



El termómetro de Galileo como instrumento didáctico en el aula de Física

ABSTRACT: In this article we pursue to let students know about the Galileo's Thermometer: its functioning and its didactic applications.

Being quite rudimentary, Galileo's Thermometer is a historical instrument which can be rather useful in the teaching of Physics. With it, different aspects related to Fluid Statics, Heat and Temperature can be studied. It also allows to get an insight into the history and evolution of Physics, which is basic in order to learn about it.

1. Introducción

La enseñanza de la Física, a todos los niveles, ha de asumir la experimentación como el complemento imprescindible para su aprendizaje. En este sentido, los alumnos han de familiarizarse con experimentos, procedimientos e instrumentos habituales de la Física, y asumirlos como parte integrante de su estudio (Gil et al, 1991; Rosado y Ayensa, 1999). Una forma de conseguir este propósito consiste en incorporarlos al quehacer diario de las clases de Física. Esto permite ensamblar los conceptos teóricos con experiencias que ponen de manifiesto su significado, y diluir, así, la separación que, habitualmente, hacemos entre las experiencias de laboratorio y el trabajo de aula (Rosado, 2001).

La descripción del funcionamiento de instrumentos físicos es un recurso de gran importancia didáctica; no en vano, ha sido uno de los medios más utilizados en la enseñanza de la Física a lo largo de la historia (Del Egidio et al, 2000; García y Villalda, 2000). El interés de su utilización radica en que para conocer el funcionamiento de un instrumento, los alumnos han de estudiar y comprender los conceptos físicos en los que se basa; y lo que es más importante, el contacto directo que se

ANTONIO GARCÍA CARMONA

tiene con dichos conceptos, lo cual favorece el aprendizaje de los mismos.

Hoy día podemos evocar este tipo de recursos con instrumentos que son ya reliquias históricas de la Física. Este es el caso del termómetro de Galileo; el cual nos permite, por un lado, adentrarnos en la historia y evolución de la Física, y, por otro, la posibilidad de introducir y contrastar algunos conceptos físicos, dada su escasa complejidad en relación con los instrumentos actuales.

Por todo ello, el propósito de este trabajo es dar a conocer el termómetro de Galileo y algunas de sus aplicaciones didácticas en la enseñanza de la Física.

2. El termómetro de Galileo

2.1 Historia y evolución

Quizás sea poco conocido el hecho de que Galileo (1564-1642) estudiara medicina, ya que nunca llegó a ser médico. No obstante, su atracción por la medicina fue notoria, mostrando un interés especial por el estudio de la temperatura corporal como parámetro relacionado con ciertas enfermedades. Galileo fue uno de los principales precursores del estudio de la temperatura y en 1597 inventó el primer instrumento científico para medir temperaturas. Éste lo definió como *un instrumento de vidrio con agua y aire para distinguir, de las variaciones de frío y calor, la variedad de temperaturas de los lugares*.

Este primer instrumento, al que llamó *termoscopio*, era muy rudimentario y consistía en un tubo de vidrio largo y estrecho, abierto por un extre-

mo; el cual estaba lleno hasta su mitad de agua coloreada (incluso llegó a usar vino) y se colocaba boca abajo en un recipiente, abierto, que contenía la misma cantidad de agua. Al producirse un cambio de temperatura, el gas contenido en el tubo se dilataba o contraía, de modo que la columna de agua ascendía o descendía¹.

El primero que realizó mediciones importantes con el termoscopio de Galileo fue Sanctorius, ilustre médico italiano y discípulo de Galileo, quien recogió en su *De medicina statica* (1614) innumerables mediciones de la temperatura corporal, con el fin de determinar la relación de ésta con algunas enfermedades. Estableció una escala cualitativa de "doce grados", de tal forma que a cada uno de ellos le asoció un estado térmico concreto de los enfermos. Esto le permitió elaborar una medicina para cada uno de esos grados o estados térmicos².

Ciertamente, el nombre de "termoscopio" era acertado, etimológicamente hablando, si tenemos en cuenta que el instrumento de Galileo no poseía una escala cuantitativa de temperaturas (sólo medía variaciones cualitativas de "frío" y de "calor"). Fue Leucheron, en 1624, quien introdujo por vez primera el término "termómetro"; si bien no sería hasta 1664, cuando R. Hooke estableciera la primera escala de temperaturas³ a partir de un "punto fijo" (punto de congelación del agua). Éste supuso una referencia importante para los termómetros ulteriores de G. D. Fahrenheit (1686-1736) y A. Celsius (1701-1744).

