de la lectura + 2 dígitos. Al resultado obtenido de la incertidumbre de la intensidad de corriente se lo multiplica por 5 (cantidad de espiras del conductor) y por $\mu_0 I / 2\pi$.

Para determinar la incertidumbre de los factores $dtg(\theta)$

y $tg\theta \left[(d^2 + L^2/4)^2 - (Ld \cos\theta)^2 \right] / d(d^2 - L^2/4)$ los cuales corresponden a la variables graficadas en el eje de las ordenadas para el modelo clásico y el de las cargas magnéticas respectivamente, se aplicó la expresión planteada por Salvador-Gil en referencia [3]

$$\delta y \leq \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial \theta} \delta \theta \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial d} \delta d \right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial L} \delta L \right)^2} \quad (13)$$

Siendo y igual a $dtg(\theta)$ para el modelo clásico e igual a

$tg\theta \left[(d^2 + L^2/4)^2 - (Ld \cos\theta)^2 \right] / d(d^2 - L^2/4)$ para el de las cargas magnéticas.

Las incertidumbres en las medidas de θ , δ y L son $\delta\theta = 2^\circ$, $\delta d = 0,003$ m, $\delta L = 0,001$ m.

La medida del ángulo y su incertidumbre merecen algunos comentarios. Al realizar las medidas se debe tomar la precaución de que la brújula se encuentre estabilizada, así como el hecho de que ésta no se tranque. Por otro lado, cualquier movimiento de la base en la que se encuentra, la puede desalinear, ocasionando un error sistemático en las medidas. Atendiendo estas precauciones y encontrándose que al repetir los valores de intensidad de corriente, las medidas del ángulo variaban siempre en un entorno menor o igual al de la apreciación de la brújula, se asignó a éstas una incertidumbre igual a la apreciación de la brújula (2°).

Para determinar la incertidumbre de la componente horizontal del campo

magnético de la Tierra, se aplicó la expresión $\delta B_r = \frac{\delta \text{pend}}{(\text{pend})^2}$ (14)

siendo $pend$ la pendiente de la gráfica y $\delta pend$ la incertidumbre de la misma. Estos datos aparecen en los gráficos, los cuales fueron realizados con el software Logger Pro 3.6.0.

H. Referencias

- [1] Gamow, George, Biografía de la Física, 2^{da} edición, España, Castilla, 1962. Página 152.
- [2] Sadiku, Matthew, Elementos de electromagnetismo, 3^{da} edición, USA, Alfaomega, 2003. Página 320.
- [3] Salvador-Gil, Física Recreativa, 1^{era} edición, Argentina, Pearson Education, 2001. Página 24.

...

¿ACTUALIDAD?

De un artículo de "France-Soir"
del 15 de junio de 1971



El doctor Ronald Gibson, hablando del conflicto entre las generaciones en la Sociedad Médica de Portsmouth (Gran Bretaña), ha comenzado su conferencia con cuatro citas:

PRIMERA CITA: «Nuestra juventud ama el lujo, está mal criada, se mofa de la autoridad y no tiene ninguna especie de respeto por los mayores. Nuestros niños de hoy son tiranos. No se levantan cuando un anciano entra a un cuarto, responden a sus padres y son todos ellos simplemente malvados».

SEGUNDA CITA: «Yo no tengo ninguna esperanza en el porvenir de nuestro país si la juventud de hoy toma el mando mañana, porque esta juventud es insoportable, sin moderación, simplemente terrible».

TERCERA CITA: «Nuestro mundo ha alcanzado un estado crítico. Los niños no escuchan más a sus padres. El fin del mundo no puede estar muy lejano».

CUARTA CITA: «Esta juventud está podrida desde el fondo de su corazón. La gente joven es malhechora y perezosa. Ellos no serán jamás como la juventud de antaño. Estos de hoy no serán capaces de mantener nuestra cultura».

Habiendo leído las cuatro citas, el doctor Gibson reveló a continuación su origen. La primera es de Sócrates, entre 470 y 399 años antes de Cristo; la segunda es de Hesíodo, 720 años antes de Cristo; la tercera es de un sacerdote egipcio que vivió 2000 años antes de Cristo; la cuarta a sido descubierta recientemente sobre un cacharro de arcilla en las ruinas de Babilonia y tiene más de 3000 años de antigüedad.

Nada parece cambiar.

RECOMENDACIONES WEB

Portal de Internet de Canal Encuentro

Canal Encuentro es el primer canal de televisión del Ministerio de Educación de la República Argentina. Comenzó su transmisión el 5 de marzo de 2007.

La pantalla de Canal Encuentro se completa con el portal de Internet <http://www.encuentro.gov.ar> que vincula la televisión con las nuevas tecnologías de la información y la comunicación para potenciar ambos medios y generar un espacio de convergencia.



En dicho portal de Internet encontraremos herramientas educativas, consejos y actividades para el aula, tutoriales, bancos de recursos multimedia y en especial una serie de videos de física.

Estos videos se encuentran dentro del espacio «Entornos invisibles de la ciencia y la tecnología».

Este es un ciclo de divulgación científica con un formato que incorpora elementos de ficción y humor y utiliza escenarios de la vida cotidiana del hombre, como el parque de diversiones, la chacra, los recitales de rock, entre otros. La conducción está a cargo de Juan José Campanella, Carolina Chande y Julio Graham.

Para acceder a ellos se debe entrar en el portal, luego a «Videos y Descargas» y ahí seleccionar «Ciencia» a la derecha. En la nueva página ir al final de la misma y en el índice numérico seleccionar 6 y 7.



Una vez seleccionado el video que queremos descargar vamos a una página donde podremos hacerlo luego que nos hayamos registrado.

En esta sección de descargas encontrarán una gran cantidad de videos científicos entre los cuales destaca la excelente serie de matemática «Alterados por Pi», conducida por Adrián Paenza.

RESOLUCIÓN A SITUACIONES PROBLEMÁTICAS EN FÍSICA (I)

En el número anterior de nuestra Revista planteamos como ejercicio una «pequeña variante» a un conocido problema de estática, de forma que se convertía en un problema no resoluble por medio de los procedimientos habituales.

Sea una barra, mostrada en la figura N° 1, capaz de girar libremente alrededor de un eje horizontal por el punto O. Sobre la barra se ejerce una fuerza externa $\vec{F}$ en la dirección oy (vertical); la barra está sostenida por un tensor AB (podría ser un alambre) que es capaz de ejercer sobre la barra una fuerza también vertical. Nos proponemos calcular las fuerzas que ejercen el eje y el tensor sobre la barra.

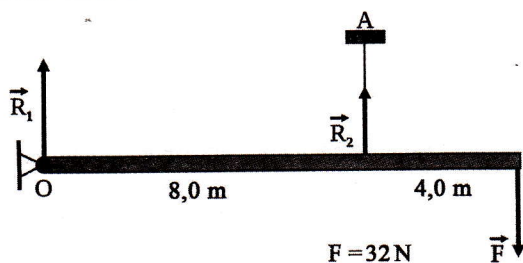


Figura N° 1

Una «pequeña variante», el agregado de nuevo tensor, figura N° 2, convertía el problema en una situación indeterminada si lo enfocábamos según los métodos tradicionales de la Mecánica de cuerpos rígidos.

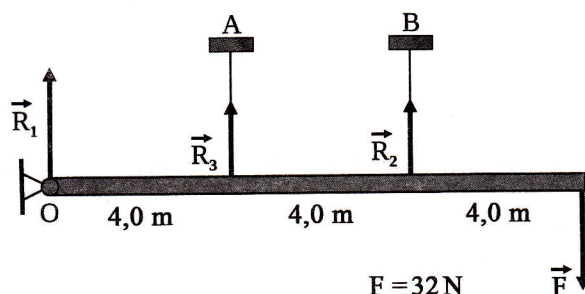


Figura N° 2

Llamaremos R_1 , R_2 , R_3 a las fuerzas reactivas originadas por los vínculos.

El planteo de las ecuaciones de equilibrio para cuerpos rígidos: resultante de fuerzas igual a cero y resultante de momentos igual a cero es:

$$\sum F_y = 0 \quad R_1 + R_2 + R_3 - 32 = 0$$

$$\sum M_o = 0 \quad 8R_2 + 4R_3 - 12 \times 32 = 0$$

Hemos usado toda la información que las leyes de la estática nos pueden proveer y obtenemos un sistema de ecuaciones indeterminado, dos ecuaciones con tres incógnitas.

