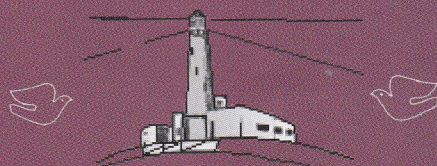


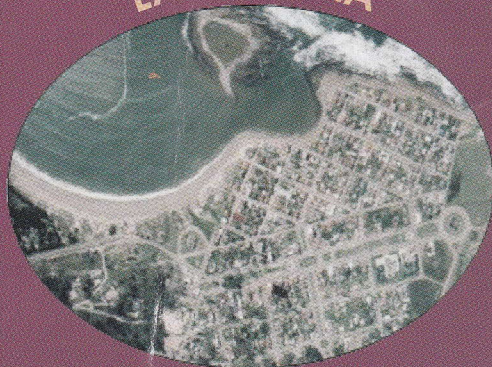
EDUCACIÓN en FÍSICA

ISSN: 0797-9045

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay



LA PALOMA



XVIII Encuentro Nacional de Profesores de Física

Asociación de
Profesores
de Física



del Uruguay

EDUCACIÓN EN FÍSICA

Volumen 7 N° 5

Setiembre 2007

Depósito Legal:

299222/07

Redactor Responsable:

Sandry Ramírez

Consejo de Redacción:

Pablo García

Alejandro Villamil

Cecilia Cabeza

Ismael Núñez

Guzmán Trinidad

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

Comisión Directiva de A.P.F.U:

Pablo García

Alejandra Delgado

Patricia Irigaray

Mauricio Rodríguez

Diego Viera

Milko Prado

Dirección de la Revista:

Gaboto 1435 / Of. 002

Montevideo CP 11200

Telefax: (598 2) 400 1258

E-mail: revistaapfu@gmail.com

apfu@adinet.com.uy

Publica: Ediciones IDEAS

Mercedes 1786

11200 Montevideo-Uruguay

Telefax: 408 6985

E-mail: edideas@adinet.com.uy

MEC: Ed. amparada por Decreto 218/996



Portada:

Composición libre en base al
afiche inédito del Congreso.

EDITORIAL

Estimados colegas, lectores y amigos, segunda oportunidad este año para encontrarnos en estas páginas gracias a quienes colaboran en las diversas tareas que implica el llevar adelante una publicación como la nuestra y a quienes aportan artículos, novedades, materiales varios para las secciones fijas, avisos, etc incluso requisitorias de temas a tratar, chistes adaptados, ideas para la confección de la tapa entre otras.

Podemos decir que estamos reemprendiendo el camino que hace un tiempo nos propusimos, llegar a Uds. más frecuentemente, volviendo paulatinamente a una época más prolifera en ideas y materiales elaborados por nuestros profesores, colegas de otras latitudes y longitudes, así como también de profesionales universitarios preocupados por difundir y/o «desmitificar» los temas de ciencias; valorando en forma especial los aportes que vienen haciendo estudiantes de nuestra disciplina. No todos los aportes se incluyen, no todos «se ven», pero son importantes en igual modo que aquellos que si se publican, pues con ambos siempre se construye.

Cumpliremos con todos aquellos que han enviado material y por un motivo u otro no se les ha enviado aún una respuesta; a su vez les pedimos a ellos y a todos que sigan enviándonos pues nos es fundamental para construir entre todos una mejor «forma» de enseñar ciencias y en particular Física.

En nuestro país se están produciendo cambios en lo que respecta a planes y programas, algunos deseados desde largo tiempo. Muchos de los profesores, que en este momento vivencian en el aula la aplicación de estas nuevas orientaciones, están trabajando en la elaboración de distintos materiales que permitan un mejor desarrollo de nuestra labor docente; y desde aquí nos gustaría difundirlos, poner en contacto esa diversidad, mancomunar el esfuerzo y generar una vía más de comunicación de resultados, de nivel de aplicabilidad y de todo lo que pueda hacer de la experiencia en aula, un insumo fundamental que «atterrice» el ideal deseado con el factible de realizar.

Codo a codo en la distancia o en la cercanía nos «vemos» en clase. Hasta nuestro próximo encuentro y que la Física los acompañe.

Prof. Sandry Ramírez
Redactor Responsable

CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN

Siempre me pregunté qué es, cuán cerca se está o qué mitos existen al respecto de una teoría de «*el campo unificado*» (¿?); a su vez dejé «*para más adelante*» el estudio de una forma relativamente simple de estudiar el efecto Doppler en las clases prácticas, pues más de una vez choqué con una parte referida a la electrónica y me frenaba porque no tenía demasiado tiempo para dedicarle, por otra parte trataba de lograr que mis alumnos realizaran «*buenos*» informes de las actividades prácticas.

Bien, creo que lo presente es una forma no muy elegante de referirnos a la presente edición, pero resume de cierta forma su contenido.

Lo cierto es que la temática abordada aporta visiones referentes a la búsqueda de una Teoría del Campo Unificado o tal vez a los aportes que esa y otras búsquedas hacen a la comprensión del mundo y también propuestas de formas de trabajar en nuestros cursos prácticos, complementada por la información técnico-práctica de electrónica y efecto Doppler.

Bienvenidas serán opiniones y aportes al respecto de lo que en la presente se expone y propone.

CÓMO ENVIAR SUS TRABAJOS

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

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

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

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

Esperamos sus trabajos, consejos, críticas y sugerencias en:

La dirección de A.P.F.U.:

apfu@adinet.com.uy

La dirección de la revista:

revistaapfu@gmail.com

Los informes de Prácticos de 2do. Ciclo presentados como artículos científicos

Pedro Caramán^{*} - Alejandro Parrella^{**}

Buscando alternativas para que los informes de práctico sean una herramienta para que el alumno logre un mejor aprendizaje de la actividad experimental, adoptamos algunas ideas de parte de la comunidad científica a nuestras clases de 2do ciclo. Mostramos aquí los resultados.

En los cursos de ciencias, el trabajo en el laboratorio es imprescindible. Al respecto la APFU, en su documento 2 expresa: *«Es allí donde se produce la interacción de lo conceptual y su verificación práctica, con lo cual se genera la confianza en los resultados de la aplicación de un método que derivará en la autoconfianza. Esta autoconfianza genera la capacidad de aplicación de los modelos y eventualmente el desecharlo para proponer otro cuando no satisfaga los conceptos que quiere explicar»*. Con respecto a los informes de práctico, indica que *«Es fundamental la comunicación creativa del trabajo experimental, tanto verbal como escrita, pues implica alcanzar un grado superior de los fenómenos estudiados»*. Más adelante agrega que *«Lograr una comunicación final adecuada de los resultados demuestra la adquisición del grado de madurez esperado en el proceso enseñanza-aprendizaje y es un paso a estructuras cognitivas más amplias»* Entonces **la calidad de la redacción, el formato y la presentación del informe de los trabajos de laboratorio no son sólo cuestiones formales. El propio proceso del armado del informe es parte del proceso de aprendizaje de los conocimientos vinculados al trabajo experimental.** En esta línea coincidimos con la idea que en los procesos de modelización, al promover la reflexión metacognitiva debe *«haber momentos de recapitulación, en los que los alum-*

*nos han de poder expresar las ideas en sus palabras y autoevaluarse»*¹. En ese sentido la redacción del informe de práctico debe convertirse en la instancia fundamental en la toma de conciencia del propio aprendizaje.

Se ha hecho costumbre, no sólo en Física, sino también en otras ciencias, presentar los informes de práctico con un formato y un esquema preestablecido, que responde a un patrón como el siguiente: Objetivo // Materiales // Fundamento Teórico // Procedimiento // Análisis de datos – Gráficos // Conclusiones.

Presentar los informes de práctico de esta forma sirvió, en un principio, para ordenar la información, pero con el tiempo comenzó a traer algunas complicaciones, que no fomentan el carácter formativo. Por ejemplo, los materiales se convierten en un mero listado descriptivo. El fundamento teórico es extraído de algún texto². El procedimiento se redacta (cuando no se esquematiza) sin demasiada vinculación con el fundamento teórico descrito en el apartado anterior. Lo que se acaba de describir, no es nuevo, y está presente en muchas conversaciones entre profesores de ciencias. Al respecto Mario Guerra expresa³ *«los informes no reflejan el aprovechamiento real de sus auto-*

^{*} Liceo Nº1 de San Carlos.
fisicamente@gmail.com

^{**} Liceo Nº1 de Maldonado.
alejandroparrella@gmail.com

¹ Sanmartí, Neus, «Los trabajos prácticos: punto de partida para aprender ciencias». Aula de innovación educativa, Nº 113.

² Donde muchas veces se escriben características del fenómeno que no son relevantes para la actividad experimental, y sólo se incluyen por el preconcepto de «cuanto más cantidad escribo, mejor».

³ Mario Guerra, «Más allá del pensamiento socrático», Revista Educación en Física, Diciembre 2001, Vol. 5 Nº 6.

res»... «Es un concepto avalado por el consenso general que no hay relación causal entre «buen informe» y buen conocimiento».

Buscando alternativas

Hace un tiempo comenzamos a solicitarle a los alumnos que los informes sobre los experimentos de laboratorio no podían entregarse en formato «esquema», sino que debían redactarse «de corrido» prescindiendo de la estructura por todos conocida. Tiempo después tomamos contacto con el libro **«Como se escribe un informe de Laboratorio»** de Ernesto Martínez, Eudeba, 2004. Este libro, si bien está dirigido a estudiantes de los primeros años de los cursos de Física de nivel universitario, maneja muchas ideas perfectamente adaptables a los cursos de enseñanza media. Si intentamos que las actividades de laboratorio de ciencias sean lo más parecidos posible al trabajo científico, debemos comunicar los resultados como lo hace un científico. Dice Martínez: «El mecanismo que han desarrollado los científicos para asegurar que lo que se descubre llegue pronto a todos, y que al mismo tiempo ese conocimiento sea creíble, es el sistema de «publicación científica»». **Entonces, planteamos a los alumnos⁴ que los Informes de práctico deben escribirse como si fueran artículos científicos a publicarse en alguna revista sobre ciencias.** Vale aclarar que las exigencias del formato «artículo» que se plantearon a los alumnos no eran todas las que propone Martínez⁵. El público objetivo es diferente, y nuestro objetivo es que **a través de la redacción de los Informes como si fuera un artículo científico, el estudiante alcance un mayor aprendizaje de la actividad práctica.**

En el final del curso experimental de 6º M, del turno diurno del Liceo de San Carlos 1, a los alumnos a los que se había indicado hacer los informes como artículos científicos, se les planteó la siguiente pregunta, que respondieron por escrito. «¿Cree que el

formato del informe le ayudó a entender mejor cada práctico?». Asistieron ese día 16 alumnos, de esos 15 lo valoraron positivamente y el restante expresó que el formato le era indiferente.

Formalizando las alternativas

Luego de las primeras experiencias con los nuevos formatos de informe, decidimos comenzar a tratar de formalizar las ideas, buscando mayor sustento teórico y registrando las actividades con mayor rigor. Al respecto de la redacción de los informes, Catalá y Vila⁶ sostienen que «*si uno tiene que contar algo tiene que organizar su pensamiento de una forma mucho más clara, debe usar el lenguaje expresado a través de palabras, dibujos o esquemas para poder explicitar aquello que haya comprendido. Es sumamente importante que permitamos una exposición simple y con su lenguaje habitual, enriquecido por el nuevo vocabulario que se haya introducido siempre de forma significativa*». Más adelante agrega «*Es necesario huir de los guiones tipo, de los esquemas prefabricados porque evitan el trabajo de síntesis y de esquematización que requiere una gran actividad mental*».

Actividades 2007

Para mostrar el modo en que se redactan los artículos científicos, decidimos llevar a clase algunos ejemplares de revistas de divulgación científica, con el fin de observar el formato que tienen los artículos allí escritos. La importancia del título, del resumen inicial como motivador de la lectura, de la utili-

⁴ Alumnos de 5to y 6to año del Liceo de San Carlos Nº1, año lectivo 2006.

⁵ En el caso del autor del libro, se propone adiestrar a sus estudiantes de Licenciatura en Física a escribir los futuros descubrimientos científicos, por lo que el rigor con el que exige los informes es varios órdenes de magnitud mayor que el que nosotros propusimos a nuestros estudiantes.

⁶ Catalá, M., Vila, N., «Las funciones lingüísticas en el proceso de adquisición de los conocimientos científicos». Revista Aula, Nº 43, octubre de 1995.

dad de las fotos y las imágenes y los recuadros.

Nos encontramos a principio de año con la posibilidad de aplicar y profundizar estas ideas sobre los informes de práctico. Contábamos con la posibilidad de dictar cursos prácticos a alumnos que concurrían a tres institutos diferentes, Liceo N° 1 de San Carlos, Liceo N° 1 de Maldonado y Colegio Hermanas Capuchinas de Maldonado.

La distribución fue la siguiente:

Instituto	Total Subgrupos
Liceo 1 de San Carlos (LSC)	10
Liceo Departamental de Maldonado (LDM)	12
Colegio Hnas. Capuchinas (Maldonado) (HHCC)	6

Para este trabajo se analizaron los informes correspondientes a los tres primeros prácticos del año. Estos fueron:

Instituto / Curso	Práctico 1	Práctico 2	Práctico 3
LSC / 5to.	M.R.U.	Caída libre	Fuerza y aceleración
LSC / 6to.	M.A.S. (Masa-Resorte)	Péndulo	Ondas estacionarias
LDM / 5to.	Plano Inclinado	Caída libre	Fuerzas
HHCC / 5to.	Plano Inclinado	Caída libre	Proyectiles

Las actividades de los cursos prácticos no se diseñaron especialmente para elaborar informes como artículos científicos, sino que se hicieron **las que ya estaban planificadas en cada institución**, en acuerdo con la sala docente de cada lugar. No era la intención programar nuevos prácticos para poner en funcionamiento el sistema de la nueva redacción de informes, sino que se pretendió insertar esta nueva modalidad en actividades experimentales ya trabajadas y conocidas, con los mismos materiales conocidos por todos («timer», cintas, rieles, carritos naranjas, sensores, etc.).