El termómetro original de Galileo sufriría cambios importantes, hasta tomar la forma que conocemos hoy día. Uno de estos fue debido a J. Ray, en 1631, quien consideró el agua contenida en el tubo de vidrio como la parte

¹Este instrumento inspiraría a Torricelli para hacer su experiencia sobre la medida de la presión atmosférica.

²Los antiguos médicos ya reconocieron la importancia de una escala comparativa de "grados de calor". Claudio Galeno (siglo II) había observado que la modificación del grado de calor es uno de los medios para la sanación, por lo que clasificó las medicinas según el grado de calor, frío, humedad y sequedad.

³La escala consistía en considerar que cada grado representaba un incremento de aproximadamente igual a 1/500 partes del volumen del líquido del termómetro.

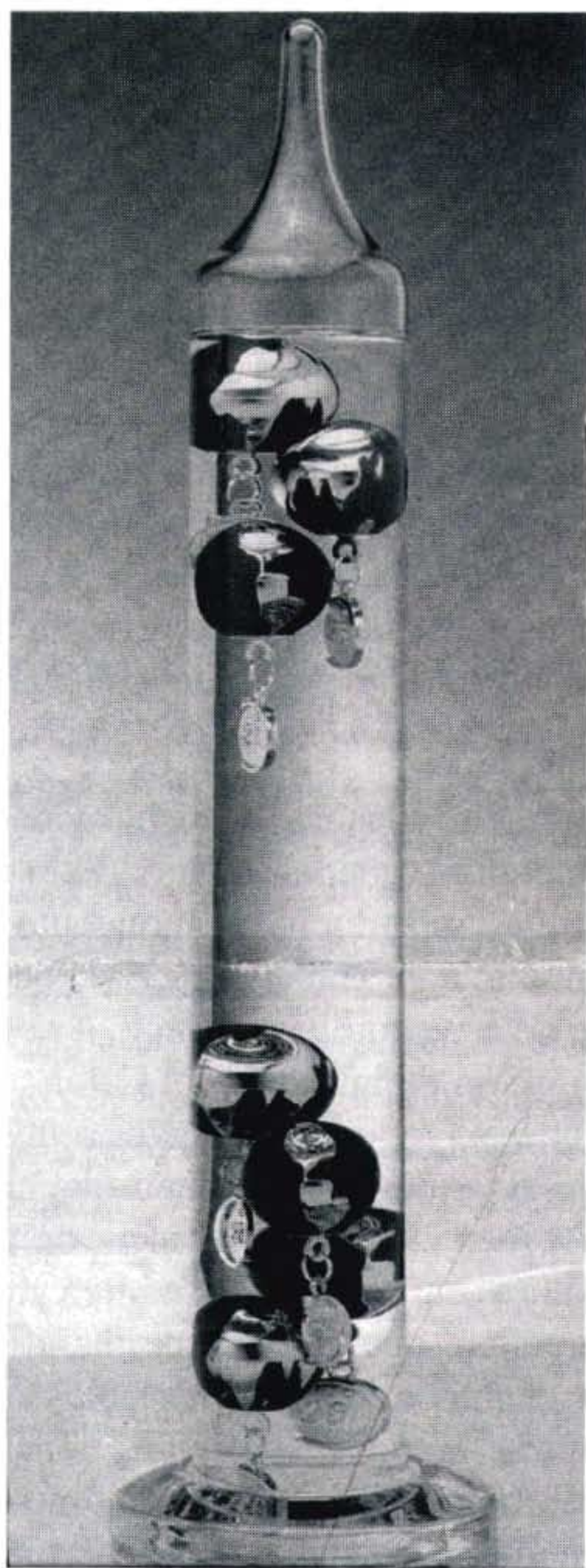


Figura 1. El termómetro de Galileo en la actualidad.

sensible del termómetro, en lugar del aire. De este modo, el "calentamiento" y el "enfriamiento", debido a los cambios de temperatura, eran registrados por la expansión y contracción de la columna de agua. Para ello, había que eliminar el aire contenido en el tubo. Esto llevó al duque de Toscana, en 1635, a construir el primer termómetro sellado por ambos extremos⁴, eliminando, al menos parcialmente, el aire contenido en la parte superior del tubo. Además, utilizó alcohol en lugar de agua.