Hemos planteado un problema que se corresponde con una situación física concreta y realizable experimentalmente.

Las fuerzas reactivas son susceptibles de ser medidas y repetida la experiencia en igualdad de condiciones, los resultados de las medidas se repiten. Las fuerzas reactivas poseen un valor definido.

La aplicación de las leyes físicas que consideramos apropiadas nos llevan a una contradicción: Indeterminación teórica frente a determinación experimental.

¿Cómo se resuelve esta aparente contradicción entre los resultados experimentales y las conclusiones teóricas?

Las Ciencias en general y la Física en especial construyen modelos de los fenómenos y son esos modelos las herramientas con las cuales intentamos resolver problemas provenientes de la Realidad Física.

«Punto material», «sistema adiabático», «cuerpo rígido».... son ejemplos de modelos simplificadores que permiten dar solución, muchas veces aproximada, a problemas que provienen de una realidad, que es en general más compleja que el modelo.

Los modelos muchas veces fracasan en cuanto a ser una descripción idónea para analizar el Mundo Físico.

La experiencia de Michelson y Morley puso de manifiesto el fracaso de la Mecánica clásica para describir el Mundo Físico.

El efecto fotoeléctrico marcó el fracaso de una descripción exclusivamente ondulatoria como modelo capaz de describir todas las interacciones entre la luz y la materia.

Existen «grandes fracasos» que han obligado a reestructurar los fundamentos de muchas Teorías Físicas.

Existen también pequeños fracasos circunstanciales sin consecuencias trascendentes, que simplemente obligan a cambiar el enfoque de algunas situaciones concretas, cambiando el modelo que hemos aplicado, tal es el caso de nuestro problema y del modelo que hemos utilizado para intentar su solución.

Esa es la situación en la cual nos encontramos, hemos «modelado» la realidad de determinada forma y ese modelado nos condujo a un callejón sin salida.

¿Cuál es el modelo que hemos adoptado para intentar resolver el problema?

Hemos dicho. «*Apliquemos las condiciones de equilibrio de un cuerpo rígido*».

Hemos supuesto implícitamente que los cuerpos involucrados son rígidos.

Puede haber fracasado entonces el modelo de «rígido» para resolver esta situación física real. Levantemos entonces la hipótesis de rigidez.

¿Suponer que los cuerpos no son rígidos es una catástrofe conceptual de consecuencias trascendentes?

No lo es, al contrario, en la realidad Física no existen cuerpos totalmente rígidos, eliminar la hipótesis de rigidez es aproximarnos a la realidad tal cual la percibimos.

¿Cómo es entonces que usualmente suponemos que los cuerpos vinculados a los problemas de la Estática son rígidos?

Esa hipótesis, permitía obtener soluciones muy aproximadas de **casi** todos los problemas vinculados a la Estática.

El problema que nos interesa podría ser una de esas situaciones en las cuales, mantener la hipótesis de rigidez impide obtener, como hemos constatado, soluciones aún aproximadas.

Problemas hiperestáticos

El ejemplo en consideración es un caso particular de lo que se llama en Estática problemas «hiperestáticos» o estructuras «redundantes».

Pueden justificarse esas denominaciones.

Hiperestáticos pues su tratamiento trasciende al enfoque de la estática de cuerpos rígidos.

Redundantes debido a que, intuitivamente, «sobran vínculos en la estructura».

Si, en nuestro ejemplo, quitamos el segundo tensor «la estructura se mantiene» es decir, la geometría de la estructura se mantiene.

Si en el problema original, en el cual la estructura poseía un solo tensor, quitamos ese único tensor, la barra gira, la estructura no se mantiene. Todos los elementos que componen el sistema son necesarios para mantener su forma geométrica. Intuitivamente, no «sobran» elementos en la estructura.

La estructura con un tensor no es redundante. La estructura con dos tensores es redundante.

Enfoque del problema considerando la elasticidad de los cuerpos que forman la estructura

Aceptar la deformación de los cuerpos como parte del modelo implica integrar a su resolución las leyes de la elasticidad, leyes que vinculan los **esfuerzos** a los cuales están sometidos los cuerpos con las **deformaciones** que experimentan debido a esos esfuerzos.

En general se acepta que en ciertas condiciones, deformaciones pequeñas, esas deformaciones son proporcionales a los esfuerzos y las constantes de

proporcionalidad que los vinculan describen propiedades elásticas del material que compone el cuerpo.

Las leyes de la elasticidad vinculan esfuerzos con deformaciones y proporcionan relaciones expresables por medio de ecuaciones.

Podemos realizar un análisis simplificado de nuestro nuevo modelo suponiendo que la barra es mucho más rígida que los tensores es decir que podemos despreciar su deformación; tomar en cuenta solamente la deformación de los tensores y analizar, si realizando este cambio parcial en el modelo, se levanta la indeterminación.

El problema así planteado se corresponde también con una situación experimental real.

Leyes de la elasticidad aplicables en el problema analizado

Deformación de barras sometidas a esfuerzos longitudinales



Figura N° 3

Sea un cuerpo, el tensor en nuestro caso, de longitud L y sección constante S sometido a una fuerza longitudinal F , en este caso la ley que expresa la proporcionalidad entre esfuerzos con deformaciones es:

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{F}{SE}$$

Donde ΔL es la deformación, alargamiento en el caso de la figura, de la barra por lo cual $\Delta L/L$ es la deformación relativa y E es una constante llamada módulo de Young que depende del material con el cual está construida la barra, dimensionalmente se corresponde con una presión y su unidad de medida es usualmente el Pascal (Pa).

La deformación relativa es directamente proporcional a la fuerza aplicada e inversamente proporcional a la sección y al módulo de Young, «dureza del material».

Las leyes de la elasticidad proveen una ecuación por cada elemento que se deforma, en nuestro caso una para cada tensor.

Asimismo introduce para cada uno una nueva incógnita, la deformación que experimenta.

En nuestro ejemplo: $\frac{\Delta L_2}{L_2} = \frac{R_2}{S_2 E_2}$ para el primer tensor

$\frac{\Delta L_3}{L_3} = \frac{R_3}{S_3 E_3}$ para el segundo tensor

L_2 y L_3 representan las longitudes de los tensores, S_2 y S_3 sus secciones, R_2 y R_3 fuerzas longitudinales que se ejercen sobre ellos ΔL_2 y ΔL_3 las

deformaciones que experimentan y E el módulo de Young del material con el cual están contruados.

¿Cuáles son las posibilidades de resolución con este planteo?

Incógnitas: Las tres fuerzas reactiva R_1 , R_2 y R_3 y las deformaciones de las barras, ΔL_2 y ΔL_3 .

Total: **cinco incógnitas**.

Ecuaciones: Dos ecuaciones provenientes de la Estática («antiguas ecuaciones») y dos ecuaciones provenientes de la elasticidad.

Total: **Cuatro ecuaciones**.

Nuestro «alumno inquieto» que sugirió el agregado del segundo tensor, diría: ¡Profesor: complicamos el problema y estamos en las mismas condiciones, sigue siendo indeterminado!

Efectivamente complicamos el problema pero no «estamos en las mismas condiciones».

Propiedad de los Sistemas Hiperestáticos

Las deformaciones que experimentan los cuerpos que componen un sistema hiperestático sometido a esfuerzos poseen una muy importante propiedad.

«En un sistema hiperestático sometido a esfuerzos, las deformaciones no son independientes y al menos una de ellas puede expresarse siempre como función de las otras».

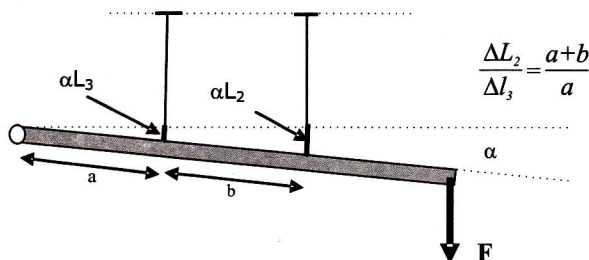


Figura Nº 4

Dicho de otra forma: En los sistemas hiperestáticos siempre existe al menos una ecuación que vincula las deformaciones.