Algunas observaciones sobre los informes

Al momento de plantear que los informes de los prácticos de Física tuviesen el formato de un artículo científico, debimos pensar en el modo de corregirlos, y en el

criterio para establecer las diferentes calificaciones. Los nuevos parámetros de corrección no invalidan los anteriores sino que los complementan, en el sentido que el análisis de datos, la construcción de gráficas, y las conclusiones derivadas de éstos siguen siendo objeto de evaluación. Un ítem que surge es: El alumno ¿entendió el práctico? Lo que deriva en aclarar qué es lo que entendemos por comprensión del práctico. Un aspecto estriba en saber la relación entre la teoría y el experimento. La obligación

de presentar un informe redactado de modo de **evitar la esquematización** propende a que el alumno realice esas relaciones para

poder escribir el práctico, entregar el informe y así cumplir la tarea. Si no se ve obligado por la propia naturaleza de la tarea es

probable que no llegue a relacionarlos, lo que le quita al experimento su razón de ser más importante. También con relación a este punto es conveniente

aclarar que el tener que ensamblar el fundamento teórico con el procedimiento y el análisis de datos minimizó la «copia textual» de un libro o de Internet del fundamento teórico.

Se insistió en la corrección en la claridad de la **redacción**. Hacemos referencia a dos aspectos. Uno, a que los alumnos expliquen con claridad los procedimientos y dos, a **un modo de redactar tal que la propia lectura del informe vaya poniendo al lector frente a la conclusión del práctico** y que dichas conclusiones surjan por sí solas de lo que está escrito previamente. El esfuerzo que los alumnos ponen al tratar de cumplir con este requerimiento **repercute inmediatamente en la comprensión de la actividad práctica. Aquí radica uno de los aspectos más importantes de la redacción de un informe como artículo científico.**

Los referís

En las revistas científicas existen referís, esto es, personas que entienden el tema y opinan sobre si es pertinente publicar el artículo o no. En algunos subgrupos de práctico se realizó la siguiente experiencia en relación a esta función:

La fecha de entrega de los informes se fija para una semana después de finalizada y concluida la actividad práctica. Como siempre, se fijó esa fecha para la entrega del segundo práctico del año, y en el momento de entregar el informe, se les comunicó que iban a ser referís: cada uno tomaba el informe de un compañero (sorteado), lo leía y le formulaba un análisis crítico del mismo: hacía las correcciones que creía convenientes, le formulaba preguntas en relación al informe y daba un juicio general sobre el mismo. Ese juicio debe ser anotado en el propio informe, y una copia del juicio debía ser entregada al profesor.

A través de las copias pudimos analizar las observaciones que los alumnos le hacían a sus compañeros. Estos alumnos tenían uno o dos informes redactados como artículos, por lo que podríamos hablar de alumnos con poca «experiencia» en la redacción de informes. Fueron un total de 48 observaciones emitidas en 20 juicios sobre 20 informes. Al clasificarlas observamos que 33 de ellas (el 69%) correspondían a observaciones sobre la **narración**. En ellas incluimos observaciones sobre la forma de redactar, sobre la forma de presentar la narración, sobre la claridad de los conceptos relacionados con el procedimiento y con el fundamento teórico. En general, los juicios de los alumnos en estos ítems coincidían con el juicio docente.

Por otro lado, encontramos 7, (15%, pocas a nuestro juicio) relacionadas con la presentación de los datos, gráficas y tablas y lo referido al análisis de las medidas. En este caso, en la corrección do-

cente se percibieron muchos más errores que los destacados por los alumnos. Parece ser que con los informes de práctico también sucede que se «*educa el ojo*», y que es parte del aprendizaje saber analizarlos en su completa dimensión.

La evaluación del trabajo de «referís» se hizo a través de las siguientes preguntas:

1. ¿Considera importante que su trabajo sea leído y analizado por un compañero unos días antes de entregar el informe final?

☐ Si, me sirve tener esa instancia previa, porque luego tengo oportunidad de entregar un mejor trabajo.

☐ Mis compañeros no aportan nada nuevo.

☐ No me gusta que otros lean mi trabajo, así que mejor no se los doy a leer.

2. ¿Qué sintió al recibir las opiniones de su compañero referente a su trabajo?

3. ¿Cómo se sintió al escribir y opinar sobre el trabajo de un compañero?

Los alumnos respondieron positivamente (opción 1) en forma masiva a la pregunta 1 (94%). Sobre las pregunta 3 vale destacar que expresaban cierta reticencia a ser referís de otros compañeros. Asimilaban el concepto de **crítica a encontrar aspectos negativos** del trabajo de los compañeros. No querían «*criticar*» el trabajo de los demás porque valoraban el esfuerzo que cada uno había realizado por terminar el informe y entregarlo en fecha, y por lo tanto concluían que ser referís implicaba criticar el esfuerzo. Eso motivó algunas conversaciones posteriores, donde desde el docente se planteó el punto de vista que «*criticar es dar opinión con fundamentos*» y no sólo marcar los puntos negativos de los trabajos. Nadie, ni alumnos ni docentes, pone en tela de juicio ni subvalora los esfuerzos personales.

A modo de conclusión

Redactar el informe del práctico como un artículo ¿sirve?

Para contestar a esta pregunta, veamos cuales fueron las opiniones de los alumnos sobre esta nueva modalidad de escribir los informes. A algunos grupos se les planteó un cuestionario abierto con algunas interrogantes, entre otras:

1. Usted ha presentado informes de laboratorio para diferentes asignaturas y en diferentes años ¿qué opinión le merece el hecho de presentar los trabajos prácticos como un artículo científico?

2. Escribirlos totalmente con sus palabras, le permite:

- ¿Entender mejor lo que hizo en el laboratorio?
- ¿Visualizar la práctica o entender los cuidados que se tuvieron? Explique.

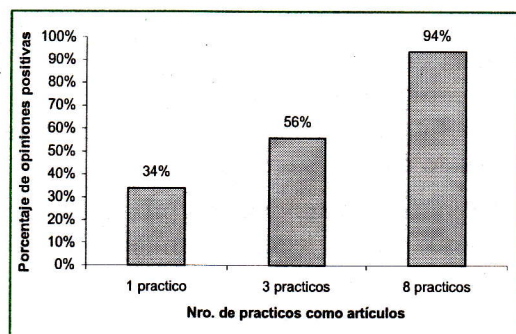
A otros grupos se les planteó el siguiente cuestionario:

La forma de redactar el informe de práctico de Física como si fuera un artículo a ser presentado en una revista, ¿lo ayudó a entender mejor para qué se hizo la actividad práctica?

- ☐ Sí, a partir de los informes como artículos, los prácticos los entiendo mejor.
- ☐ Me es indiferente, porque los prácticos los entiendo bien de todos modos.
- ☐ En realidad, entiendo más si escribo las partes del informe por separado.
- ☐ Me da lo mismo, del práctico de Física no entiendo nada.

Véase la evolución de las respuestas positivas (bajo una u otra modalidad)

en función del número de informes de prácticos:



Transcribimos algunas de las respuestas⁷ dadas por los alumnos del curso 2006, que durante todo el año hicieron los informes bajo la modalidad «artículo».

- «Gracias a los informes, muchas veces entendí el práctico».
- «El informe me ayudó a entender el práctico».
- «El tipo de informes fue muy bueno. Nosotras tratábamos de tomar todo con cierta gracia y citar ejemplos «tontos» cotidianos para que todo el mundo entendiera, aunque no sepa de Física. Primero no sabíamos como empezar a hacer el primer práctico pero después tomamos un formato «Diario Dentro Suyo» y lo mantuvimos durante todo el año. El nombre era así porque tratábamos de meternos en la mente de la otra persona y plantearnos las preguntas que se hacían las personas que leen el práctico».
- «Los prácticos eran una experiencia única, y el estilo de los prácticos también, porque era aprender algo y enseñárselo a Ponernos en el lugar de redactar estuvo bueno, te ayuda a entender mejor y te da la posibilidad de sacar tu estilo e imaginación».
- «La manera en como debíamos entregar el informe era de de manera en la

⁷ En la transcripción se corrigieron únicamente las faltas de ortografía.

cual al hacerlo, como que las cosas te iban quedando mejor en la cabeza, como que entendías lo que hacías».

Si bien los alumnos que ingresan por primera vez (5to año) notan que el formato les resulta más ameno, más positivo aun es el resultado mostrado por los que han trabajado con el sistema anterior.

A nuestro entender, esta propuesta sirve porque por un lado le permite al alumno tener mayor libertad a la hora de armar lo que va a escribir, por otro lado le permite jugar con su imaginación en el momento de retroalimentar lo hecho en la práctica con lo visto en la teoría. Por último creemos que sirve para desarrollar y potenciar la tan buscada autonomía del alumno frente al docente, a la vez le permite situar al alumno frente a sus observaciones y a las conclusiones que puede extraer éste de su trabajo.

Si bien el presente trabajo tiene una duración corta, es saludable observar, un crecimiento en el volumen y la calidad de las propuestas presentadas. En palabras de los alumnos *«escribirlo con mis propias pala-*

bras me permitió entender lo hecho en el laboratorio y aterrizar la teoría».

En definitiva ¿Qué proponemos?

Antes que nada, aclarar que esta no es «la» solución de las dificultades que se puedan encontrar en el trabajo práctico, pero que hemos visto indicios que **hacen de los informes con formato de artículo una alternativa válida para involucrar más al estudiante con las actividades propuestas.** Nuestra intención es dejar abierta la invitación a todos aquellos colegas que quieran sumarse a investigar por este camino.

Bibliografía

- **APFU.** Documento#2 en: apfu.fisica.edu.uy
- **Guerra, Mario** «Más allá del pensamiento socrático», Revista Educación en Física, Diciembre 2001, Vol. 5 N° 6.
- **Martinez, Ernesto**, «Como se escribe un informe de Laboratorio», Eudeba, 2004.
- **Sanmartí, Neus**, «Los trabajos prácticos: punto de partida para aprender ciencias». Aula de innovación educativa, N° 113.



Humor lugareño

Espacio de A.P.F.U.

Jornada de Física Experimental en Mercedes

El día 8 de setiembre de 2007 se realizó una Jornada en Mercedes, Soriano con el fin de orientar a los participantes del Concurso de Ayudante Preparador de Física.



Olimpiadas de Física

Se ha realizado la Olimpiada de Física del Uruguay clasificatoria para la próxima XII Olimpiada Iberoamericana de Física a realizarse en Córdoba. Como todos los años la Asociación de Profesores de Física ha apoyado las Olimpiadas con la participación de Alejandro Villamil y Pablo García.

Cabe destacar el excelente ambiente de compañerismo que se desarrolló en el grupo de estudiantes.

Informamos que los estudiantes que representarán a Uruguay son: Braulio Ríos, Santiago Ingold, Martín Scavone, Santiago Martínchich.

Padrón Social

Se comunica que el número de socios de APFU continúa aumentando, este año contamos con cuarenta nuevos asociados, les damos la bienvenida.

Próximo Encuentro

Nuestro próximo encuentro tendrá lugar en La Paloma, Rocha, la tercera semana de setiembre de 2007.

Con muy buenas expectativas, hasta el momento contamos con unos 160 inscriptos para este XVII Encuentro Nacional.

Se realizarán siete talleres, cinco conferencias y dos ponencias, y como siempre con habituales jornadas culturales.

Nos vemos en La Paloma...

Comisión Directiva

WEB (I)

<http://www.sciencetunnel.com/>



SCIENTETUNNEL
A Journey Through Scientific Discovery



Immerse yourself in the «Land of ideas» - take a stroll through the Max Planck Society's «Science Tunnel». On May 18, 2007, the

multimedia exhibition will be inaugurated in the Sci-Bono Discovery Centre in Johannesburg. For the German Embassy in South Africa, the German Academic Exchange Service (DAAD), the German schools in Johannesburg and the city's Goethe Institute, the Science Tunnel will serve as a platform for intercultural exchange between schoolchildren, students, and young scientists.

<http://www.smf.mx/> y la revista <http://www.smf.mx/rmf/>



Sitio de colegas mexicanos donde ofrecen (en pdf) artículos sobre nuestra temática en la Revista Mexicana de Física; por ejemplo [http://](http://www.smf.mx/rmf/pdf/rmf-e/52_2/52_111.pdf)

http://www.smf.mx/rmf/pdf/rmf-e/52_2/52_111.pdf Medición de la susceptibilidad magnética de sustancias líquidas en el laboratorio de física.

<http://nobelprize.org/>

Nobelprize.org



The Nobel Prize has been awarded to people and organizations every year since 1901, with a few exceptions such as

during World War II. Alfred Nobel, the man behind the prize, invented dynamite and experimented in making synthetic rubber, leather and artificial silk. By the time of his death in 1896 he had acquired 355 patents. Play a game and find out about a Nobel Prize awarded discovery or work!

Este ofrecimiento incluye: *Educational Games - The Nobel Prize in Physics*

http://nobelprize.org/educational_games/physics/

Como ejemplo: http://nobelprize.org/educational_games/physics/laser/index.html

Depto de Física del MIT: <http://web.mit.edu/8.13/www/index.shtml>

Welcome to Junior Lab 8.13/8.14

MIT Department of Physics

HOME | HANDOUTS | CALENDAR | EXPERIMENTS | EXPERIMENTAL LINES | ORALS | ELECTRONIC LIBRARY | STAFF PAGES

The purposes of Junior Lab are to give you hands-on experience with some of the ex-

perimental basis of modern physics and, in the process, to deepen your understanding of the relations between experiment and theory, mainly in atomic and nuclear physics. You will do experiments on phenomena which discoveries led to major advances in physics.

EFECTO DOPPLER:

bueno, bonito y barato

Diego Viera* - Leticia Perinetti** - Giovanna Pesce*** - Eduardo Porro****

*«Oye la frecuencia decaer
cada vez que me dejas
te perseguiría hasta el sol
pero hoy es solo inercia»
«Efecto Doppler»
Soda Stereo*

Introducción

El Efecto Doppler es quizás una de las manifestaciones del fenómeno ondulatorio que más interés despierta en nuestros estudiantes, más que nada por su cantidad de aplicaciones a nivel tecnológico en instrumentos que forman parte de nuestra vida diaria («radares» de la policía caminera, ecógrafos doppler médicos, sólo por mencionar algunos) o sus implicancias astrofísicas. Pero también es un tema poco tocado en nuestros cursos de física de Secundaria tanto en los teóricos como en el laboratorio. El siguiente artículo está basado en un trabajo para la asignatura Taller de Laboratorio del curso de 4º año del IPA que realizamos hace algún tiempo los profesores Leticia Perinetti, Giovanna Pesce, Eduardo Porro y Diego Viera, en el que intentamos responder las siguientes preguntas: ¿puede realizarse un experimento de Efecto Doppler en un laboratorio tipo de un liceo uruguayo? ¿puede ser además «bueno», «bonito» y «barato» como para ser viable? A continuación describiremos una posible respuesta a estas preguntas: como utilizar el Efecto Doppler para medir la velocidad de desplazamiento de un móvil.