En la actualidad, el termómetro de Galileo consiste en un tubo de vidrio vertical, cerrado por ambos extremos, que contiene un líquido en el que se encuentran diversas bolas flotantes, etiquetadas con distintos valores de temperatura (Fig.1). No se sabe exactamente a quien se debe la introducción de los cuerpos flotantes en el termóme-

tro, ni la escala de temperatura que utiliza (la extensa bibliografía consultada no lo esclarece). Sí es cierto que Galileo fue un gran estudioso de la obra de Arquímedes, al que consideró como uno de sus grandes maestros. De hecho, realizó algunos trabajos en hidrostática, como la invención de la balanza hidrostática en 1586 y el establecimiento de las bases para el principio de flotación; por ello, quizás fuera el propio Galileo quien propusiera la inclusión de los cuerpos flotantes en su termómetro, después de las aportaciones de Ray y el duque de Toscana. No obstante, esto no deja de ser una mera suposición.

De cualquier manera, lo cierto es que así es como conocemos hoy al termómetro de Galileo; el cual se utiliza más como ornamento que como termómetro.

2.2 Descripción y funcionamiento

El termómetro de Galileo, señalado anteriormente (Fig.1), está compuesto de un tubo de vidrio vertical, sellado por ambos extremos, que contiene una columna de líquido con varias bolas flotantes; las cuales poseen distinto peso y están etiquetadas con diferentes valores de temperatura. El rango de trabajo del termómetro oscila entre los 16 y 28°C, con una escala de 2°C (este rango puede variar según el fabricante).

Su funcionamiento está basado en la contracción y dilatación del líquido contenido en el tubo, debido a los cambios de temperatura. Como consecuencia de ello, la densidad del líquido varía con la temperatura, produciéndose, así, cambios en el estado de flotación de las bolas; lo que nos indicará los distintos valores de temperatura.

El líquido utilizado en el tubo de vidrio suele ser alcohol, acetona o una mezcla de hidrocarburos (son menos densos que el agua y poseen coeficientes de dilatación mayor). Respecto a las bolas, inicialmente huecas, son de unos 3 cm de diámetro y están hechas, generalmente, de un plástico rígido y ligero, que sirve de envoltura (en ocasiones, se utiliza un vidrio fino y transparente). Éstas se rellenan de líquido —normalmente agua destilada— en distintas can-

tidades, con objeto de obtener un peso diferente para cada una de ellas.

Para que el funcionamiento del termómetro sea adecuado, sólo ha de variar la densidad del líquido del tubo, y no la de las bolas, ante los cambios de temperatura. Esto exige que el material empleado en la fabricación de las bolas (envoltura), no se dilate ni se contraiga —al menos apreciablemente—, ni ceda ante la dilatación del agua que contiene en su interior. El material utilizado (plástico rígido o vidrio) posee un coeficiente de dilatación mucho menor que el agua, y en el intervalo de trabajo (16-28°C), la dilatación de la envoltura de las bolas es prácticamente nula; por tanto, no permitirá la expansión del agua de su interior, evitando, así, que éstas modifiquen su densidad. Así pues, los cambios de temperatura, en el rango de sensibilidad del termómetro, sólo producirán variaciones en la densidad de la columna de líquido, permaneciendo constante la densidad de cada bola.

Con el fin de comprender el funcionamiento del termómetro de Galileo, vamos a considerar un termómetro con 7 bolas, etiquetadas con las siguientes temperaturas: 16, 18, 20, 22, 24, 26 y 28°C. Éstas se gradúan de forma que sus densidades guardan la siguiente relación: $d_{28} < d_{26} < d_{24} < d_{22} < d_{20} < d_{18} < d_{16}$

Esa graduación se obtiene de tal forma que, para cada valor de temperatura, comprendida entre 16 y 28°C, la bola etiquetada con ese valor se sitúa, aproximadamente, en la mitad de la columna; de modo que su densidad coincide con la del líquido, y, por tanto, la lectura del termómetro vendrá marcada por dicha bola (Fig. 2). Esto se consigue rellenando cada bola con la cantidad de agua necesaria, en cada caso, y con la ayuda de otro termómetro. El proceso consiste en aportar energía en forma de calor al líquido contenido en el tubo, hasta lograr alcanzar la temperatura deseada. A continuación se escoge la bola que va a representar esa temperatura y se rellena de agua hasta que se sitúa justo en la mitad de la columna. Este proceso se repite para cada una de las bolas.