Veamos esta propiedad en el ejemplo, en el cual existen dos deformaciones, que han sido exageradas en la figura.

Las deformaciones poseen una vinculación de origen geométrico, en este caso originada en la semejanza de triángulos.

Si una deformación toma un determinado valor la otra deformación inevitablemente tiene que tomar otro cierto valor, determinado por la primera y por tanto expresable en función de esta.

A este tipo de ecuaciones les llamaremos provenientes de la «compatibilidad de las deformaciones».

En todo sistema hiperestático existe al menos una ecuación que expresa la compatibilidad de las deformaciones y permite calcular una deformación como función de las otras.

Esta relación que siempre existe, se encuentra por consideraciones geométricas y debe buscarse en cada caso.

Veamos ahora cual es la situación en cuanto a la resolubilidad de nuestro problema.

Poseemos:

Ecuaciones: Dos ecuaciones provenientes de la estática. Dos ecuaciones provenientes de la elasticidad de los materiales. Una ecuación que expresa la compatibilidad de las deformaciones.

Total: **cinco ecuaciones.**

Incógnitas: Dos incógnitas, las deformaciones; Tres incógnitas: Las fuerzas reactivas desconocidas.

Total: **cinco incógnitas.**

Cinco ecuaciones con cinco incógnitas; en principio, el sistema de ecuaciones podría ser resoluble.

Observación: para resolver efectivamente el problema debemos conocer: Largo y sección de los tensores y el material con los cuales están contruidos, concretamente su módulo de Young.

Resolución:

Relaciones que proveen las leyes físicas aplicadas:

Provenientes de la estática, las mismas que en el planteo original:

$$\begin{aligned} R_1 + R_2 + R_3 - 32 &= 0 \\ 8R_2 + 4R_3 - 12 \times 32 &= 0 \end{aligned}$$

Provenientes de las leyes de la elasticidad:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta L_2}{L_2} &= \frac{R_2}{S_2 E_2} \\ \frac{\Delta L_3}{L_3} &= \frac{R_3}{S_3 E_3} \end{aligned}$$

Proveniente de la compatibilidad de las deformaciones:

$$\frac{\Delta L_2}{\Delta L_3} = \frac{a+b}{a}$$

Resolución efectiva del ejemplo:

Tensores de acero, $E_{\text{acero}} = 250 \cdot 10^9 \text{ Pa}$, de igual largo: $L_2 = L_3 = 1.5 \text{ m}$ e igual sección $S_2 = S_3 = 2.0 \text{ cm}^2$

Combinando las tres últimas ecuaciones: provenientes de la elasticidad y la compatibilidad de las deformaciones, «nuevas ecuaciones» resulta:

$$\frac{R_2}{R_3} = \frac{S_2 E_2 L_3 (a+b)}{S_3 E_3 L_2 a} =$$

Intuitivamente esta relación describe la forma en la cual se distribuye la fuerza entre los dos tensores no rígidos redundantes.

El problema, en su planteo original era indeterminado, existían infinitas soluciones; existían infinitas formas en que los tensores podían «repartirse» la fuerza reactiva necesaria para mantener el sistema en equilibrio.

Involucrando las propiedades elásticas y geométricas de los elementos se concluye que, en nuestro ejemplo, un tensor «aporta» una fuerza mayor cuanto mas corto, mas duro o mayor sección posee y recíprocamente.

Esta ecuación junto a las «antiguas» ecuaciones provenientes de la estática permite resolver el sistema.

Realizando el cálculo para los valores numéricos del ejemplo:

$$R_2 = 38 \text{ N} \quad R_3 = 19 \text{ N} \quad R_1 = -25 \text{ N} \quad \Delta L_2 = 1.2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad \Delta L_3 = 5.8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Un problema hiperestático o redundante es en realidad un problema de «Resistencia de Materiales» pues su resolución requiere el conocimiento, no solo de la disposición geométrica de sus componentes y las fuerzas activas que se ejercen sobre ellos sino que además es necesario conocer las propiedades elásticas de sus componentes.

Un problema hiperestático no se puede resolver considerando sus componentes como rígidos, sin tener en cuenta las deformaciones que se producen.

Retornando a la pregunta original del «alumno inquieto»: Profesor. ¿Qué pasa si agregamos un tensor?

Si agregamos un tensor el problema cambia drásticamente: un problema no redundante de resolución estática «clásica» se convierte en un problema redundante. Su resolución requiere modelar la situación física de otra manera: considerar que los cuerpos que integran el sistema no son rígidos sino deformables.

Observación 1

La consideración de un modelo que tome en cuenta las deformaciones que experimentan los tensores obligaría, en principio, a plantear las ecuaciones de la estática de acuerdo a la figura N° 4 «geometría deformada» y no mantener las «viejas ecuaciones» con la geometría «no deformada» que se correspondían con la figura N° 2.

Sin embargo si las deformaciones son pequeñas y solamente en ese caso, la figura N° 2 es una buena aproximación de la figura N° 4.

Si las deformaciones no fueran pequeñas no sería válida la aproximación geométrica realizada. Sigue siendo un problema resoluble pero con una geometría mucho más complicada y cálculos engorrosos.

En este último caso, deformaciones grandes, aparecen dificultades de otro orden ya que la hipótesis de proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones es válida en los materiales usuales solamente para deformaciones pequeñas.

El procedimiento usado no sería válido debido al no cumplimiento de la proporcionalidad entre esfuerzos y deformaciones.

En nuestro ejemplo la aproximación geométrica es buena y la hipótesis de proporcionalidad es válida pues realizado el cálculo, las deformaciones relativas son efectivamente pequeñas, del orden de 10^{-6} y el ángulo α que gira la barra, que es fácilmente calculable, vale $\alpha = 1.4 \cdot 10^{-7}$ radianes.

Observación 2

Levantar la hipótesis de «barra muy dura» que nos permitió considerarla como una barra recta que gira alrededor de O complica enormemente el problema pues implica aplicar las leyes de la elasticidad a la barra, que definen la forma, ahora curvada, que adquiere debido a los esfuerzos aplicados sobre ella.

El análisis de esta situación excede este estudio, sin embargo el problema hiperestático en su nueva forma es también resoluble y además es un ejemplo clásico en los cursos de Resistencia de Materiales.

Bibliografía comentada

Existen innumerables textos de Resistencia de Materiales que analizan los sistemas hiperestáticos o redundantes, citaremos solamente dos, en cierta forma contrapuestos.

1. Un texto relativamente «moderno»: Willems N., Easley J., Rolfe S, «Resistencia de Materiales» McGraw-Hill 1984
Trata los temas de Resistencia de Materiales, incluyendo un gran número de aplicaciones, con un criterio muy pragmático, arribando rápidamente a los resultados que fundamentan la resolución de dichas aplicaciones sin poner mucho énfasis en el análisis de los conceptos involucrados.
2. Un clásico: Timoshenko, S «Resistencia de Materiales» Espasa Calpe 1957, traducción de la 2ª edición de 1940.
Este libro combina un admirable tratamiento de los conceptos básicos con un enfoque muy adecuado en la forma en la cual se resuelven una enorme variedad de aplicaciones.
Timoshenko (1878, Shpotivka, Ucrania - 1972, Estados Unidos de Norteamérica) fue el creador de múltiples formas de enfocar problemas prácticos y el creador de procedimientos concretos de cálculo en temas de Ingeniería Mecánica y Resistencia de Materiales.

SITUACIONES PROBLEMÁTICAS EN FÍSICA (II)

Carlos Zamalvide - Mauricio Rodríguez

1. Planteo del problema

El sonido asociado a lo que llamamos «ondas estacionarias en tubos» es un tema que seguramente todos, en nuestra actividad docente, hemos desarrollado en múltiples oportunidades.

Nos interesa analizar, en principio, el caso del tubo abierto/cerrado.

En la figura N° 1 se representan las ondas de desplazamiento estacionarias, correspondientes al fundamental y los dos primeros armónicos. Como sabemos, los desplazamientos en el extremo cerrado son nulos: nodo de desplazamientos y en el extremo abierto las partículas oscilan con una amplitud máxima: antinodos de desplazamiento.