Efecto Doppler en ondas Sonoras

Evidentemente lo primero que hay que decidir es el tipo de ondas que utilizaremos, elección que queda condicionada a los

materiales disponibles o de fácil acceso para un laboratorio liceal. Las ondas sonoras cumplen con varias condiciones que las hacen ideales para nuestro objetivo: son fáciles de generar y de detectar, su frecuencia (20 Hz a 20kHz) está en el rango que es capaz de medir un frecuencímetro «común» (como el de la interfaz CASSY-E, la «estrella interminable» de nuestros laboratorios) y es un fenómeno «familiar» para nuestros estudiantes.

No entraremos en este artículo en una explicación detallada del Efecto Doppler, ya que es un tema que puede leerse en cualquier buen texto de nivel mayor o igual al de bachillerato, simplemente recordaremos la idea básica: la frecuencia detectada por un observador depende del movimiento relativo entre éste y la fuente que genera la perturbación, y el valor del cambio de frecuencia está relacionado según la siguiente ecuación:

$$f' = f \frac{v_s}{v_s \pm v}, \text{ siendo } v_s \text{ la velocidad}$$

de propagación de la onda (sonora en nuestro caso), v la velocidad de la fuente, f la

* CES, Instituto Juan XXIII. pachamama@adinet.com.uy

** CES, Instituto María Auxiliadora. letiperi@adinet.com.uy

*** CES, Colegio San Luis (Hnos. Maristas). giopesce@adinet.com.uy

**** CETP, Universidad Católica Dámaso Antonio Larrañaga. erpofi@gmail.com

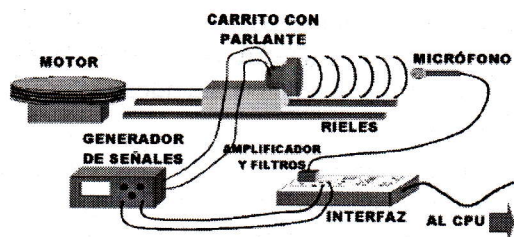
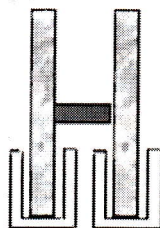
frecuencia medida en reposo y f' la detectada por el observador. El signo positivo es para el caso en que la fuente se aleje del observador y el negativo cuando se acerca. Es importante destacar que para el caso de las ondas mecánicas, como el sonido, el cambio de frecuencia no es simétrico, es decir, su valor depende de si es el observador o la fuente quien se mueve respecto al medio. La ecuación anterior es válida *para un observador en reposo respecto al medio de propagación de la onda*.

Descripción del montaje experimental

Lo primero a considerar es el tipo de móvil que se utilizará, ya que es necesario que el mismo se mueva con velocidad constan-

giro. Sobre dicha polea se enrolla el hilo que tira del móvil, por lo que al ser constante la velocidad angular del plato logramos la velocidad lineal constante buscada.

Como móvil puede usarse algún «carrito» montado sobre cualquier guía fija que lo mantenga en movimiento rectilíneo. Dicha guía debe ser lo suficientemente larga como para no acabarse antes de que el carrito alcance el MRU luego de encendido el motor. Una posibilidad es deslizarlo sobre un par de rieles en forma de «U» como los que muestra la figura, que con un poco de suerte pueden encontrarse a la venta como «retazos» en alguna casa de venta de perfiles de aluminio. Es importante destacar que los rieles deben estar bien firmes y en lo posible separados de la superficie de apoyo, por ejemplo fijos a unos tacos de madera que cumplen la doble función de aislarlos del piso y de evitar su movimiento.



te, algo bastante difícil de lograr en la práctica. Una solución a esto es utilizar un motor que tenga una velocidad angular constante, cosa mucho más fácil de conseguir que una constancia en la velocidad lineal. En nuestro caso utilizamos el motor de un viejo tocadiscos, que además posee la ventaja de estar construido de tal manera que puede variarse la frecuencia de giro (16 RPM, 33 RPM, 45 RPM, 78 RPM, etc). Otra ventaja es la posibilidad de variar el radio de giro, lo que permite obtener distintas velocidades tangenciales. Sobre el tocadiscos se monta algún elemento que cumpla la función de polea: en nuestro caso usamos una «tortera» de aluminio de 15cm de radio. La elección de dicho elemento fue debido a que lo que se ponga sobre el plato del tocadiscos no puede ser demasiado pesado, debe ser «perfectamente» circular y además fácil de perforar para colocar en el eje de

Sobre el móvil se coloca un parlante, como se ve en el esquema y el micrófono que capta la señal proveniente del parlante móvil se coloca en el extremo contrario al que se encuentra inicialmente el carrito (para la medición de una fuente sonora acercándose al observador) o en el mismo (para la medición de la fuente alejándose). Además, puede compararse la velocidad obtenida a partir del Efecto Doppler (que a partir de ahora llamaremos «velocidad doppler») con la obtenida por otro método, para tener algún valor de control, por lo que se puede colocar un par «siamés» de sensores ópticos conectados a un cronómetro. Si se desea realizar lo anterior debe adherirse al carrito algún vástago que active los sensores.

En cuanto a la parte electrónica, necesitamos una computadora que posea una interfaz como la CASSY y el software «medir y evaluar» de la misma, un amplificador para la señal del micrófono (y que además conste de un filtro «pasabanda» o por lo

menos un «pasabajo») y un generador de ondas sinusoidales. El parlante obviamente se conecta al generador de señales; es probable que además se tenga que amplificar también la salida para obtener una intensidad de sonido mayor, ya que el micrófono se va a encontrar «bastante lejos» del parlante.

¿Qué se hace con todo esto?

La idea es medir **simultáneamente** la señal sinusoidal emitida por el parlante y la recibida por el micrófono, y luego, previo ajuste de los datos mediante software, comparar las frecuencias de ambas hallando la velocidad del móvil mediante la diferencia de dichas frecuencias. Se debe elegir un valor de frecuencia, dentro del margen establecido por el filtro, el que colocamos para minimizar la influencia de otros «ruidos» en la recepción del micrófono. En nuestro caso utilizamos un filtro «pasabajo» de 10 kHz, por lo tanto no pudimos utilizar señales con frecuencias mayores a los 5 kHz.

El tiempo de muestreo deberá ser de unos 10 períodos de la señal sinusoidal, ya que esa cantidad permite disminuir el error en el ajuste que se efectuará; con ese número se poseen una buena cantidad de datos. Debido a que las frecuencias que utilizamos en nuestro caso se encontraban en el entorno de los 4000 Hz, el tiempo de muestreo resultó ser de 2,5 ms. La frecuencia de muestreo utilizada fue la máxima posible, de acuerdo a las especificaciones de la interface CASSY: 1/20 ms.

Ya está todo listo para efectuar las medidas. Ahora hay dos posibilidades: tomar las medidas cuando el parlante se aleja del mi-

crófono o para cuando se está acercando. En ambos casos el procedimiento es similar: se prende el motor, lo que produce una tensión en el hilo que mueve al «carrito sónico» con velocidad constante luego de cierto tiempo. Es por esta razón que los datos no pueden tomarse enseguida de que se comienza a mover. Además, se debe esperar un poco luego de encendido el oscilador, para que la señal se estabilice («pasen los transitorios» de todo el circuito).

Si se optó por colocar también los sensores ópticos para el valor de control, la medida en la computadora se debe efectuar en el instante en que el carrito sónico pasa por los sensores, ya que la velocidad obtenida a través del cronómetro será la que controle la calidad de la velocidad doppler.

Los datos se graban y se pasan a formato ASCII con el programa ASCTRANS, que viene con la CASSY, ya que el programa «Medir y Evaluar» los graba con un formato propio irreconocible por otros programas. Dichos datos ASCII deben ser levantados con algún software que permita el procesamiento de datos, como MATLAB o CURVE EXPERT, y ajustados mediante sinusoides ideales para la obtención de las frecuencias.

¿Y se obtienen resultados aceptables?

En las figuras 3 y 4 se muestra uno de los resultados obtenidos a partir de mediciones,

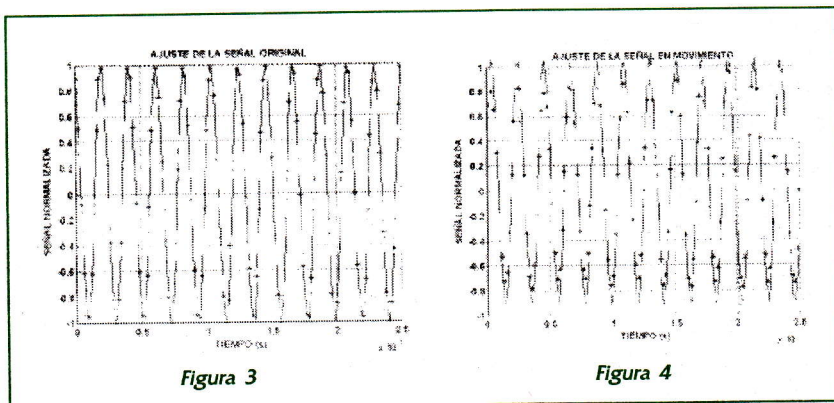


Figura 3

Figura 4

realizadas en el laboratorio del I.P.A. con el montaje experimental descrito más arriba, para una señal emitida por una fuente que se aleja del observador. La frecuencia de la señal registrada por un observador en reposo con respecto a la fuente es, determinada luego del ajuste mediante MATLAB, 4868 Hz. Se observa que el ajuste de la curva que contiene dicha señal en reposo es excelente. Esto es debido a que ajustamos una senoide prácticamente pura con una senoide. Obsérvese que los valores están normalizados para evitar uno de los parámetros en dicho ajuste.

En el ploteo de la señal móvil se ve que la curva dista bastante de ser una senoide ya que existen cambios en la amplitud. La frecuencia determinada por MATLAB en este ajuste es de 4859 Hz. Se observa una disminución respecto al valor de la frecuencia original, lo cual es coherente pues el carrito se estaba alejando del micrófono.

Como dijimos arriba la señal registrada por el micrófono no fue sinusoidal, pues la amplitud cambia con el tiempo, entonces ¿qué registró el micrófono? A éste llega una mezcla de varios sonidos, principalmente la señal emitida por el parlante, también el «zumbido» de los 50 Hz de la línea de UTE; además llegan distintas clases de ruidos ambientales, desde el provocado por las ruedas del carrito al rozar con los rieles hasta el murmullo inevitable de nuestros compañeros del laboratorio. Todo esto influye en la señal que nos interesa estudiar, aunque los sonidos que afectan la señal principal (ruidos) son de menor intensidad que la señal (esta afirmación la podemos justificar realizando un espectro de Fourier del ruido). Ésto podría eliminarse a través de la utiliza-

ción de un filtro «pasabanda» que solo deje pasar una ventana de frecuencias en el entorno de la frecuencia emitida por el parlante, siempre y cuando el ruido no posea ninguna componente de frecuencia cercana a la de la señal. Los espectros de Fourier de una de las muestras de ruido, que tomamos para ver la naturaleza del mismo, y el de la propia señal del parlante se muestran en las figuras 5 y 6.

Finalmente, luego de calcular la «velocidad doppler» a partir de las frecuencias de ajuste, nos encontramos con el valor de 0,5997 m/s; difiere en menos del 1 % del valor de control que obtuvimos a través de sensores, que fue de 0,604 m/s. Este resultado nos deja muy conformes.

Consideraciones especiales

Es importante, si se va a determinar la velocidad del móvil por otro método para controlar el «valor doppler», que la medida de la misma sea realizada **simultáneamente** con la toma de datos en la interfaz, ya que la idea es comparar ambos valores.

Para el cálculo de la «velocidad doppler» recordar que el valor de la velocidad del sonido *depende de la temperatura*, y que una buena aproximación de la misma se puede obtener mediante la ecuación $v_s = (331 + 0,6 T_c) \text{ m/s}$, siendo T_c la temperatura en $^{\circ}\text{C}$ ¹.

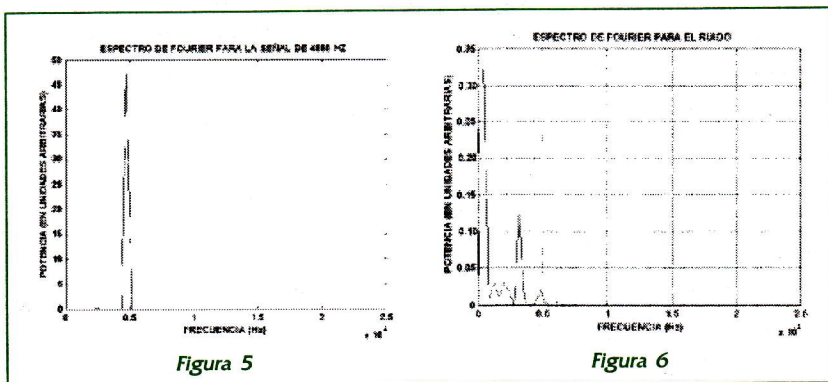


Figura 5

Figura 6

¹ Wilson, Jerry, "Física" 2ª Edición, Ed. Prentice Hall, pág 458.

Dejamos a disposición de los lectores, vía correo electrónico, los programas para el ajuste de datos mediante MATLAB.

A modo de conclusión

El experimento que hemos descrito tiene varios puntos interesantes. Principalmente es una buena práctica para llevar a cabo en el curso de 3º BD, ya que es interesante ver el Efecto Doppler aplicado a una situación

concreta y, por si fuera poco, que brinda resultados confiables. Otro punto a su favor es el hecho de que el montaje experimental fue pensado para construirse a partir del material existente en los liceos, y el resto que no se posee, como los rieles de aluminio, es barato o fácil de conseguir, como el motor de un tocadiscos.