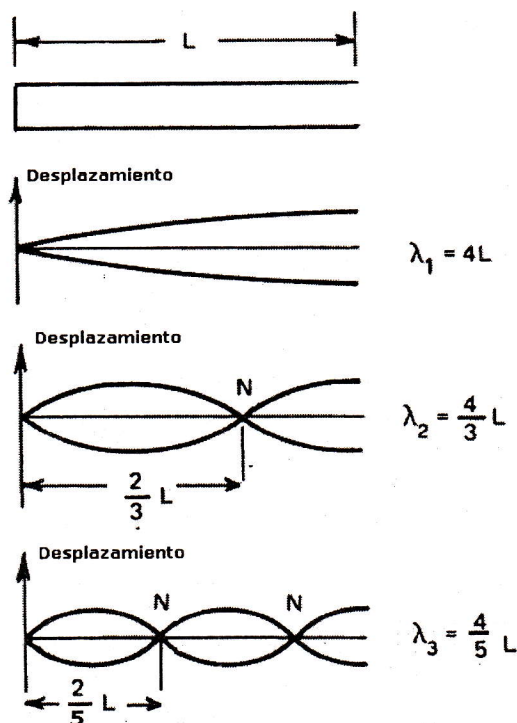


Figura N° 1

La longitud de onda en las condiciones anteriores puede tomar solamente ciertos valores que se vinculan con la longitud del tubo.

Las frecuencias correspondientes a cada modo, dependerán además de la velocidad del sonido en el gas que llena el tubo. La velocidad del sonido en el gas es a su vez función de la temperatura del gas.

Como se observa en la figura, estas condiciones de contorno imponen que la longitud del tubo debe ser un múltiplo impar de un cuarto de longitud de onda.

Existen infinitas longitudes de onda compatibles con las condiciones de contorno pero no cualquier valor corresponde a una longitud de onda válida.

Si llamamos L a la longitud del tubo y λ_n a las longitudes de onda posibles:

$$L = (2n-1) \cdot \lambda_n / 4 \quad \text{con } n \text{ entero positivo.}$$

Las correspondientes frecuencias, llamando c a la velocidad del sonido, serán:

$$f_n = c / \lambda_n$$

$$f_n = c (2n-1) / (4 L)$$

La frecuencia del tono fundamental, frecuencia mínima, que se corresponde con la máxima longitud de onda, se obtiene para $n=1$ y valdrá:

$$f_f = c / (4L)$$

Por ejemplo: la frecuencia mas baja asociada a las ondas estacionarias en un tubo abierto/cerrado, de longitud 30.5 cm de largo y 1.8 cm de diámetro D .

Efectuando para el largo del tubo la llamada «corrección de extremo abierto»¹ la longitud equivalente es:

$$L' = L + 0.6D = 31.6 \text{ cm}$$

A una temperatura de 20 °C la velocidad del sonido en el aire es:

$$c(20^\circ\text{C}) = 343 \text{ m/s}$$

Por lo cual la frecuencia fundamental del sonido asociado a las ondas estacionarias del tubo a/c será:

$$f_{ac} = 271 \text{ Hz}$$

2. Situación problemática originada en un Fenómeno Físico de sencilla realización experimental

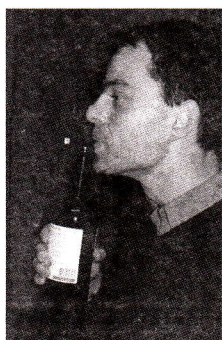


Figura N° 2

Es posible generar sonido soplando con un ángulo adecuado en el extremo de una botella como se muestra en la figura N° 2.

La botella con la cual realizamos la experiencia posee la misma longitud del tubo del ejemplo y su cuello igual diámetro y si además, la temperatura ambiente es 20 °C, la frecuencia mas baja presente en el espectro de frecuencias asociado a las ondas estacionarias en la botella, considerada como tubo abierto cerrado, debería ser, como hemos visto, 271 Hz.

Realizamos ahora la experiencia, generamos sonido en la botella en la forma indicada, y determinamos la frecuencia mas baja de su espectro.

¹ Kinsler L Frey, A Coppers A, Sanders, J. «Fundamentos de Acústica». Limusa 1992, Cap.9, Parágrafo 2.

Producimos sonido con la botella en la forma que indica la figura Nº 2, digitalizamos dicho sonido, obtenemos su espectro de frecuencias mediante una Transformada de Fourier (FFT). La región de frecuencias bajas del espectro obtenido se muestra en la figura Nº 3.

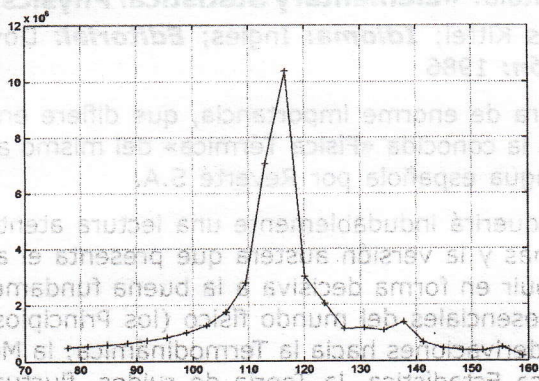


Figura Nº3

Abscisas: frecuencias (Hz), Ordenadas: amplitudes (unidades arbitrarias)

Sin realizar en esta etapa del análisis un estudio cuidadoso de los errores originados en el procedimiento experimental de medida, se observa claramente que la frecuencia mas baja presente se encuentra en el intervalo 110-120 Hz. Este valor está muy alejado y por debajo de aquel que corresponde a las ondas estacionarias en el tubo abierto/cerrado; 271 Hz.

3. Conclusión

Tradicionalmente se han vinculado las frecuencias de los sonidos originados por los instrumentos musicales de viento a las ondas estacionarias en tubos abierto/abierto o abierto/cerrado.

Para flautas, fagotes, clarinetes, tubos de órgano y otros instrumentos de viento, los resultados experimentales se aproximan mucho a las previsiones teóricas correspondientes a ese enfoque.

Nos encontramos sin embargo que cierto «instrumento de viento», la botella, presenta un comportamiento acústico que se aparta significativamente de esa teoría.

Se generan en la botella sonidos de longitudes de onda mucho mayores, frecuencias mucho mas bajas, que las que prevé el clásico enfoque analítico/geométrico asociado a las ondas estacionarias en un tubo abierto cerrado.

Claramente, debemos buscar otra explicación para el fenómeno: Debemos modelarlo de otra manera.

En el próximo número de nuestra Revista expondremos la forma en la cual debe analizarse este problema de forma de encontrar un fundamento teórico que justifique la presencia de inesperadas bajas frecuencias en el sonido de la botella.

Reseña de Libros II

Prof. Mario Román Guerra Zabala

Título: «Elementary Statistical Physics»

Autor: Charles Kittel; **Idioma:** Inglés; **Editorial:** Dover Books on Physics; **Edición:** 1986

Esta es una lectura de enorme importancia, que difiere en varios aspectos fundamentales de la conocida «Física Térmica» del mismo autor y que fuera traducida a la lengua española por Reverté S.A.

Este libro, que requerirá indudablemente una lectura atenta, dada la naturaleza de sus temas y la versión austera que presenta el autor, estimamos que ha de contribuir en forma decisiva a la buena fundamentación conceptual de aspectos esenciales del mundo físico (los Principios de la Mecánica Estadística y sus derivaciones hacia la Termodinámica; la Mecánica Cuántica aplicada a la Física Estadística, la Teoría de ruidos, fluctuaciones y aspectos introductorios de los procesos termodinámicos irreversibles,...). Así se desarrollan temas de importancia con rigurosidad y precisión, tales como el «movimiento browniano», las «temperaturas negativas», la energía magnética, ..., entre otros.

En 228 páginas, el autor logra desarrollar un conjunto de aspectos teóricos, que definen una *base segura y esencial* de conocimientos para el lector que incursione en estos amplios y fundamentales campos de la Física, desde un ángulo moderno de exposición. Es necesario realizar una advertencia: la lectura exige conocimientos firmes y claros de Probabilidad y Estadística, Álgebra de operadores, Termodinámica Macroscópica, ..., entre otros aspectos. No se trata en consecuencia de una «primera lectura introductoria», como parece sugerir el título de la obra.