En resumen: es una experiencia buena, bonita y barata.

Apostillas Físicas

Complementos a Física del Humor

En algunas de las revistas de APFU ha salido material en inglés. Aquellos lectores no consustanciados con el lenguaje han manifestado su incomodidad al respecto pidiendo traducción simultánea, cosa que fue transmitida a los autores (en su idioma) quienes manifestaron a su vez su necesidad de aprender español para cumplir con los lectores.

Por estos motivos ofrecemos un curso «fonético» de español para angloparlantes y otro en tres lecciones de inglés para hispanoparlantes.

Español para angloparlantes

Un método revolucionario para iniciarse en el idioma español, con un lenguaje coloquial y de fácil pronunciación.

There's always something new to learn and try.

For example if you say «pair done», spiks will understand: «perdón» (sorry).

Try the next ones:

1. Boy as n r = Voy a cenar = I'm gonna have a dinner
2. N L C John = en el sillón = on the armchair
3. Be a hope and son = viejo panzón = fat old man
4. This s poor as stunt air e us = Dices puras tonterías = you're saying dumb things.
5. S toy tree stone = estoy tristón = I'm kinda sad.
6. Lost trap eat toss = los trapitos = the little rags.
7. A key eye poor agree jug = aquí hay pura grilla = there's only politics around here.
8. Desk can saw = descanso = (you) rest.
9. As say toon as = aceitunas = olives.
10. Come at a lost ugh wack cat tess = comete los aguacates = eat the avocados.
11. The head the star mall less stan dough = deje de estar molestando = stop bugging me.

Continúa en página 34

WEB (II)

<http://www.seed.slb.com/es/scictr/lab/engineer/index.htm>



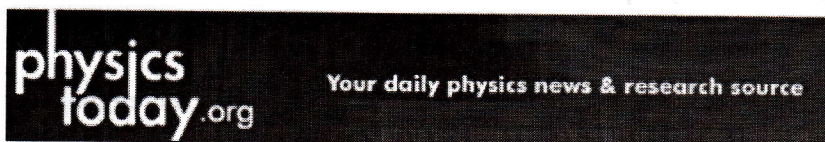
Si bien el contenido «apunta» a edades algo menores que las de nuestros alumnos; puede servir para que profesores y aspirantes a serlo colaboren en los «Desafíos de Ingeniería en realidad de Física simple:» como por ejemplo:

<http://www.seed.slb.com/es/scictr/lab/engineer/f02.htm>

El programa Schlumberger Excellence in Educational Development (SEED) conecta a los niños en edad escolar de los sectores desfavorecidos en los países en desarrollo con la Internet, comparte el verdadero mundo de las ciencias a través de un centro de ciencias en línea multilingüe, y posibilita los proyectos en colaboración entre los niños en edad escolar en todo el mundo. El programa ofrece a los jóvenes la oportunidad tangible de participar de las ventajas económicas y sociales que permite el acceso a los nuevos conocimientos y tecnologías. Nuestra visión es construir una comunidad de aprendizaje que derribe las barreras y que construya conexiones.

El programa SEED se creó en 1998 en respuesta a las necesidades de tecnología en información y comunicaciones en los países en desarrollo, a los desafíos que presenta la educación científica en todo el mundo, y en reconocimiento a los recursos que Schlumberger podía suministrar para enfrentar estos desafíos.

<http://www.physicstoday.org/>



Physics Today, the flagship publication of The American Institute of Physics, is the

most influential and closely followed physics magazine in the world, informing readers about science and its place in the world with authoritative features, full news coverage and analysis, and fresh perspectives on technological advances and ground-breaking research.

Presenting the magazine's digital edition and continually building a valuable online archive. In addition, PTOL extends the magazine's coverage of the physical sciences with links to related articles and news stories from around the web.

PTOL also features an online research center, an indispensable tool that brings together the latest articles from a growing number of online publishing platforms including Scitation and arXiv.

<http://www.pbs.org/wgbh/nova/einstein/>



Está en inglés, pero muy recomendable (consulte nuestra sección Física del Humor «Apostillas ...» para «aggiornarse» en el idioma).

Puertas Lógicas

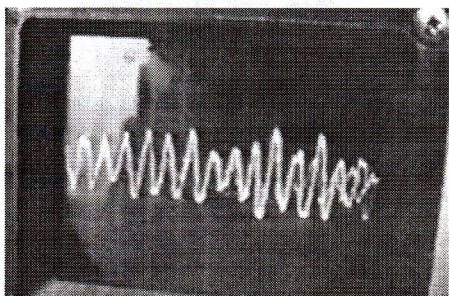
Mariel Mayero - Edgar Gómez

Tipos de señales

El mundo de la electrónica se puede dividir someramente en dos grupos principales: analógico o lineal y digital o lógico. A continuación se definirán estas dos amplias categorías.

Analógico o lineal

Un circuito lineal es aquel que tiene una salida con variaciones continuas todo el tiempo, o manifiesta un cambio de salida toda



Señal analógica

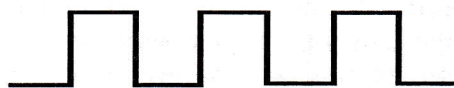
vez que exista un cambio en la entrada. Por ejemplo si aplicamos una onda senoidal en la terminal de entrada de un circuito lineal, se obtendrá una onda senoidal en la salida.

Digital o lógico

EL ÁLGEBRA DE BOOLE. Es la base matemática sobre la que se apoya toda la teoría y práctica de los circuitos de conmutación, también conocidos como lógicos. Se aplica una notación numérica y algebraica. La estructura es simple y se basa en **asignar el número 1 a una proposición lógica cierta y el cero a una falsa**. Este método aplicado a un circuito puede transformarse en «1» cuando hay paso de corriente y «0», cuando no la hay. También se considera como 1 la existencia de un nivel de tensión alto y como 0 el nivel bajo (cero voltios o por debajo de cierto límite).

Por ejemplo, en un tipo de circuito lógico un voltaje de +5 volts puede representar el estado CONECTADO ó 1 lógico, y 0 volts representa el estado DESCONECTADO ó 0 lógico. Para este tipo de circuito lógico no se permiten otros voltajes. De hecho, para cualquier clase de circuito lógico solamente debe haber dos niveles separados de operación y no se puede tolerar ningún otro valor.

Si observamos el ejemplo de una señal digital en la figura, vemos que su valor al-



terna en ambos sentidos entre 0 y +5 Volts. Por lo tanto, la eficacia de un circuito digital es mayor que la de un circuito análogo en que continuamente existen voltajes de entrada y salida.

La señal lógica o digital es de naturaleza binaria y la información se procesa en el sistema binario que es tan sencillo, práctico y eficaz como cualquier sistema de numeración. La información debe ser detectada y procesada por un circuito lógico que solo acepta los dos posibles estados lógicos (alto o bajo). Además la señal lógica es fiable pues no es deteriorable, con señales espurias como la de un micrófono por ej. Las señales «SI» y «NO» aceptan grandes perturbaciones. La conveniencia de la señal lógica radica en que a pesar de que lleve gran cantidad de datos, los procesa como todo o nada es decir circuito cerrado o circuito abierto.

El cuadro de la figura siguiente muestra una lista de algunos dispositivos eléctricos y electrónicos muy conocidos que tienen dos

estados estables de operación y, por lo tanto, son ideales para usarse en los circuitos y sistemas digitales.

Dispositivo o sistema	Condición para 0 lógico	Condición para 1 lógico
Capacitor	Descargado = 0 lógico	Cargado = 1 lógico
Lámpara	Apagda = 0 lógico	Encendida = 1 lógico
Motor	Parado = 0 lógico	En marcha = 1 lógico
Campo Magnético	Ausente = 0 lógico	Presente = 1 lógico
Interruptor	Abierto = 0 lógico	Cerrado = 1 lógico
Televisor	Desconectado = 0 lógico	Conectado = 1 lógico
Transistor	En corte = 0 lógico	Saturado = 1 lógico

nos ejemplos de componentes en los circuitos lineales son los transistores, los resistores, y los capacitores. Estos componentes se ensamblan para formar CIRCUITOS.

Cualquier sistema digital estará definido por una serie de variables lógicas o booleanas que corresponden a sus entradas y salidas. Estas variables se pueden representar por las letras (A,B,C,etc) y únicamente admitirán dos posibles valores 0 y 1 . Normalmente las variables de salida del sistema serán una consecuencia o «función» de las de entrada, ya que obedecerán a una determinada combinación de ellas.

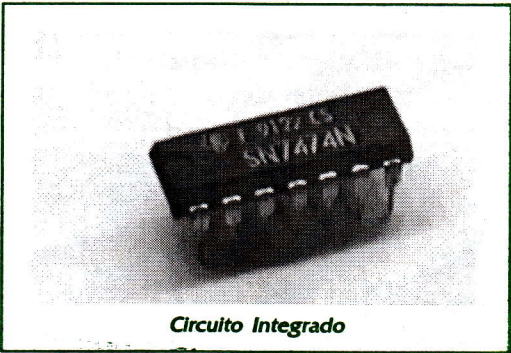
Aprenderemos lo relacionado con una clase determinada de circuito digital que se denomina estático o combinacional.. La característica importante de los circuitos digitales estáticos es que no hay señal de reloj. Los cambios en la condición de un circuito digital estático siempre tienen lugar como resultado de las variaciones de la señal de entrada. Continuaremos estudiando los circuitos estáticos pero, además, estudiaremos los circuitos lógicos dinámicos y cómo se emplea y una señal de reloj para producir cambios importantes en la operación de un circuito.

Algunos conocimientos que podemos aplicar

Podemos conocer la forma en que se construyen los sistemas electrónicos mediante el estudio de la pirámide del esquema. En la parte inferior, o base de la es-



tructura, se encuentran los componentes. Los COMPONENTES, son las partes individuales que se unen para formar un circuito.



Circuito Integrado

Los CIRCUITOS son interconexiones de COMPONENTES que realizan un trabajo determinado. Los amplificadores y osciladores son ejemplos de circuitos lineales.

Los SISTEMAS se forman mediante la interconexión de CIRCUITOS. Un ejemplo de un sistema lineal es un receptor de radio que tienen osciladores y amplificadores, así como otros circuitos.

Los componentes que se utilizan en la lógica digital son en realidad COMPONENTES lineales dispuestos de una manera determinada. Normalmente estos COMPONENTES se encuentran dentro de circuitos integrados como el de la figura.

Lo que debemos saber acerca de los sistemas digitales

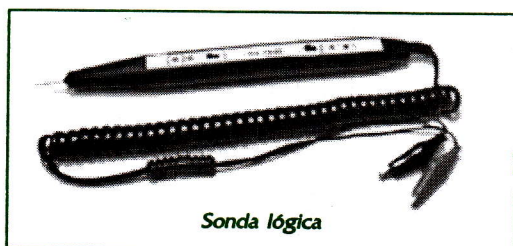
Los sistemas digitales necesitan de un voltaje de C.C. para su operación. Las fuentes de alimentación que se emplean en los sistemas digitales son muy parecidas a las que se usan en los sistemas analógicos.

Es conveniente que la tensión que da el generador sea lo más pura posible (poco ríple).

El componente electrónico (compuerta), tiene identificación y las terminales, se numeran en sentido horario, si miramos el componente desde abajo.

Ideas que no debemos aplicar de nuestro trabajo previo en electrónica

Si tratamos de aplicar las siguientes ideas, la labor será mucho más difícil. No se trata



de analizar los circuitos lógicos persiguiendo a los electrones (o huecos) alrededor de las redes. En los circuitos lógicos eso no es necesario y, de hecho ni siquiera se desea. Considerándolo más estrictamente, es casi imposible.

No podemos buscar eficazmente una falla en los circuitos lógicos, con un voltímetro. Nuevamente hay una excepción cuando se trata de localizar un desperfecto en el circuito de alimentación de CD.

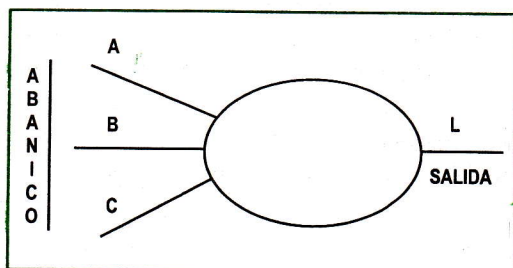
En un circuito lógico, sólo tres tipos de señales son de interés:

- Un nivel alto de voltaje que normalmente se designa como 1. Esto no significa 1 volt. Únicamente es una simple forma de referirse al nivel más alto.
- Un nivel bajo de voltaje que normalmente se conoce como 0. Esto no es necesariamente un valor de 0 volts-
- Un voltaje pulsante que alterna entre 0 y 1. El modo más rápido y conveniente de medir estas señales es utilizando una sonda lógica.

Se debe aprender a pasar por alto los componentes electrónicos lineales de un circuito integrado (que usualmente se conoce como CI). Por el contrario debe considerar los componentes lógicos como una verdadera unidad básica de los circuitos lógicos.

Funciones u operaciones lógicas

Todas las funciones que pueden realizarse con variables lógicas pueden aplicarse a compuertas lógicas. La COMPUERTA LÓGICA es un dispositivo que acepta variables de entrada lógicas y entrega una señal lógica de salida.



Los componentes lógicos que aquí se indican son las llamadas COMPUERTAS ó PUERTAS.

En el mundo de la Electrónica digital existen diferentes empresas que fabrican los componentes lógicos básicos de diferentes maneras, pero siempre tienen las mismas relaciones entre los terminales de entrada y salida.

Circuitos digitales

Encontramos dos tipos: **Secuenciales y combinatorios**. En los primeros el estado de salida es función de la «evolución» de estados de entrada (es necesario saber el estado anterior para saber como responderán).

El que estudiaremos será el combinatorio en que la señal de salida es función de las señales de entrada actuales, es decir que **se tiene en cuenta el estado en que se encuentran las entradas en un**

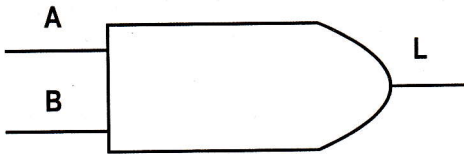
momento preciso y no como hubieran estado antes.

Estos circuitos responden a las llamadas tablas de verdad. Para entender el modo de trabajo de un circuito combinacional, se forma una tabla en la que se representan todas las posibles combinaciones de las entradas, con sus dos niveles 0 y 1, y la señal de salida resultante. Esta tabla se denomina tabla de la verdad del circuito.

Las compuertas básicas

Existen siete compuertas lógicas básicas: **Y, O, NO, NOY, NOO, O EXCLUSIVA** y el **COMPARADOR LÓGICO**. Estas compuertas son los componentes que se emplean para formar los circuitos digitales. Tienen cuatro características importantes que debemos conocer: el símbolo para el diagrama esquemático, la tabla de verdad, un ejemplo de circuito y el símbolo matemático.

Circuito digital función Y o AND (producto lógico)

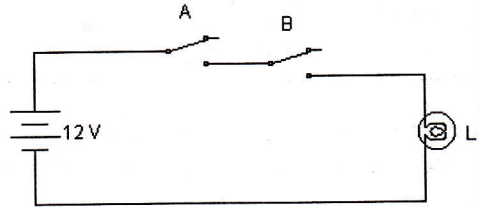


Es una función indispensable en cualquier circuito lógico combinatorio. **El circuito elemental encargado de efectuar el «producto» de dos o más señales lógicas se denomina «puerta Y» (AND) y corresponde a una célula con dos o más entradas (una por señal) y una sola salida.**

La señal obtenida en esta salida tomará el nivel «0» cuando al menos una de las señales de entrada alcanza este nivel y será «1» cuando absolutamente todas las entradas adquieran el estado «1» simultáneamente. Se puede hacer una comparación entre una puerta Y, y una serie de dos o más interruptores, siendo las señales de entrada, las informaciones que da el experimentador a cada interruptor. Si y solo si todos los

interruptores están cerrados estará presente una señal de salida que puede hacer encender una lámpara por ej. Si llamamos A y B a las informaciones que reciben los interruptores encontraremos que la salida será de nivel alto ($S=1$) si y solo si A «y» B están cerrados. De ahí la llamada función «Y» o «AND» en inglés.

A	B	S
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

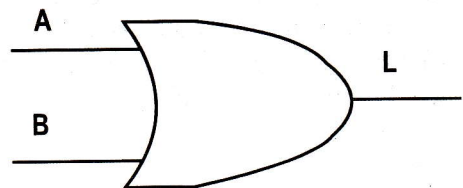


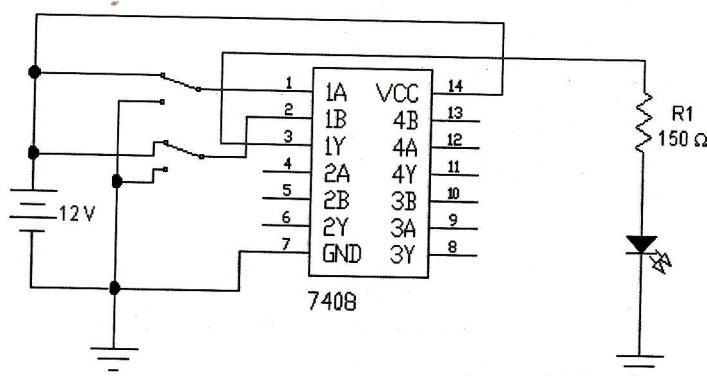
Ejemplo de tabla de la verdad. Se tiene en cuenta solamente el estado en que se encuentran las entradas en un momento preciso y no como hubieran estado antes.

A continuación se muestra el CI 7408 en dos formas de representación (ver pág. 21).

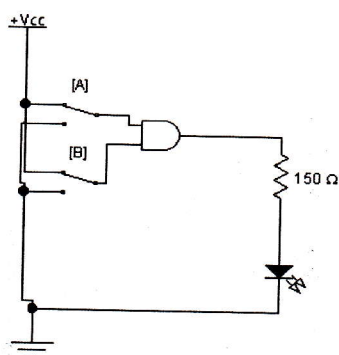
Circuito digital función O u OR (suma)

Cualquier circuito combinacional se compone de una serie de sub-circuitos digitales que combinan las señales en la forma ne-





Circuito práctico



Circuito simbólico

Símbolos Matemáticos:

$$A \cdot B = L$$

$$A \times B = L$$

$$A B = L$$

$$A \text{ y } B$$

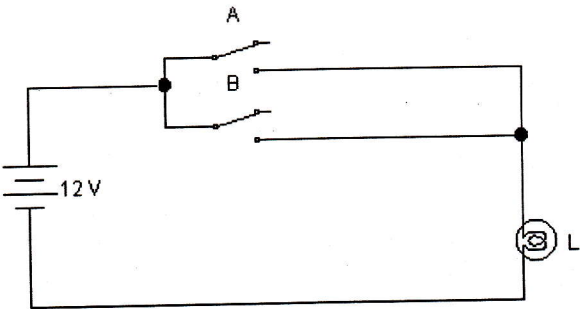
cesaria para obtener el resultado deseado. Estos sub-circuitos pueden descomponerse en una serie de células elementales, que son la base del funcionamiento del sistema de que se trate. Ellas responden básicamente a las operaciones de suma y producto de señales lógicas.

La puerta correspondiente a la suma de dos o más señales se denomina **puerta O (OR)** y corresponde a un circuito con dos o más entradas (una por señal) y una sola salida. Se obtiene una señal lógica que adquiere el nivel cero cuando todas y cada una de las señales aplicadas a las entradas tienen el nivel «0» y toma el nivel «1» si una o más de las entradas adquieren el estado «1». En realidad no es que se sume, sino que si se da una posibilidad «0» la otra, «0» am-

bas entonces hay salida (de ahí el nombre «o»). **El signo + tiene un significado especial, pues $1+1=1$, es un absurdo. El signo + está asociado a la letra «o» en su sentido «no exclusivo», es decir $S=1$ porque la variable A esta presente «o» B está presente «o» C está presente, sin excluir la posibilidad de que varias o todas las entradas estén activas.** Se puede hacer una comparación entre una puerta OR y varios interruptores colocados en paralelo, siendo las señales de entrada las informaciones dadas por el operador a cada interruptor; es fácil comprender que estando solo un interruptor cerrado ya tenemos señal de salida y para que ésta esté en nivel bajo o cero, todos los interruptores deben estar abiertos.

A	B	S=A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

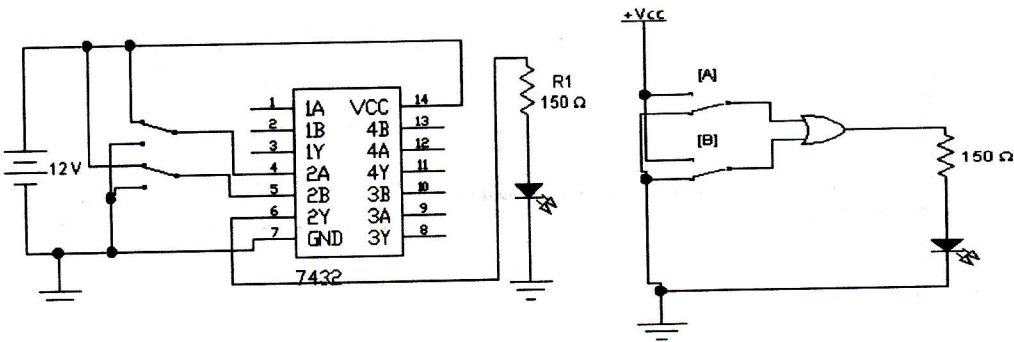
Tabla de la
verdad para dos
entradas



Circuito simbólico con interruptores

Símbolo matemático:

$A + B = L$



El esquema adjunto representa el
circuito práctico de una compuerta
O, con circuito integrado 7432

ideas[®]
EDITORIAL
IMPRESORA

Un proyecto
editorial
al servicio de
estudiantes
y autores
uruguayos.

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

Descuentos especiales
para docentes

Mercedes 1786 CP 11200 - Telefax: 408 6985 - Montevideo, Uruguay
edideas@adinet.com.uy / www.editorialideas.com.uy

Solicite
Catálogo

El camino a la unificación

Pablo Mora

I. Introducción

La historia de la infructuosa búsqueda de una *Teoría del Campo Unificado* por Einstein durante los últimos treinta años de su vida es lo suficientemente conocida como para ser considerada parte de la cultura popular de nuestro tiempo. El lector probablemente ha sido expuesto, como yo mismo, a diversas versiones a menudo adornadas con diversos grados de exageración, fantasía y disparate (p.ej. el *Experimento Filadelfia*)¹.

El propósito de este artículo es sin embargo mostrar que la investigación de simples principios o leyes subyacentes a la increíble multiplicidad y complejidad del mundo revelado por nuestros sentidos ha sido el hilo conductor, la motivación y la meta de una antigua búsqueda cuyos éxitos son los pilares de la Física actual, y cuyas aplicaciones han transformado el mundo y moldeado la historia humana. Discutiré los mojos en esta búsqueda, un panorama general de lo que sabemos hoy y lo que no, y un sumario de los distintos enfoques y puntos de vista sobre cómo podrían resolverse los problemas actuales.

II. Orígenes

El interés del hombre por las regularidades de la naturaleza, motivado tanto por motivos prácticos como por curiosidad innata es probablemente tan viejo como la especie. Sin embargo la noción de que un principio único subyace a la diversidad del mundo puede quizá rastrearse a las ciudades helenas de la antigua Jonia, en las costas e islas cercanas de Asia Menor, en el siglo VI A.C.. Allí Tales y Anaximandro de Mileto, Pitágoras de Samos y Heráclito de Efeso entre otros dedicaron sus esfuerzos a entender demostrar la unidad de la naturaleza. Fueron llamados 'Físicos' por sus contemporáneos, del griego Φυσικ

(phusis, naturaleza) por este motivo. Encuentro impresionante el coraje intelectual de plantearse esta búsqueda, en una época en la que los datos de la experiencia eran tan claramente insuficientes. Cada uno de los filósofos tenía su versión del principio último, pero es la idea de Pitágoras de que los números, o principios matemáticos simples, son la clave de la realidad, el punto de partida de la física teórica. Pitágoras tuvo la idea correcta, aunque todos los detalles estuvieran mal. En retrospectiva parecería una locura, una especie de 'teoría de conspiración cósmica', pensar que todos los procesos, sustancias, colores y formas del mundo provengan de fenómenos que pueden reducirse a simples leyes matemáticas, si no fuera porque los tremendos éxitos concretos de las teorías físicas nos han acostumbrado a este hecho.

La historia detallada de los avances logrados por los sabios griegos posteriores, como Demócrito, Aristarco, Aristóteles, Arquímedes y otros, requeriría más espacio del que dispongo. Me interesa señalar aquí solo el nacimiento en Jonia de la idea de la unificación y de la noción de leyes matemáticas de la naturaleza con los pitagóricos. Esto último de la mano con la noción de pruebas o demostraciones rigurosas en matemáticas, también un concepto griego.

III. La revolución Newtoniana

Con los trabajos de Copérnico, Galileo, Kepler y Newton en los siglos XVI y XVII se

¹ Doctor en Física. Profesor Adjunto de la Facultad de Ciencias de la Udelar. Contacto: pablo@fisica.edu.uy

² Una búsqueda rápida de la internet permite dar fácilmente con una gran variedad de sitios difundiendo una combinación de mitos, falsedades y absurdos en este sentido, p.ej. ver: www.americanantigravity.com/einstein.shtml

funda la ciencia moderna, y se da el primer gran paso hacia la unificación, con la formulación de las leyes de Newton y la comprensión de que estas se aplican tanto a los fenómenos terrestres como a los celestes (movimientos de planetas, satélites, cometas, etc.). La figura del libro clásico de Newton, los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, ilustra bien esta unificación de la física celeste y la terrestre, de la descripción de proyectiles (piedras, manzanas, pelotas, balas de cañón, etc.) y satélites (planetas, la Luna, etc.).

IV. Electrodinámica

En los siglos XVIII y XIX los trabajos de Volta, Coulomb, Ampère, Oersted, Faraday y Maxwell entre otros culminaron en la formulación de las *Ecuaciones de Maxwell*, las que se aplican a una enorme variedad de fenómenos, y representan otro gran paso, al unificar los fenómenos, antes pensados como disímiles, eléctricos, magnéticos y ópticos en una sola teoría, con la comprensión de que la luz es una onda electromagnética, de que la electricidad y el magnetismo son caras de la misma moneda.

Un cambio conceptual importante, que se produjo gradualmente desde la época de Newton motivado por el estudio de fluidos en primer lugar, es la aparición de los campos, magnitudes que varían de punto a punto, como entidades físicas fundamentales en adición a las partículas.

Cuando Maxwell escribió sus ecuaciones no sabía que estas ocultaban dos importantes simetrías, que serían claves para algunos de los desarrollos más importantes del siglo XX. Estas eran la invariancia bajo transformaciones de Lorentz, que llevaría a la *Relatividad Especial*, y la invariancia gauge, que en una forma ampliada es la base de las modernas teorías de gauge de las interacciones fundamentales, de las que hablaré más adelante.



Figura 1. Diagrama de los Principia que muestra la unificación de la física terrestre y celeste.

Guiado por los éxitos de su teoría, Newton aspiraba a una explicación única de todos los fenómenos, incluyendo las propiedades químicas, la óptica y la electricidad, en términos de fuerzas análogas a las gravitacionales entre partículas puntuales. También consideró que toda la materia pudiera consistir de distintas formas de una sustancia única².

En este marco se entienden en parte sus trabajos en alquimia, sobre los que mantuvo correspondencia con Boyle, en los años en que en medio de la confusión esta daba origen a la química.

V. Termodinámica y Mecánica Estadística

Durante el siglo XIX y los primeros años del XX se logró comprender que toda las formas de materia conocidas entonces se componían de unas pocas clase de átomos,

² Newton en carta a Boyle y Oldenburg: «Perhaps the whole frame of Nature may be nothing but various Contextures of some certaine aethereall Spirits or vapours condens'd as it were by praecipitation, much after the manner that vapours are condensed into water and exhalations into grosser Substances, though not so easily condensable;.....Thus perhaps may all things be originated from aether.»

que se ligaban para formar moléculas, y que las propiedades macroscópicas termodinámicas y mecánicas de los cuerpos podrían entenderse en términos del comportamiento de agregados de grandes números de estos átomos. La mecánica estadística a través de métodos estadísticos y probabilísticos proporciona el puente entre ambas imágenes.