Para el desarrollo de los temas fundamentales, Kittel apela a los conjuntos canónicos de Gibbs y posteriormente incursiona en las estadísticas fundamentales de fermiones (para «entidades cuánticas» que se ajustan al Principio de Exclusión de Pauli) y bosones («entidades cuánticas» que no se ajustan al Principio de Exclusión de Pauli).

Si bien es una lectura, como ya indicáramos, que requiere atención y esfuerzo por parte del lector, el incursionar en ella es de enormes beneficios posteriores.

...

LAS TIC EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

El visionado de dibujos animados: una alternativa didáctica

Gabriela Tomás¹, Rossana Azar²

¹ Prof. Didáctica IPA, CERP-Este y Semipresencial; gabytomas60@hotmail.com

² Prof. Enseñanza Secundaria; mazar@netgate.com.uy

Agradecemos a la revista "Quehacer Educativo" de la Federación Uruguaya de Magisterio, el permitirnos compartir la publicación de este trabajo.

Resumen

En este artículo se describe una actividad, que si bien fue dirigida y propuesta a alumnos de tercer año de Ciclo Básico, creemos que perfectamente podría ser presentada con las adaptaciones pertinentes, a alumnos de cualquier nivel de la Enseñanza Media. La misma recoge los aportes y sugerencias que la Didáctica de la Física ha realizado en los últimos años, en relación a para qué y cómo incorporar las TIC (Tecnologías de Información y Comunicación) en la enseñanza. Clases más centradas en los alumnos, el desarrollo de estrategias metacognitivas y de autorregulación, son el eje de la propuesta.

Palabras clave:

TIC, estrategias de aprendizaje, metacognición, autorregulación.

A. Las ideas-guía que configuraron la experiencia

A.1 Las nuevas tecnologías y la educación

La progresiva aplicación del Plan Ceibal en los diferentes subsistemas de la Educación Pública de nuestro país, nos interpela acerca de ¿para qué incluir la computadora en el aula? Creemos que la respuesta es sencilla, para aprender más y mejor, pues la computadora es varias herramientas a la vez y por lo tanto permite ensayar diferentes destrezas al mismo tiempo.

Tener a nuestra disposición la mayor cantidad de recursos TIC posible, redundante siempre en más medios para que los alumnos aprendan. A pesar de esto, no hay unanimidad en la comunidad educativa acerca de cuál sería la forma más adecuada de integrar las TIC al currículo; por el contrario, este aspecto es tema de debate en la actualidad.

A la hora de decidir cómo integrar las nuevas tecnologías a nuestras clases debemos tener presente que toda modalidad de integración curricular de las TIC se sustenta en un determinado modelo didáctico-pedagógico. Aquí la acción del docente es central, pues es quien decidirá, de acuerdo a los objetivos pedagógicos que se proponga y a las estrategias que seleccione, cómo implementar cada modalidad.

En el marco de las llamadas "Pedagogías Críticas", el docente se visualiza como un intelectual transformador y los espacios educativos como espacios de transformación. Michael W.Apple (1996) habla, más allá de la educación como instrucción, de alfabetización crítica. En este sentido, las TIC brindan una oportunidad ideal para gestionar actividades y consignas que se correspondan con una interpretación constructivista del aprendizaje, promoviendo el pensamiento crítico y el trabajo colaborativo; esto último en el entendido de que los alumnos serán más responsables de su propio aprendizaje en la medida en que busquen, encuentren, sintetizen y compartan su conocimiento con otros.

La interacción con la computadora a nivel educativo debe permitir transformar una actitud de aceptación y consumo de información, en una actitud reflexiva y crítica ante la misma, que permita discernir entre qué aceptar y qué rechazar. Para ello es importante que el uso del nuevo recurso esté presente en la planificación de nuestra actividad, poniendo de manifiesto la intencionalidad didáctico-pedagógica que subyace en su utilización, a través de una reflexión sobre su integración curricular.

El uso de la tecnología no debe limitarse a actividades de repetición y práctica. Utilizar las TIC con fines de comunicación, acceso a la información, colaboración y expresión, facilita el pasaje de una enseñanza centrada mayormente en el docente, hacia otra más centrada en el aprendizaje del alumno. De este modo el rol del profesor pasa a ser de orientador y participante del proceso de aprendizaje junto con el alumno.

En la actividad que se relatará, las TIC fueron valoradas como una herramienta privilegiada para promover una buena calidad de pensamiento en nuestros alumnos: creativo, crítico y, en especial, metacognitivo.

A.2 Estrategias de Aprendizaje. Metacognición y autorregulación

Quienes nos desempeñamos como docentes sabemos que existen muchas diferencias en la calidad y la cantidad de los aprendizajes que logran nuestros alumnos. Pero, ¿qué distingue a los buenos estudiantes de aquellos que consideramos no tan buenos? .Si bien esta pregunta admite más de una respuesta, está demostrado que es clave la cantidad y la calidad de las estrategias que ponen en juego cuando aprenden.

En este sentido, se han constatado en las actuaciones de los buenos alumnos, las siguientes características comunes (Varela e Ivanchuk, 2010):

1. Reflexionan conscientemente sobre el objetivo de la tarea.
2. Planifican qué van a hacer y cómo.
3. Realizan la actividad.
4. Evalúan su desempeño.
5. Acumulan conocimiento acerca de en qué situaciones pueden volver a usar una determinada estrategia, cómo usarla y cuáles son sus ventajas.

Un alumno emplea una estrategia cuando es capaz de ajustar su comportamiento a las exigencias de la tarea y a las circunstancias en que se produce. Puede entenderse por "estrategia de aprendizaje" el proceso por el cual el alumno elige, coordina y aplica los procedimientos para conseguir un fin relacionado con el aprendizaje, incluida la capacidad para evaluar la tarea, esto es, la capacidad para determinar la mejor forma de realizar y

monitorear el trabajo realizado (Varela e Ivanchuk, 2010). Para que esto último sea posible es preciso que exista metacognición.

En este aspecto nos detendremos. ¿Qué debemos entender por metacognición?. Este concepto surgió en la década del 70, a partir de investigaciones sobre el proceso de mejora continua de las capacidades y conocimientos que manifiestan los alumnos al desarrollar tareas de aprendizaje. Esta mejora se realiza a través de dos conocimientos metacognitivos (Guerra, García, 2003): el conocimiento sobre nuestros procesos cognitivos (conocimiento declarativo) y la regulación de los mismos (conocimiento procedimental). El término regulación es sinónimo de adecuación y cuando la realiza quien aprende se habla de autorregulación.

El primero es un conocimiento que permite reconocer y expresar lo que se sabe, lo que se entiende, lo que está claro o confuso, la tarea o conocimiento que resulta más difícil de aprender, solucionar o recordar (Ibid.). Este conocimiento lo manifiestan nuestros alumnos, por ejemplo, cuando leen un texto de Física y logran monitorear su comprensión identificando aquello que la puede obstaculizar. De esta manera logran pasar de expresar "no entendí nada" a expresar "esta frase es la que no entiendo".

El segundo, la regulación de los procesos cognitivos, requiere de un conocimiento que permita "salir" de las dificultades detectadas. Siguiendo con nuestro ejemplo, este conocimiento refiere a cómo culminar con éxito la lectura de un texto. Buscar el significado de un término, dejarlo de lado por no ser significativo para la comprensión global del texto, revisar la orientación dada por el profesor previo a la lectura, pedir ayuda específica sobre determinado punto del texto, son acciones que inician quienes lo poseen.

Este conocimiento es el que permite extraer las ideas y ejemplos más significativos de un texto de Física. El aprendizaje de este conocimiento permite al docente salir del rol de informante y asumir el de orientador del proceso que realiza cada alumno, al construir los significados de la nueva información.

Ambos constituyen un metaconocimiento pues implica pensar sobre los pensamientos, conocer los propios procesos, tomar conciencia de nuestra forma de aprender, reconocer nuestras fortalezas y debilidades. Para que esto se logre, se debe desarrollar la capacidad de hacer un seguimiento del trabajo propio y de evaluarlo para detectar posibles fallos. Es decir, se debe ser capaz de pedir ayuda en relación a lo que se necesita para resolver exitosamente una determinada actividad, y así, poder ajustar el comportamiento a las exigencias de la misma.