VI. Relatividad

La invariancia de las ecuaciones de Maxwell bajo las transformaciones descubiertas por Lorentz y su aparente incompatibilidad con las de Galileo, de la Mecánica Clásica, llevó a Einstein a formular la *Relatividad Especial*, teoría en la que el espacio y el tiempo se funden en el espacio-tiempo, como también la masa y la energía son aspectos de una sola entidad. Estos son solo algunos de los muchos objetos físicos que se unen como parte de entidades que los contienen. Esto debe entenderse en el sentido de que transforman entre sí bajo transformaciones de Lorentz que llevan de un sistema a otro, como las componentes de un vector son parte de un mismo objeto porque bajo rotaciones transforman entre sí. Otro ejemplo importante está dado por los campos eléctricos y magnéticos, que deben entenderse como componentes de un único *tensor de campo*.

La búsqueda de una teoría de la gravitación compatible con la Relatividad Especial llevó a Einstein a formular la *Relatividad General*, en la que la gravitación aparece conectada a la curvatura del espacio-tiempo. El espacio-tiempo pasa de ser el ámbito pasivo de los fenómenos físicos a ser un objeto dinámico más, influyendo y siendo influido por los demás procesos físicos.

VII. Mecánica Cuántica

En las primeras tres décadas del siglo XX Planck, Einstein, Bohr, de Broglie, Heisenberg, Schroedinger, Dirac y otros desarrollaron la *Mecánica Cuántica*. Esta teo-

ría reemplaza la mecánica clásica en escalas microscópicas, y se caracteriza por un cambio radical del marco cinemático consistente de una redefinición de lo que constituye el estado, los observables y el proceso de medida de un sistema. La teoría va en muchos aspectos a contrapelo de nuestra intuición macroscópica, por ejemplo en la existencia de estados de superposición en los que una partícula está en varios sitios al mismo tiempo. Es suficiente decir que mientras que el uso exitoso de la mecánica cuántica en muy diversas áreas de la física está más allá de toda duda, las cuestiones de sus fundamentos conceptuales son aún hoy objeto de debate e investigación.

Las aplicaciones de la mecánica cuántica a los átomos y moléculas, a los núcleos atómicos, así como a los sólidos, explicando los calores específicos, la conductividad de los metales, las propiedades de los conductores en términos de unas pocas constantes fundamentales y las propiedades de electrones, protones y neutrones dio nueva vigencia al programa de la unificación. Propiedades que parecían fundamentales como calores específicos de los sólidos, conductividades, módulos elásticos, etc. aparecían ahora como derivables de principios más fundamentales.

A fines de los 1920's y principios de los 1930's la conjunción de la mecánica cuántica con la relatividad especial llevó a la ecuación de Dirac, inicialmente pensada como ecuación de ondas relativista del electrón, y a los comienzos de la teoría cuántica de campos, con la aplicación de los métodos cuánticos al campo electromagnético por Heisenberg, Jordan y Dirac. La ecuación de Dirac llevó a la predicción de la existencia de antimateria, verificada experimentalmente en la misma época, y aunque tiene problemas como ecuación relativista de un electrón es, pensada como campo cuántico, la base de nuestra descripción de las partículas de materia (quarks y leptones) conocidas.

VIII. Einstein y la Teoría del Campo Unificado

Las ecuaciones de Einstein de la Relatividad General, que dictan la dinámica del campo gravitatorio y la geometría del espacio-tiempo establecen la proporcionalidad de un objeto geométrico, conocido como *tensor de Einstein*, $G_{\mu\nu}$, dado en términos de la curvatura del espacio-tiempo, con un objeto que describe la materia presente, su densidad de energía y cantidad de movimiento y tensiones internas, conocido como *tensor de energía-momento*, $T_{\mu\nu}$. Esto es $G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$, donde κ es una cierta constante relacionada con la constante de Newton G. Einstein decía que el lado izquierdo de sus ecuaciones (geométrico) es 'de mármol', mientras que el izquierdo (materia) era 'de madera', implicando que uno es 'bello' y dictado en forma bastante ineludible por primeros principios, mientras que el otro es 'puesto a mano' (más crudamente, 'atado con alambre'), ya que muchas formas son posibles, para diferentes tipos de materia, y no había principio geométrico que lo dictara. Einstein decía: *El lado derecho es una condensación formal de todas las cosas cuya comprensión desde el punto de vista de teoría de campos es aún problemática.*

Ahora bien, en los 1920's se conocían como ingredientes fundamentales los campos gravitatorios y electromagnéticos, además de los electrones y protones como partículas puntuales. Las partículas, sus masas y cargas debían considerarse como datos no derivables dentro de la teoría. Además las partículas aparecen como singularidades, si son puntuales y con masa finita, ya que la densidad de energía sería infinita en su posición. Einstein aspiraba a una teoría unificada en que hubiera un solo campo del que el campo gravitatorio y el electromagnético fueran componentes, y tal que las partículas aparecieran como soluciones no

singulares de las ecuaciones no lineales obedecidas por esta teoría, en las cuales esencialmente toda la energía esta confinada a una región pequeña pero finita, y que se desplazan sin deformarse y manteniendo su identidad. Las ecuaciones no lineales suelen tener soluciones del tipo mencionado, conocidas actualmente como *solitones*. Einstein esperaba además que las condiciones cuánticas, así como las masas y cargas de las partículas emergieran del hecho que las ecuaciones con el requerimiento adicional de la libertad de singularidades fueran sobredeterminadas, teniendo soluciones solo para valores muy específicos de los parámetros.

El programa de Einstein, con los datos que tenía en los 1920's, era sensato y brillante. Lo que lo desvirtuó en su forma original fue la creciente evidencia de que la mecánica cuántica no podía recuperarse en este contexto, sino que debía ser una parte esencial de la teoría fundamental; la dificultad de dar una descripción geométrica del campo de Dirac, y finalmente la proliferación de partículas fundamentales descubiertas con el progreso de los experimentos de altas energías y la comprensión de que al menos dos nuevos tipos de interacciones fundamentales (llamadas inicialmente nucleares débiles y nucleares fuertes) estaban en juego.

Aún así importantes ideas surgieron de esta búsqueda, en particular las ideas de Weyl de recuperar los campos electromagnéticos considerando teorías con invariancia bajo transformaciones locales de escala, erróneas en el contexto propuesto pero que en un marco diferente contienen el germen de las *teorías de gauge*; y las ideas de Kaluza, ampliadas por Klein, en las cuales los potenciales electromagnéticos se entienden como componentes de la métrica en un espacio-tiempo de cinco dimensiones, con una 'enrollada' de forma de hacerla prácticamente indetectable. Estas últimas teorías, conocidas como *teorías de Kaluza-Klein*, presentan varias dificultades en su

forma original, pero han resurgido en diversos contextos teóricos en los últimos treinta años, aunque hasta el presente no hay evidencia empírica de dimensiones adicionales del espacio-tiempo más allá de las cuatro conocidas.

Es interesante recordar el tremendo impacto mediático que los intentos de Einstein tuvieron en su momento, con los principales diarios de la época publicando de tanto en tanto información sobre cada nuevo intento, a menudo con fotografías de pizarrones con misteriosas ecuaciones. Como mencionamos arriba este impacto se prolonga hasta hoy a través de ciertos mitos modernos.

IX. Heisenberg y la Teoría Unificada de la Materia

Otro de los grandes físicos del siglo XX que intentó descubrir o construir una teoría unificada fue Heisenberg. Entre fines de 1957 y principios de 1958 este trabajo llevó a lo que Heisenberg esperaba sería la teoría buscada, condensada en la llamada 'Weltformel', o 'Fórmula del Mundo', la cual es esencialmente una modificación no lineal de la ecuación de Dirac. Wolfgang Pauli participó en este trabajo como colaborador de Heisenberg. Anuncios prematuros de la nueva teoría revolucionaria por parte de Heisenberg fueron recogidos por la prensa, y recorrieron el mundo, hablándose incluso de preocupación por el peligro de que esta teoría diera en 'malas manos'. Lo cierto es que la teoría no resultó correcta, y Pauli tomó distancia de la misma, molesto incluso con Heisenberg por lo que consideró exageración de parte de Heisenberg en su anuncio público del trabajo, en el que implicó que esta era LA teoría, y solo 'detalles técnicos' faltaban. Ridiculizando estas exageraciones, en una carta a Gamow, Pauli dibujó un recuadro en blanco para demostrar que podía pintar como Tiziano, a menos de 'detalles técnicos'.

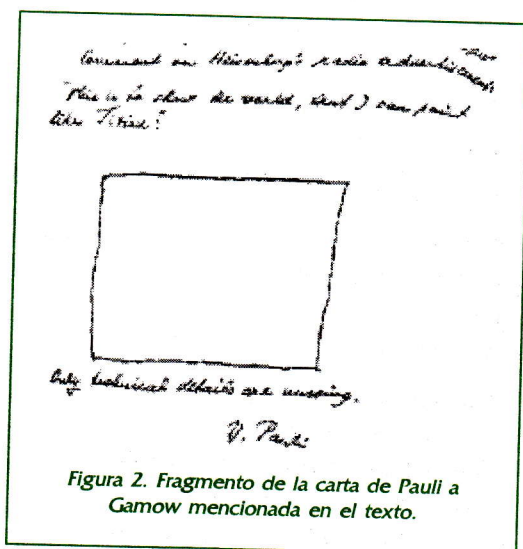


Figura 2. Fragmento de la carta de Pauli a Gamow mencionada en el texto.

X. Teoría Cuántica de Campos

La teoría cuántica de campos se inició en los 1930's de la aplicación de los métodos cuánticos a los campos clásicos. La teoría cuántica de campos explica la identidad de partículas y la dualidad campo-partícula, ya que las partículas aparecen como las excitaciones cuánticas de un solo objeto, el campo cuántico (p.ej. todos los electrones son excitaciones de un solo campo electrónico). Se concluyó además que hay dos tipos de campos, según si el momento angular intrínseco de sus partículas sea entero o semi-entero, respectivamente los bosones (como el fotón) y los fermiones (como el electrón), asociados con interacciones y con la materia respectivamente.

En sus comienzos la teoría enfrentó el problema de que muchos de los cálculos de magnitudes físicas medibles daban resultados infinitos, lo cual llevó al desarrollo de la teoría de la renormalización como método para substraer esos infinitos dejando un resultado finito. Aquellas clase de teorías para las que la aplicación de estos métodos funcionaba se llamaron renormalizables. Resultó que el requisito de renormalizabilidad restringe en gran medida la forma de las

teorías posibles. La primera teoría cuántica de campos estudiada y renormalizada fue la electrodinámica cuántica,

Como resultado de estos trabajos se comprendió que constantes físicas tales como la carga de electrón dependen de la escala de longitud (o energía) a la que se miden, por ejemplo si uno mira 'de cerca' un electrón su carga parece ser mucho mayor.

XI. Teorías de Gauge

Gracias a los trabajos de Weyl, Fock y London entre 1918-28 se comprendió que la invariancia gauge de la electrodinámica clásica corresponde en la teoría cuántica a la invariancia de la física bajo la multiplicación de la función de onda por un número complejo de módulo 1 (o fase) arbitrario en cada punto. Se puede incluso en cierta forma invertir el argumento e 'inducir' las ecuaciones de Maxwell a partir del requerimiento de invariancia de fase local de la función de onda de partículas cargadas. Yang y Mills comprendieron en 1954 que esta idea puede generalizarse para el caso de una función de onda con varios componentes y una matriz compleja unitaria en vez de un simple número. Las teorías de campos generadas de este modo, conocidas como *teorías de Yang-Mills* o *teorías de gauge* constituyen generalizaciones no triviales de la electrodinámica de Maxwell. Estas son más complicadas por ser no-lineales, ya que el análogo del campo electromagnético interactúa consigo mismo (el campo mismo tiene una 'carga') por lo que la suma de dos soluciones no es solución de las ecuaciones. Estas teorías corresponden a grupos de simetría, que en el caso de la electrodinámica es $U(1)$, las rotaciones del círculo (representadas por la multiplicación por un número complejo de módulo 1 mencionada arriba), pero en general se trata de grupos más generales en los que dos operaciones cualquiera no conmutan, como en el grupo de las rotaciones en 3 dimensiones $SO(3)$.

La noción de que requerir un principio de simetría local dicta las leyes de las

interacciones está en mi opinión entre las ideas más bellas de la física.

Las teorías de gauge permanecieron por más de diez años como una bella curiosidad matemática, aparentemente sin relevancia para la 'realidad real' del duro y concreto mundo de los hechos empíricos. Hasta que todo cambió...

Me recuerda la frase del H. Weyl: *Mi trabajo siempre trató de unir lo bello y lo verdadero, pero cuando tengo que elegir, usualmente elijo lo bello.* La moraleja es que a menudo no es necesario elegir.

XII. El modelo estándar

Entre 1967 y 1973 se logró establecer un marco teórico, conocido como el *Modelo Estándar*, que incluía tres de las cuatro interacciones fundamentales conocidas, la electromagnética, la nuclear débil y la nuclear fuerte. El modelo estándar consiste de la teoría electrodébil (unificando electromagnetismo e interacciones débiles) y la cromodinámica cuántica (interacciones fuertes). Este modelo, debido entre otros a Weinberg, Salam, Gell-Mann, Frisch, Gross y Wilczek, ha resultado confirmado experimentalmente durante los últimos treinta años, hasta el presente.

Su establecimiento requirió un gran número de pasos tanto teóricos como experimentales, como el descubrimiento de los quarks, las nociones de *ruptura espontánea de simetría* y de *libertad asintótica*, cuya descripción sería muy extensa, y puede verse en las referencias al final.

Lo más remarcable del modelo estándar es que sus ingredientes son apenas campos de Dirac para describir los fermiones y campos de gauge para describir las interacciones, además de ciertos campos escalares (de Higgs) que implantan la ruptura de simetría. El que tres de las interacciones fundamentales estén descritas por campos de gauge, cortadas con el mismo molde por así decir, es para muchos una indicación de que debe haber una teoría de

gauge que las unifique a todas. Un obstáculo es que las interacciones fundamentales tienen intensidades muy disímiles, sin embargo se observó en los 1970's que estas constantes convergen, considerando el efecto de renormalización mencionado arriba, a un mismo valor a una cierta escala de energías, muy cercana a aquella en la que los efectos cuánticos de la gravitación se vuelven importantes. Esto resuelve el obstáculo mencionado y sugiere aún más fuertemente que existe una teoría unificada de todas las interacciones.

Los principales problemas del modelo estándar tienen que ver con que no es satisfactorio el gran número de constantes fundamentales (como las masas de los quarks) que deben tomarse como datos. Además sería deseable tener una teoría que incluyera una teoría cuántica de la gravitación, o gravedad cuántica, aún inexistente hoy día. Estas dificultades deberían resolverse en el marco de la hipotética teoría unificada.

Un paso intermedio hacia esa teoría son las teorías de Gran Unificación (GUT o *grand unification theories*), que abarcan todas menos la gravitación. Varios modelos se han propuesto, por Salam, Pati, Georgi, Glashow y otros, pero ninguno se ha confirmado hasta el presente.

XIII. Supersimetría, Supergravedad Supercuerdas y Gravedad Cuántica

El Modelo Estándar como teoría de las interacciones débiles, fuertes y electromagnéticas por un lado y la Relatividad General como teoría clásica de la gravitación por otro, constituyen la última palabra de nuestro conocimiento del mundo en tanto que teorías confirmadas por la experiencia. En adición disponemos de una gran variedad de ideas teóricas como las teorías de Kaluza-Klein y las GUT ya mencionadas, y las

mencionadas en lo que sigue de este artículo, que aún deben pasar la prueba del experimento. Estas ideas apuntan a unificar las interacciones fundamentales, pero también a dar una descripción de la gravitación cuántica, considerados los grandes problemas no resueltos del siglo XX.

Una idea atractiva que apareció en los años 1970's es la de considerar simetrías que mezclen bosones y fermiones, con lo que los campos de materia y de interacción podrían considerarse parte de un mismo objeto, llamado, crease o no, *supercampo*, ya que las simetrías mencionadas van por el nombre de *supersimetrías*. Las teorías supersimétricas tienen mejores propiedades cuánticas que las que no lo son, y una de aquellas que incorporan gravitación, llamadas *supergravedades*, fue vista por un tiempo como candidato a la tan buscada teoría unificada. Sin embargo se entendió pronto que estas teorías aún tienen problemas a nivel cuántico.

Esto llevó a los investigadores (ver referencias [5,6]) a considerar las *teorías de supercuerdas*, en las que las partículas elementales se reemplazan por cuerdas. Solo hay unas pocas de estas teorías (cinco) que sean consistentes a nivel cuántico, en el sentido de estar libres infinitos, y están definidas en espacio-tiempos de diez dimensiones (en vez de las cuatro que vemos). Esto llevó a revivir las teorías de Kaluza-Klein, explicando la discrepancia en el número de dimensiones por la 'compactificación' o 'enrollado' de seis de ellas en dimensiones mucho menores que un núcleo, haciéndolas inobservables.

El grave problema es que las supercuerdas están definidas *perturbativamente*, como ciertas series de términos cada uno más pequeño que el anterior, pero la determinación de la forma de compactificación, de la cual depende toda la física observada (partículas existen, que propiedades tienen y como interactúan) requiere conocer la teoría en forma *no perturbativa*. En los 1990's

se avanzó sugiriéndose que hay una sola teoría en once dimensiones, a la que se llamó teoría M, de la que todas las teorías de supercuerdas consistentes son casos límite (ver referencia [6]). Sin embargo la forma explícita de la teoría M es desconocida aún hoy, y el desconocimiento de esta teoría en forma no perturbativa continúa impidiendo hacer predicciones.

Para poner una analogía, que es mejor de lo que parece, considérese el problema de mecánica clásica de una partícula de masa dada moviéndose en una dimensión bajo la influencia de un cierto potencial con uno o varios mínimos. Los mínimos del potencial son puntos de equilibrio estable de la partícula, y conociendo el potencial se puede calcular la frecuencia de las pequeñas oscilaciones de la partícula alrededor de los mínimos a partir de su derivada segunda. Ahora, si solo conocemos el potencial como una serie de Taylor alrededor de un cierto punto, de la que solo conocemos unos pocos términos es imposible determinar los mínimos o las frecuencias de oscilación con precisión. En el caso de las supercuerdas los mínimos representan soluciones de la teoría completa, universos posibles, a veces llamados vacíos de la teoría, y las frecuencias de la partícula del ejemplo corresponden a las masas y constantes de interacción de las partículas presentes. La falta de una formulación no perturbativa ha llevado entonces a una falta de predicciones de la teoría, a pesar de treinta años de esfuerzos y dedicación de un gran número de investigadores, en detrimento de otras áreas teóricas. Esto ha llevado a los críticos más duros a acusar la teoría de ser una moda, un fenómeno sociológico análogo a las *burbujas* en economía, en las que un área o rubro infla su valor mucho más allá de su valor real; además de acusar a los teóricos de supercuerdas de 'vender un buzón' a sus colegas y al público, exagerando el alcance real de sus logros.

En este sentido no cabe duda que la comunidad de los supercuerdistas ha sido muy exitosa, ya que en los últimos 30 años más

del 90 % de las nuevas designaciones de profesores de Física Teórica de las Altas Energías en las más prestigiosas universidades estadounidenses han correspondido a supercuerdistas. Esto tiene consecuencias muy concretas en las carreras y elección de línea de investigación de los físicos que inician sus carreras en física teórica fundamental, quienes enfrentan la encrucijada de elegir temas de moda dentro de las cuerdas o arriesgarse a una difícil búsqueda de trabajo académico y a la marginación.

El astrofísico Lawrence Krauss ha dicho que se considera una tragedia que Einstein haya desperdiciado los últimos años de su vida en una búsqueda fútil de una teoría unificada, pero que es mucho mayor la tragedia de los miles de investigadores que han desperdiciado sus carreras durante los últimos treinta años en el esfuerzo inútil de las supercuerdas.

La situación ha sido hecha aún peor por la afirmación de algunos supercuerdistas de que la teoría tiene un número enorme de soluciones, estimado en 10 elevado a la 500, cuyo conjunto es llamado el *landscape*, entre las cuales estaría nuestro universo. La existencia de un número tan grande de soluciones, que de hecho no se pueden construir, es en la práctica lo mismo que ser incapaz de predecir nada.

Esta situación ha sido el objeto de un intenso debate en tiempos recientes, expuesta por ejemplo en los libros *«The Trouble with Physics»* de Lee Smolin³ y *«Not even Wrong»* de Peter Woit, y en diversos blogs en Internet. Por discusiones recientes sobre los problemas de la teoría de supercuerdas ver las referencias en [7].

Creo que, aunque algunos avances conceptuales de las supercuerdas son valiosos

³ El Dr. Lee Smolin es un físico estadounidense muy conocido internacionalmente, que nos ha visitado en varias ocasiones y lo hará de nuevo próximamente para la conferencia «Quantum Gravity in the Southern Cone», a realizarse en Punta del Este entre el 22 y el 25 de octubre de 2007.

y posiblemente formen parte de una futura teoría unificada, muchas de las críticas que se le hacen están plenamente justificadas. Para empezar se han exagerado desmedidamente desde hace más de veinte años los logros reales y concretos de la teoría, transmitiendo una imagen distorsionada en la cual solo 'detalles técnicos' faltan, lo cual estaba y está muy lejos de la realidad. Recuerdo claramente leer el artículo de Michael Green a fines de los 1980's como un estudiante principiante de física, quedándome la sensación de que ese cuento se había acabado, simplemente había que poner algún punto sobre las ias aquí y allá. Nada más lejos de la verdad.

Un enfoque alternativo al de las supercuerdas al problema de la construcción de una teoría cuántica de la gravitación es el llamado «Gravedad Cuántica de Lazos» o «Loop Quantum Gravity» (LQG), del cual uno de los proponentes más conocidos es el mencionado Lee Smolin. Este enfoque no tiene como objetivo sin embargo la unificación de las interacciones fundamentales. En nuestro país es seguido por el Prof. Rodolfo Gambini, de la Facultad de Ciencias y sus estudiantes, siendo su trabajo internacionalmente reconocido.

XIV. Futuro

¿Qué nos deparará el futuro?

Una posibilidad, no descartada, es que se descubra la formulación no perturbativa de la teoría M, y que esta constituya la ansiada teoría final.

Otra posibilidad es que esta teoría unificada pueda construirse, pero que no tenga nada que ver con las supercuerdas.

También puede ser que todas las regularidades que observamos y llamamos leyes sean en el fondo el resultado aparente de una realidad fundamental realmente caótica, y que resulten de que vemos esa realidad en una escala muy grande comparada con aquella en la que aparece caótica, una

versión sofisticada de la frase de que en la oscuridad todos los gatos son pardos. Este punto de vista es sostenido por Holgar Nielsen, y tiene el problema de que de todos modos debería dar ciertas leyes que expliquen como emergen las regularidades que observamos. Una variante de esta idea ha sido propuesta por Tegmark (ver referencia [8]), quien sugiere que todas las estructuras matemáticas formales consistentes gozan de 'existencia' en cierto sentido, y que simplemente somos parte de una de ellas lo suficientemente compleja como para contenernos.

Esta última propuesta se vincula con el llamado 'principio antrópico' (ver [9]), según el cual muchas de las características observadas del universo se explican por ser requeridas por nuestra presencia como observadores, lo cual implicaría que vivimos en una región del universo fuera de la cual las reglas podrían ser otras.

Aún otra posibilidad, que podría surgir dentro del marco de las supercuerdas y la teoría M, u otro, es que el espacio y el tiempo no fueran conceptos fundamentales, sino emergentes en escalas de longitud grandes, análogos a la temperatura o la presión de un gas.

Otra variante reciente de estas ideas, defendida por físicos de la Materia Condensada como el Premio Nóbel Robert Laughlin y Xiao-Gang Wen, es que las partículas que consideramos elementales pudieran ser el análogo de las excitaciones colectivas o 'fonones', que aparecen como elementales obedeciendo leyes simples y con mucha simetría solo a bajas energía (ver [10]).

En nuestro país también se investiga en estas cuestiones. En el grupo de Teoría de Campos y Relatividad de la Facultad de Ciencias, al que pertenezco, la línea de investigación con mayor trayectoria en cuanto a antigüedad y número de publicaciones internacionales es la de LQG del Prof. Gambini, ya mencionada (ver [11]). Por mi parte considero que una clase de teorías llamadas «Gravedades de Chern-Simons»,

y posiblemente formen parte de una futura teoría unificada, muchas de las críticas que se le hacen están plenamente justificadas. Para empezar se han exagerado desmedidamente desde hace más de veinte años los logros reales y concretos de la teoría, transmitiendo una imagen distorsionada en la cual solo 'detalles técnicos' faltan, lo cual estaba y está muy lejos de la realidad. Recuerdo claramente leer el artículo de Michael Green a fines de los 1980's como un estudiante principiante de física, quedándome la sensación de que ese cuento se había acabado, simplemente había que poner algún punto sobre las ias aquí y allá. Nada más lejos de la verdad.

Un enfoque alternativo al de las supercuerdas al problema de la construcción de una teoría cuántica de la gravitación es el llamado «Gravedad Cuántica de Lazos» o «Loop Quantum Gravity» (LQG), del cual uno de los proponentes más conocidos es el mencionado Lee Smolin. Este enfoque no tiene como objetivo sin embargo la unificación de las interacciones fundamentales. En nuestro país es seguido por el Prof. Rodolfo Gambini, de la Facultad de Ciencias y sus estudiantes, siendo su trabajo internacionalmente reconocido.

XIV. Futuro

¿Qué nos deparará el futuro?

Una posibilidad, no descartada, es que se descubra la formulación no perturbativa de la teoría M, y que esta constituya la ansiada teoría final.

Otra posibilidad es que esta teoría unificada pueda construirse, pero que no tenga nada que ver con las supercuerdas.

También puede ser que todas las regularidades que observamos y llamamos leyes sean en el fondo el resultado aparente de una realidad fundamental realmente caótica, y que resulten de que vemos esa realidad en una escala muy grande comparada con aquella en la que aparece caótica, una

versión sofisticada de la frase de que en la oscuridad todos los gatos son pardos. Este punto de vista es sostenido por Holgar Nielsen, y tiene el problema de que de todos modos debería dar ciertas leyes que expliquen como emergen las regularidades que observamos. Una variante de esta idea ha sido propuesta por Tegmark (ver referencia [8]), quien sugiere que todas las estructuras matemáticas formales consistentes gozan de 'existencia' en cierto sentido, y que simplemente somos parte de una de ellas lo suficientemente compleja como para contenernos.

Esta última propuesta se vincula con el llamado 'principio antrópico' (ver [9]), según el cual muchas de las características observadas del universo se explican por ser requeridas por nuestra presencia como observadores, lo cual implicaría que vivimos en una región del universo fuera de la cual las reglas podrían ser otras.

Aún otra posibilidad, que podría surgir dentro del marco de las supercuerdas y la teoría M, u otro, es que el espacio y el tiempo no fueran conceptos fundamentales, sino emergentes en escalas de longitud grandes, análogos a la temperatura o la presión de un gas.

Otra variante reciente de estas ideas, defendida por físicos de la Materia Condensada como el Premio Nóbel Robert Laughlin y Xiao-Gang Wen, es que las partículas que consideramos elementales pudieran ser el análogo de las excitaciones colectivas o 'fonones', que aparecen como elementales obedeciendo leyes simples y con mucha simetría solo a bajas energía (ver [10]).

En nuestro país también se investiga en estas cuestiones. En el grupo de Teoría de Campos y Relatividad de la Facultad de Ciencias, al que pertenezco, la línea de investigación con mayor trayectoria en cuanto a antigüedad y número de publicaciones internacionales es la de LQG del Prof. Gambini, ya mencionada (ver [11]). Por mi parte considero que una clase de teorías llamadas «Gravedades de Chern-Simons»,

serán una pieza importante de una posible futura teoría unificada. Durante los últimos años he investigado en estas teorías, lo cual llevó a resultados publicados en algunos artículos en revistas internacionales referadas (ver [11]). Debo agregar que esta línea no es actualmente la que cuenta con más adeptos, pero mientras en esta búsqueda no haya ganadores, tampoco hay perdedores, y es importante mantener abiertas todas las opciones sensatas.