Este conocimiento es el que configura las estrategias que requieren las actividades de aprendizaje. Dichas estrategias no surgen espontáneamente sino que precisan de una enseñanza intencionada y paralela a la del conocimiento físico. Pensar en un problema abierto, por ejemplo, constituye un excelente contexto para construir el conocimiento que integra las estrategias metacognitivas y autorregulatorias. El mismo requiere de modelizar el fenómeno, formular una hipótesis, planificar un procedimiento, realizar mediciones y cálculos, analizar resultados y, por último, revisar la lógica del procedimiento realizado. Estas actividades necesitan estrategias diferenciadas: estrategias de planificación (anticipándose a posibles dificultades y

buscando formas de superarlas), de control (monitoreando el desarrollo de la tarea mediante revisiones y rectificaciones sobre la marcha) y, finalmente, de evaluación de resultados y estrategias utilizadas (Guerra, 2003, cita a Brown, 1987). Las mismas deberían ser enseñadas en instancias específicas, pues nadie valora una herramienta hasta que ésta se vuelve necesaria.

Pero ¿cómo enseñarlas?. Como todo proceso, en primera instancia, mostrándolo haciéndolo público por parte de quien ya lo domina (otros alumnos o el propio docente). La lógica a instalar es que las intervenciones en clase exhiban "procesos" y no sólo "productos" del pensamiento. Saber que existen y ponerlas en práctica de un modo reflexivo y reiterado permitirá su aprendizaje.

A.3 La relevancia de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias

Las destrezas metacognitivas son especialmente relevantes en el aprendizaje de las ciencias. Las concepciones epistemológicas que los alumnos poseen sobre el contenido científico y el aprendizaje de las ciencias, están relacionadas con su conocimiento acerca de su propio conocimiento (Campanario; Otero, 2000, cita a Esler y Esler, 1985 y Carter y Simpson, 1978). En otras palabras, los resultados del aprendizaje dependen en gran medida de un componente adicional del metaconocimiento: el conocimiento acerca de la naturaleza de la ciencia, en interacción con el conocimiento sobre el propio conocimiento y las capacidades cognitivas propias.

Partiendo del supuesto de que muchas veces los alumnos ignoran que tienen ideas previas equivocadas sobre los contenidos que estudian, o que los procedimientos de razonamiento que desarrollan en el aprendizaje de las ciencias no son adecuados, estos autores destacan la necesidad de que los alumnos tomen conciencia de sus concepciones epistemológicas erróneas y de que las mismas dificultan su aprendizaje (Campanario; Otero, 2000 citando a Novak y Gowin, 1988 y Gaskell, 1992).

Como indica Baker (1991, citado por Campanario; Otero, 2000), si los alumnos no son conscientes de que mantienen concepciones erróneas sobre los contenidos científicos, es difícil que tomen alguna postura para clarificar su comprensión. En este sentido es importante que el que aprende, disponga de un repertorio de estrategias adecuadas de control de la comprensión, que le permitan detectar fallos en su estado actual de comprensión. Una estrategia básica de aprendizaje, como primer paso para poder formular una pregunta o reconocer una duda, es formular las dificultades como problemas.

B. Propósitos de la experiencia

Lo anteriormente expuesto nos motivó a diseñar una actividad, aplicable al trabajo de aula, que tuviera como objetivo expreso lograr un aprendizaje significativo con interpretación constructivista. Esto es, una actividad que tuviera en cuenta que el conocimiento resulta de la actividad del aprendiz, que se construye, o mejor aún, se co-construye.

Si bien la enseñanza debe individualizarse, en el sentido de permitir a cada alumno trabajar con independencia y a su propio ritmo, era necesario promo-

ver la colaboración y el trabajo grupal, ya que éste posibilitaría establecer mejores relaciones entre los alumnos y, de este modo, generar una mayor motivación para realizar la actividad.

A través de ella debíamos retar a los alumnos a reflexionar y tomar decisiones, de manera que tuvieran la posibilidad de autorregularse. Pensamos en una actividad en la cual el planteo de un problema abierto, iniciara la interacción con la computadora e implicara, al tener que delimitar un fenómeno y construir un modelo para el mismo, tomar una serie de decisiones. Esto requeriría definir variables relevantes, reconocer un marco teórico a utilizar, conduciendo finalmente, a la búsqueda de estrategias para medir o estimar el valor de las variables seleccionadas. Todo el proceso tendría como paso inevitable el error (Bachelard, 1979), por lo que nuestra mediación debía permitir que los alumnos pudieran reconocerlos y revisarlos.

El problema debía ser presentado en un contexto específico de modo que la situación resultara significativa para los estudiantes y se pudiera generar un debate productivo. Nuestra tarea estaría centrada en cómo facilitar la comunicación y permitir que los estudiantes pudieran exponer sus opiniones y experiencias.

La pregunta disparadora debía ser original y amplia para que a priori los estudiantes no tuvieran la respuesta, sino que por el contrario, provocara el inicio de un proceso de búsqueda colectiva de caminos alternativos para la elaboración de la respuesta buscada.

De esta forma, una de nuestras inquietudes al desarrollar la actividad, fue intervenir para disminuir la tensión que genera la falta de certezas, ofreciendo consignas que promovieran pensar en colectivo y revisar notas y apuntes de clase. Sabíamos que los resultados de la actividad no estarían condicionados por el uso de la computadora, por las potencialidades de los alumnos o por nuestras propias posibilidades como docentes, sino por la interacción armoniosa de todos estos elementos constituidos en un "ambiente" de aprendizaje.

Intentábamos contribuir a que la computadora fuera reconocida y utilizada no sólo con fines recreativos o de intercambio social, sino como un instrumento para aprender. Insertos en una cultura en la que la computadora presenta el estatus de recurso "privilegiado", resultaba valioso utilizarla como tal para aprender Física de un modo significativo y con una finalidad educativa definida.

C. Relato de la experiencia

La experiencia se realizó con alumnos de tercer año de Ciclo Básico en relación al aprendizaje de los principios del movimiento de Newton. Previo a la actividad se realizó un proceso que se inició con lecturas en el libro de texto e interacciones en la clase, donde en forma colaborativa se promovió la construcción de los significados de estos principios. Primero se abordó el tercer principio y, a posteriori, el primer y segundo, en ese orden. El análisis se centró en las situaciones y ejemplos que ofrecían los textos y en aquellas que los propios alumnos fueron aportando como parte del proceso.

La posibilidad de utilizar las TIC se valoró como un recurso para continuar el proceso iniciado, en el entendido que el conocimiento físico presenta difi-

cultades propias para quien lo pretende aprender o enseñar. Las mismas aparecen independientemente del compromiso y las posibilidades de quienes se encuentren en una u otra condición. Son dificultades y errores que tienen cierto grado de correspondencia con los que surgieron en el origen y evolución de este conocimiento. En decir, en el largo proceso histórico, en general, en que éstos fueron progresivamente construyéndose.

Con estas inquietudes, tomamos la decisión de continuar el proceso a través de una actividad de visionado de capítulos de la serie "El Coyote y el Correcaminos". La decisión de trabajar con esta serie se debió a reconocer, en sus escenas, una diversidad de situaciones que no siempre admitían ser descriptas e interpretadas a través de los principios de Newton; esto ofrecía una muy buena oportunidad para debatir en torno a si en el mundo de los dibujitos animados se cumplía la "Mecánica Newtoniana".

Durante la actividad del visionado los alumnos debían:

1. Tomar decisiones y seleccionar escenas en las que los movimientos de los personajes u objetos no parezcan "reales", constituyéndose las mismas en un problema.
2. Poner en juego los significados de los principios de Newton, considerados en proceso de construcción, para modelizar las escenas seleccionadas y así lograr describir e interpretar las mismas.
3. Integrar a la actividad las variables físicas que consideraran pertinentes, realizando mediciones y/o estimaciones que les permitieran profundizar en el análisis e incorporar cálculos al mismo.
4. Planificar en forma escrita la presentación oral de sus explicaciones.
5. Revisar la veracidad de sus afirmaciones y sus posibles cambios, atendiendo las orientaciones y sugerencias recibidas, a partir de sus exposiciones, de todo el grupo y las docentes.
6. Entregar un documento escrito y final donde expresen sus conclusiones en torno al proceso seguido, los cambios introducidos en las primeras explicaciones, valorando su propio progreso (autoevaluación y autorregulación de sus procesos de aprendizaje).

Con estas orientaciones, los alumnos comenzaron capturando imágenes de las escenas seleccionadas. Para ello optaron por pausar el video y, oprimiendo la tecla Impr. Pant. O PrtSc, obtuvieron un registro instantáneo de lo que exhibía la pantalla de la computadora, en cada oportunidad. El reproductor utilizado fue el Real Player.

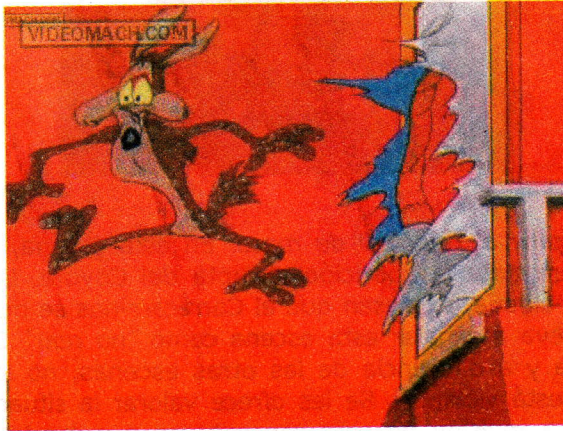
La riqueza de imágenes posibles de seleccionar para trabajar el primer y tercer principio (que se trabajaron previo al segundo principio), permitió que cada integrante de los diferentes grupos, tuviera la posibilidad de explicar una de las escenas seleccionadas en forma oral, acompañando sus explicaciones con la imagen registrada; de acuerdo a lo pautado, dichas exposiciones fueron previamente planificadas por escrito y entregadas al momento de la presentación.

A través de las exposiciones, fueron apareciendo aciertos y errores, poniendo en evidencia cómo los significados de estos principios estaban en un proceso de construcción coexistiendo con explicaciones que iban en otro sentido. La intervención promovió que todos pudieran reconocer las

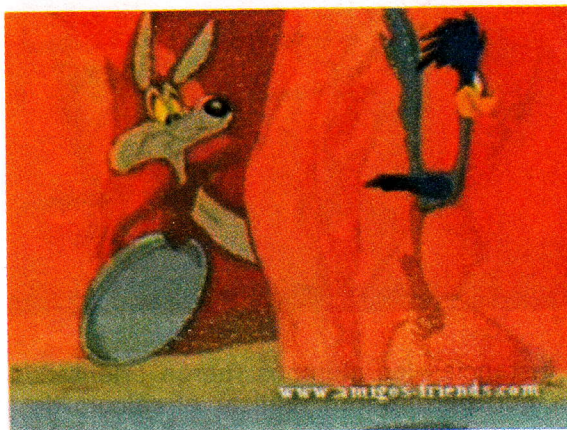
divergencias entre las explicaciones "newtonianas" y sus explicaciones, en los casos que correspondía.

C.1 Algunas de las escenas seleccionadas por los alumnos y sus argumentos

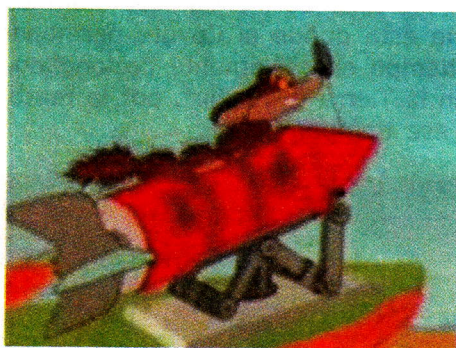
Primer principio: *el principio de inercia.* Los alumnos lograron identificar muchas escenas como ésta donde el Coyote permanece suspendido en el aire, en reposo, un tiempo excesivamente prolongado. Esto ocurría, a pesar de interactuar con la Tierra y "recibir", por lo tanto, una fuerza externa y desequilibrada, en ese tiempo.



Tercer principio: *el principio de acción y reacción.* Al observar el movimiento del Correcaminos encuentran que éste, al iniciar su carrera, primero se eleva del suelo en dirección vertical y sentido hacia arriba. Luego, agitando sus pies en el aire, comienza su movimiento en dirección horizontal. La elevación la reconocen como resultado de una interacción con el piso, a través de la cual ambos, Correcaminos y piso, se aplican fuerzas de igual intensidad y dirección pero, de sentido opuesto. Sin embargo observan que una vez en el aire, el Correcaminos, no podría iniciar su movimiento horizontal. Para ello, necesitaría recibir una fuerza en esa dirección, resultado de una interacción con el piso. La misma es imposible, por la falta de contacto con éste.



Hubo escenas y escenas. La siguiente, por ejemplo, fue seleccionada por la mayoría de los grupos y con acierto. Los alumnos manifestaron que violaba el tercer principio pues, el pequeño cohete, Coyote incluido, un instante después asciende en dirección vertical y hacia arriba, a pesar de expulsar gases en dirección paralela al piso y "hacia atrás".



Segundo principio: *el principio de masa.* En esta escena, el Correcaminos detiene su carrera ante la aparición abrupta del Coyote. Los alumnos, sin realizar medición alguna, expresan que el Correcaminos se detiene "muy rápido", lo que los lleva a señalar esta escena como "no real". Sin embargo, en primera instancia y a diferencia de las otras escenas, no logran identificar qué principio se está violando. Se les ofrece valorar la situación en términos de aceleración. La revisión de este concepto en sus cuadernos lleva a que sus expresiones se aproximen más a cambio de velocidad en un tiempo muy breve y a pensar que la aceleración que experimenta el Correcaminos es muy grande. Pero ¿qué tan grande es?. ¿Comparada con qué?. Además, si efectivamente la aceleración era "muy grande", ¿qué la provocaba?. Instalada estas interrogantes apareció en escena el segundo principio, y con él, la causa de esa aceleración: la fuerza de fricción resultado de la interacción de los pies del Correcaminos con el piso. ¿Cuán grande podía ser ésta?.



Llegado a estas instancias los alumnos fueron orientados para medir y/o estimar variables que permitieran realizar el cálculo de la fuerza "neta"

aplicada sobre el Correcaminos y compararla con su propio peso. La búsqueda en la red les permitió encontrar la masa y altura promedio de esta ave en la realidad. A partir de su altura pudieron establecer una escala que les permitiera corresponder los desplazamientos del personaje en el video con desplazamientos reales. El tiempo en que ocurrían esos desplazamientos los obtuvieron a través del cronómetro del propio reproductor Real Player, determinando así, la velocidad inicial. Otros para medir el tiempo recurrieron al programa Windows Movie Maker. La misma estrategia utilizaron para determinar el tiempo de frenado, el cual algunos alumnos lo estimaron de un orden decimal inferior a la apreciación del cronómetro del reproductor Real Player (0,01 segundo). La actividad jerarquizó el proceso, promoviendo que los alumnos tomaran decisiones y reflexionaran sobre los resultados que iban obteniendo. A continuación, se presenta una de las producciones de uno de los grupos.

C.2 La producción de uno de los grupos con sus aciertos y aspectos a revisar (transcripción).

"Sin duda, en esta escena se pone en cuestión la capacidad del habilidoso Correcaminos, no sólo de alcanzar enormes velocidades, sino de poder frenar perfectamente. Es por ello que realizamos un análisis para comprobar que sus "mágicas habilidades" son totalmente ficticias.

Lo primero que hicimos fue buscar en la web, la altura del Correcaminos real, y encontramos en www.deserrusa.com/road.html que medía 12 pulgadas (30 cm) y pesaba 11 onzas (300g). Sabiendo su altura real, realizamos una escala con las imágenes de la foto, para calcular la distancia del tramo en que llega a frenar ante el obstáculo del Coyote:

Medida real: 30 cm 7,5 cm — 30 cm

Medida en la foto: 7,5 cm 1,0 cm — 4,0 cm

Así, averiguamos que cada 1 cm en la foto, se estaban representando 4 cm en la realidad. Esto nos sirvió para calcular la distancia (la cual previamente viendo el video, habíamos dividido en dos: el tramo en que se mantenía a velocidad constante, que eran 0,16 segundos y el tramo en que desaceleraba 0,001 s).