En mi opinión el éxito de las teorías de gauge y la belleza formal del principio de simetría en que se basan, la convergencia de las constantes de acoplamiento mencionada arriba, y el avance hacia explicaciones en términos conceptuales cada vez más simples son fundamento para creer que una teoría unificada debe existir y quizá no estemos tan lejos de descubrirla. La confusión y la proliferación de propuestas teóricas son características de los períodos más fructíferos de la física, como el que llevó a la Relatividad General o a la Mecánica Cuántica.

Alguien podría argumentar que a cada nivel de comprensión lo debe seguir uno más profundo, y que la búsqueda no tiene fin. Podría ser, pero algunas búsquedas terminan, como dice Weinberg en [1], una vez que se llega al polo norte, no se puede ir más al norte. Un ejemplo de la situación que podría darse es el descubrimiento del ADN por Crick y Watson, dando una respuesta definitiva a la pregunta de que es la vida (en el sentido biológico, claro), sin necesidad de explicar un árbol por arbolitos diminutos en cada célula y así sucesivamente, pero a su vez iniciando una edad de oro de la biología que continúa hasta hoy.

Está claro para todos que nueva información experimental y observacional será esencial para avanzar más allá del Modelo Estándar. Es por esto que los físicos de altas energías esperan con enorme expectativa la entrada en funcionamiento de un nuevo acelerador de partículas del CERN en Suiza,

conocido como «*Large Hadron Collider*» (LHC) en el 2008 (ver [12]).

Hay además importantes y sorprendentes datos recientes provenientes de estudios cosmológicos que indican por ejemplo que el vacío tiene energía, la llamada «*Energía Oscura*», cuya comprensión teórica promete llevar a una revolución en nuestra comprensión de las leyes físicas (ver [12]).

En resumen, nuestra imagen actual del universo, en el sentido de modelo teórico verificado por la experiencia y la observación, esta dada por la Relatividad General y el Modelo Estándar, y corresponde a un espacio-tiempo clásico cuya geometría está descrita por la Relatividad General, en el cual se propagan los campos cuánticos del Modelo Estándar (espinores, campos de gauge y campos escalares). La existencia de importantes problemas y cabos sueltos en estos modelos, como la falta de una teoría cuántica de la gravitación, el problema de la materia y energía oscuras, y la clara percepción de que el modelo estándar debe ser parte de una estructura más simple y coherente, son para la mayoría de los teóricos indicaciones de que esta imagen del mundo se verá grandemente modificada durante los próximos años. No hay forma de saber por adelantado cuales serán estas modificaciones, pero no cabe duda de que no serán menores. Podría ser que el número de dimensiones del espacio-tiempo resulte ser mayor que cuatro, que el espacio-tiempo no sea continuo sino discreto, o este descrito por matemáticas más exóticas (como la geometría no conmutativa de Connes), que la mecánica cuántica deba modificarse, que nuestro universo sea uno de muchos universos (lo cual puede tener muchos significados [13]), o alternativas aún más extrañas en las que nadie ha pensado (ver [14]). Me recuerda la película «*Hombreros de Negro*», cuando el Agente K le dice al Agente J, descubriendo que el mundo no es lo que creía durante su 'entrenamiento', «*Imagina lo que sabrás mañana*».

Ya veremos, el tiempo dirá, pero no cabe duda de que estos sean tiempos interesantes.

XV. Lecturas adicionales y links

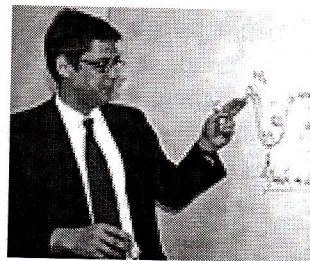
- [1] Un librito excelente sobre la búsqueda de la teoría unificada, por uno de los protagonistas de la física contemporánea es: S. Weinberg, *El sueño de una teoría final*, Editorial Crítica, Biblioteca de Bolsillo, 2003.
- [2] Un bonito artículo reciente sobre la búsqueda por Einstein de la teoría unificada por el Premio Nobel D. Gross puede hallarse en www.ias.ac.in/currsci/dec252005/2035.pdf. Ver también el sitio: www.lrz-muenchen.de/~aunzicker/ae1930.html dedicado a los intentos de Einstein de una Teoría del Campo Unificado.
- [3] Un artículo interesante sobre las teorías de gauge y el modelo estándar es: G. 't hooft, *Teorías gauge de las fuerzas entre partículas elementales*, Investigación y Ciencia, 47(1980)58.
- [4] Un artículo sobre Teoría Cuántica de Campos puede encontrarse en wikipedia en: www.en.wikipedia.org/wiki/Quantum_theory_of_field con varios links, es interesante en particular el de Wilczek.
- [5] Por una perspectiva de como se percibía la teoría de Supercuerdas en los ochenta ver el artículo de Michael Green en Investigación y Ciencia, en www.damtp.cam.ac.uk/user/mbg15/superstrings/superstrings.html. Un buen libro de la misma época, con una descripción de la teoría y entrevistas a físicos destacados a favor y en contra de esta (es notable lo vigentes que están las críticas de los Premio Nobel Glashow y Feynman) es: «Supercuerdas ¿Una Teoría de Todo?», Edición de P. Davies y J. Brown, Alianza Editorial, 1990.
- [6] Una introducción general a la teoría M puede encontrarse en wikipedia, en www.en.wikipedia.org/wiki/M-theory, donde además hay links a artículos adicionales sobre el tema por algunos de los expertos.
- [7] Lee Smolin, «*The Trouble with Physics*», (Houghton Mifflin, 2006). Peter Woit, «*Not Even Wrong*», (Johnatan Cape, 2006). Blogs Pro-supercuerdas: Jacques Distler, «*Musings*», golem.ph.utexas.edu/~distler/blog/ Clifford Johnson, «*Asymptotia*», www.asymptotia.com/ Blogs críticos de las supercuerdas: John Baez, math.ucr.edu/home/baez Peter Woit, «*Not even wrong*», www.math.columbia.edu/~woit/blog/ Blog más o menos neutral (participando en el debate) «*Cosmic Variance*», cosmicvariance.com/ Por más de una visión muy crítica actual de las supercuerdas ver la página de Peter Woit www.math.columbia.edu/~woit/, su artículo publicado en American Scientist www.math.columbia.edu/%7Ewoit/strings.pdf.
- [8] Sobre la idea de 'no leyes' de Tegmark y otros ver www.space.mit.edu/home/tegmark/toe_press.html
- [9] Sobre el principio antrópico en wikipedia www.en.wikipedia.org/wiki/Anthropic_principle Ver también <http://physicsworld.com/cws/article/print/3>
- [10] Un artículo publicado en New Scientist en este tema a un nivel de divulgación es: dao.mit.edu/~wen/NSart-wen.html. También ver www.fqxi.org/community/data/articles/Wen_Kanipe.pdf. Una discusión más técnica: dao.mit.edu/~wen/book/oup-prefinr.pdf
- [11] A partir de los 1990's los artículos de investigación en muchas áreas de la física, entre ellas Altas Energías y

CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSAS

¿Física Vs. Cáncer?

Un interrogante que cobra vigencia

Desde hace bastante tiempo que se habla de un investigador, Dr. en Física, Profesor de Matemática de la Universidad Complutense de Madrid, Antonio Brú, quien afirma haber curado al menos dos pacientes con cáncer en fase terminal, usando conceptos de física y un medicamento usado en terapias asociadas (G-CSF Factor Estimulador de Colonias de Granulocitos). *(Más información en la Fundación General de la Universidad Complutense de Madrid).*



El anuncio hecho público a través de los noticieros televisados locales y nacionales causó cierto revuelo en Montevideo, pero por distintos motivos, principalmente por lo delicado del tema y el de generar falsas esperanzas, no se hizo posterior mención al mismo. Desde entonces pasó algo de tiempo hasta el 20 de Julio de 2007 cuando, en respuesta a diversos artículos publicados en El Mundo y El País de España, se publica una carta del citado profesor dejando en claro sus apreciaciones y puntos de vista.

Physical Review Letters, revista de artículos de física, publicación del Instituto Americano de Física (la institución científica más importante del mundo en cuanto al número de revistas científicas, artículos, asociaciones, premios Nobel, etc.), y el Journal of Clinical Research publicaron en su momento diversos artículos al respecto.

En 1998, Antonio Brú (con un equipo pluridisciplinar, donde han intervenido biólogos moleculares, inmunólogos, anatomopatólogos, clínicos, físicos...), demuestra que existe un patrón matemático en el crecimiento tumoral sólido (excluye leucemia y linfáticos), que se describe a través de una ecuación. Le quedaba por descubrir cómo anular esta estrategia de crecimiento. En sus palabras *«Estudiaba la propagación de frentes en suelos arcillosos, las características geométricas del borde, y lo que hice fue aplicar las mismas herramientas físicas y matemáticas a los tumores para ver si podía extraerse algún tipo de tendencia o información del crecimiento tumoral, un asunto del que prácticamente no se sabía nada.»* Lo que estaba haciendo era un ejercicio de física: describir un proceso natural por medio de las matemáticas... *«...descubrir una estrategia para anular ese mecanismo de crecimiento, y así llegamos a la potenciación de un determinado leucocito, el neutrófilo...»*

No ahondaremos en polémicas, dejaremos al lector realizar sus propias investigaciones; actualmente el equipo de Brú sigue investigando. En diversos hospitales e institutos de España se están aplicando sus terapias. Incluimos la dirección de mail que aparece en la universidad: bru@mat.ucm.es. Detalles físico-matemáticos de su teoría se pueden leer en Wikipedia, Physical Review Letters (en inglés, pero existe versión en español en pdf), Journal of Clinical Research, entre otros (artículos como: *«Super-rough dynamics on tumor growth»*; *«Universal Scaling of Tumor Growth»*; *«The universal dynamics of tumor growth»*, *«Regulation of neutrophilia by granulocyte colony-stimulating factor: a new cancer therapy that reversed a case of terminal hepatocellular carcinoma»*, entre otros) así también como otros artículos interesantes de Física.

Fuentes: Physical Review Letters; Journal of Clinical Research, Wikipedia, <http://www.terapia-cancer.org/>, diario El Mundo (edición digital) y diario El País de España.

FÍSICA DEL HUMOR

El hijo de un Físico le pregunta a su papá:

- Papá, ¿puedo meter los dedos en el enchufe?
- No, porque te vas a electrocutar.
- Pero papá, quiero meter los dedos en el enchufe.
- Te dije que no porque te vas a electrocutar.

El niño insiste:

- Pero yo quiero meter los dedos en el enchufe.
- Bueno, está bien meté los dedos en el enchufe.
- ¿Y si me electrocuto?

• • •

Termodinámica en casa

Mamá, mamá, el termómetro ha bajado.

- ¿Cuánto, hijo?
- Dos metros; es que se ha caído al suelo y se ha hecho añicos.

• • •

Se encuentran dos físicos amigos por la calle. Uno de ellos era sordo, así que el otro le empieza a hablar por señas. El sordo le dice:

- No hace falta que me hables más por señas, ya no estoy sordo. El otro día me fabriqué un aparatito aprovechando mis conocimientos y lo último en tecnología. Imagínate que oigo perfectamente las conversaciones a cincuenta metros.
- ¡Fantástico!, ¿Y cuánto te ha costado?
- Anoche prontito, como a las diez y media.

• • •

Helsenberg y Jaimito

El «profe»:

- Jaimito, rápido, ¿cuánto es $2+3$?
- Raudo y veloz contesta Jaimito:

– ¡Cuatro!

– ¿Cuatro?, pregunta el «profe».

– Pero bueno... ¿Usted qué quiere... velocidad o precisión?

• • •

Durante la Segunda Guerra Mundial, a alguien se le ocurrió la idea de mirar donde habían sido tocados los aviones al volver de sus misiones y reforzar esos puntos. Así que empezaron a hacer estadísticas acerca de qué zonas del avión estaban más expuestas. Al analizar los resultados, se dieron cuenta de un pequeño detalle: lo que había que reforzar eran las zonas que recibían más balazos de los aviones que NO volvían de sus misiones.

• • •

Una Profesora no conseguía ver su «tele» recién comprada, así que, creyendo que o se la habían vendido estropeada o no entendía como conectarla, llamó a su amigo, profesor de Física, antes de llamar a la tienda protestando y pasar vergüenza. Su amigo concurrió y la «arregló» por el sofisticado procedimiento de conectar la antena.

Cuando se lo dijo a su amiga, esta le preguntó:

- Óyeme, ¿a qué distancia esta la estación repetidora?
- Pues no se... a unos 30 Km de aquí, me imagino...
- Quiere decir que la imagen es capaz de recorrer 30 kilómetros hasta la antena, pero luego no puede recorrer los diez centímetros que hay de la antena a la «tele».

• • •

En realidad los aviones con un solo motor son planeadores, y la hélice no es más que un ventilador. Si no lo crees, quítala y veras como el piloto empieza a sudar.

EDUCACIÓN en FÍSICA

Revista de la Asociación de Profesores de Física del Uruguay

Volumen 7 Número 5

Setiembre, 2007

SUMARIO

EDITORIAL	pág. 1
CON RELACIÓN A LA PRESENTE EDICIÓN CÓMO ENVIAR SUS TRABAJOS	pág. 2
LOS INFORMES DE PRÁCTICOS DE 2DO. CICLO PRESENTADOS COMO ARTÍCULOS CIENTÍFICOS Pedro Caramán - Alejandro Parrella	pág. 3
ESPACIO DE A.P.F.U.	pág. 9
WEB (I)	pág. 10
EFFECTO DOPPLER: bueno, bonito y barato Diego Viera, Leticia Perinetti Giovanna Pesce y Eduardo Porro	pág. 11
APOSTILLAS FÍSICAS	pág. 15
WEB (II)	pág. 16
PUERTAS LÓGICAS Mariel Pamero - Edgar Gómez	pág. 17
EL CAMINO A LA UNIFICACIÓN Pablo Mora	pág. 23
CURIOSOS CASOS, COSAS CURIOSAS	pág. 35
FÍSICA DEL HUMOR	pág. 36