De esta manera, calculamos la distancia que recorría el Correcaminos en la realidad, manteniéndose a velocidad constante.

1,0 cm — 4,0 cm

3,5 cm — 14 cm

A través de este procedimiento, obtuvimos la distancia, con la distancia podríamos calcular la velocidad, si halláramos también el tiempo. Éste, ya lo habíamos calculado; era de 0,16 segundos. Pero, como dijimos antes, lo dividimos (a través de un programa llamado Windows Movie Maker) en: el tiempo que se mantenía a velocidad constante y el tiempo en que demora en frenar. Tomando el tiempo en que está a velocidad constante (0,16 s) hallamos la velocidad:

$$v = \Delta x / \Delta t = 0,14 \text{ m} / 0,16 \text{ s} = 0,87 \text{ m/s}$$

Una vez que obtuvimos la velocidad y el tiempo, calculamos su aceleración:

$$a = \Delta v / \Delta t = v_f - v_0 / t_f - t_0 = 0 - 0,87 \text{ m/s} / (0,001 - 0) \text{ s} = - 870 \text{ m/s}^2$$

Al obtener la aceleración y la masa, fue posible calcular la fuerza neta aplicada sobre el Correcaminos.

$$F_{\text{NETA}} = m \times a$$

$$F_{\text{NETA}} = m \times a = 0,300 \text{ kg} \times 870 \text{ m/s}^2 = 261 \text{ Newton}$$

Luego de hallar todos estos datos, pudimos verificar que la película, o al menos esta escena es ficticia, ya que es completamente imposible que una simple ave como la de la última imagen adquiera (sin la ayuda de ninguna fuerza externa) una aceleración de 870 m/s^2 , ni una fuerza de 261 N (87 veces mayor que su peso).

C.3 La actividad de autorregulación realizada

A todos los grupos, en una instancia posterior a sus presentaciones orales y a los intercambios y debates que se generaron en torno a éstas, se les planteó que revisaran sus "primeras" explicaciones sobre las escenas seleccionadas. Se les solicitó que lo realizaran por escrito y lo hicieran de modo que se pudiera apreciar los errores que habían cometido, qué los había llevado a cometerlos y cómo concebían ahora la respuesta correcta.

De este modo, se hizo explícito ante los alumnos, que la actividad iba a ser evaluada en términos de progreso. La misma ofrecía la oportunidad de corregir y mejorar las primeras explicaciones ofrecidas, para que pudieran apreciar claramente sus avances y, a su vez, algunas de las dificultades que habían encontrado en el proceso.

Esto generó revisiones por parte de los alumnos, como la que a continuación se presenta. Un grupo había seleccionado una de las clásicas escenas de la serie, donde el Coyote impacta contra una roca y experimenta una deformación que lo hace ver "plano". Según su criterio, exhibía una aparente violación del tercer principio. El Coyote en lugar de rebotar por la fuerza de reacción aplicada por la roca, permanecía "plano" y "pegado" a ella. El concepto de fuerza con que se pensaba la situación, asociaba la misma a cambios de movimiento pero no a posibles y simultáneas deformaciones.

Transcripción del trabajo del grupo:

"De acuerdo con el oral trabajado en clase nuestro equipo presentó diferentes figuras fundamentando porqué éstas no cumplían con las leyes de Newton.

En esta imagen que elegimos, pensamos que no cumplía la tercera ley de Newton ya que ésta dice que si su cuerpo le ejerce una fuerza a otro, éste le ejercerá una fuerza igual y opuesta (igual intensidad y dirección pero diferente sentido).

En la imagen el Coyote venía volando y de pronto choca con una roca, quedando pegado a ella. Nosotras a partir de esto concluimos que no se cumplía esta ley ya que, si se cumpliera, el Coyote tendría que haber sido impulsado hacia atrás, no quedando pegado a la roca.

Al reflexionar junto al grupo, nos dimos cuenta que esta ley sí se cumple, ya que en realidad sí se encontraba presente el principio de acción y reacción, pero en vez de rebotar contra la roca, ella (lo) aplanaba y deformaba al Coyote".

D. A modo de cierre

La experiencia relatada además de corresponderse con las inquietudes ya manifestadas, respondió a las orientaciones exhibidas en el programa de Física vigente de este curso. El mismo prioriza "una mirada reflexiva y crítica del mundo", sugiriendo que tomemos como punto de partida de nuestra intervención "la curiosidad y el manejo de las ideas previas" de los alumnos.

La consideración de estas orientaciones son las que nos guiaron al tomar decisiones en esta actividad, sobre qué hacer con la tecnología en el aula y cómo desarrollar nuestro rol en este nuevo contexto. Para ello, el marco teórico construido por la investigación didáctica de nuestra disciplina constituyó un valioso referente, resignificado por la experiencia propia.

Al revisar y analizar la actividad implementada al ser objeto de evocación y relato, rescatamos la satisfacción que generó en todos los participantes, docentes y alumnos, surgida de la posibilidad de autorregular procesos de enseñanza y aprendizaje respectivamente.

Bibliografía

- APPLE, Michael W. (1996) ***El conocimiento oficial. La educación democrática en una era conservadora***. Buenos Aires: Ed. Paidós. Colección Temas de Educación.
- BACHELARD, G. (1979) ***La formación del espíritu científico. Contribución a un psicoanálisis del conocimiento objetivo***. México: Siglo XXI Editores.
- CAMPANARIO, J.; OTERO, J. (2000) ***Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencia***. Revista Enseñanza de las Ciencias. 2000, 18 (2), 155-169. En línea: <http://ddd.uab.es/pub/edlc/02124521v18n2p155.pdf>
- FLÓREZ OCHOA, R. (2000) ***Autorregulación, metacognición y evaluación***. Universidad de Antioquia. Colombia. Revista Acción Pedagógica. Vol.9, No. 1 y 2. En línea: http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/16994/3/art1_12v9.pdf
- GUERRA GARCIA, J. (2003) ***Metacognición: Definición y Enfoques Teóricos que la Explican***. Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Electrónica de Psicología Iztacala. Vol. 6 No. 2 .Junio de 2003. En línea: <http://www.iztacala.unam.mx/carreras/psicologia/psiclin/vol6num2/Metacognicion.html>
- SANMARTÍ, N. (2008) ***10 ideas clave. Evaluar para aprender***. España: Grao. Colección Ideas clave, Nº 10.
- UNESCO (2005) ***Las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza. Manual para docentes***. Cómo crear nuevos entornos de aprendizaje abierto por medio de las TIC. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. . Edición en español - Montevideo: Ed. Trilce (ISBN 9974-32-350-9). En línea: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129533s.pdf>
- UNESCO (2004) ***Las tecnologías de la información y la comunicación en la formación docente. Guía de planificación***. Organización de las Na-

EDUCACIÓN en FÍSICA

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay

Volumen 8, Numero 1

Setiembre, 2011

CONTENIDO

EDITORIAL	3
COMENTARIOS SOBRE EL TRABAJO DE LAS FUERZAS APLICADAS EN SÓLIDOS REALES <i>Ismael Núñez</i>	5
RESEÑA DE LIBROS I <i>Mario Román Guerra Zabala</i>	16
DINOSAURIOS SAURÓPODOS: El problema de los cuellos largos <i>Martín Ghizzoni</i>	17
ENTREVISTA al Dr. MARCELO BARREIRO <i>Prof. Marta Marroig</i>	25
LAS OLIMPIADAS IBEROAMERICANAS DE FÍSICA: un desafío para todos <i>Andrea Cabot, Arturo C. Martí, Raquel Pesce</i>	37
APLICACIÓN DEL MODELO DE LAS CARGAS MAGNÉTICAS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA COMPONENTE HORIZONTAL DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA <i>Álvaro Suárez</i>	45
RECOMENDACIÓN WEB	56
RESOLUCIÓN A SITUACIONES PROBLEMÁTICAS EN FÍSICA (I) <i>Carlos Zamalvide</i>	57
SITUACIONES PROBLEMÁTICAS EN FÍSICA (II) <i>Carlos Zamalvide, Mauricio Rodríguez</i>	65
RESEÑA DE LIBROS II <i>Mario Román Guerra Zabala</i>	68
LAS TIC EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA El visionado de dibujos animados: una alternativa didáctica <i>Gabriela Tomás, Rossana Azar</i>	69