⁴Hay que señalar que uno de los grandes problemas del termómetro original de Galileo era la influencia de la presión atmosférica en la columna de líquido, al estar abierto a la atmósfera, el recipiente sobre el cual se colocaba el extremo abierto del tubo vertical.

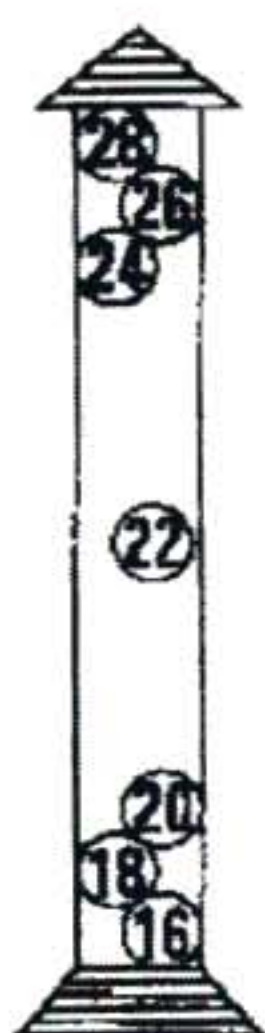


Figura 2. El termómetro marca una temperatura de 22°C.



Figura 3. La temperatura aproximada es de 20°C.

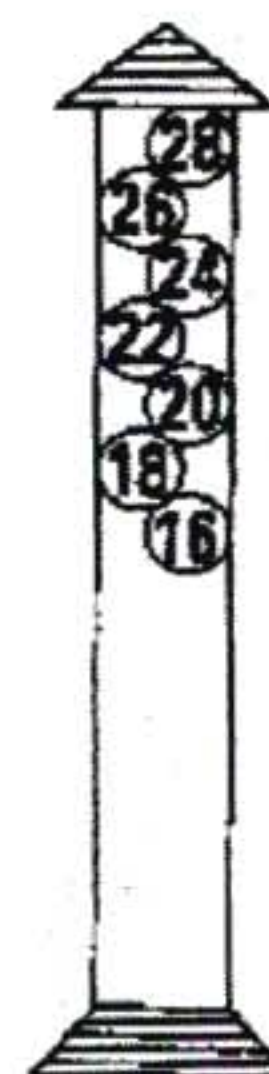


Figura 4. La temperatura está por debajo de los 16°C.

En la práctica, al no existir una bola para cada valor de temperatura, la lectura de ésta vendrá dada por la que, en ese momento, tenga la densidad más próxima a la del líquido; es decir, la más cercana a la mitad del tubo de vidrio. En la figura 3, la bola que está más próxima a la mitad de la columna es la etiquetada con 20°C; luego, la temperatura es de unos 20°C.

Si la temperatura está por debajo de los 16°C, todas las bolas se colocarán en la parte superior (Fig. 4), ya que el líquido del tubo se contrae, adquiriendo una densidad mayor que la de todas las bolas. En tal caso, sólo podremos decir que la temperatura es inferior a 16°C.

En cambio, cuando la temperatura está por encima de los 28°C, el líquido contenido en la columna de vidrio se ha dilatado tanto que todas las bolas se irán al fondo (Fig. 5), puesto que su densidad ha pasado a ser menor que la de todas las bolas. En esta situación la temperatura es superior a 28°C.

3. Aplicaciones Didácticas

La utilidad didáctica del termómetro se pone de manifiesto en la propia descripción de su funcionamiento, ya que, para ello, se han de tratar algunos conceptos relacionados con la Estática de Fluidos, el Calor y la Temperatura. El termómetro de Galileo es idóneo para estudiar, de forma cualitativa, la influencia de la temperatura en el empuje de los cuerpos sumergidos en un fluido. Se puede observar que, a medida que sube la temperatura, cada bola se hunde más en el fluido, y al contrario cuando la temperatura baja. Esto permite a los alumnos concluir

que existe una relación inversa entre la temperatura y el empuje.

Por otra parte, según el principio de Arquímedes, el empuje en el líquido contenido en el tubo de vidrio viene dado por la expresión $E = d_l \cdot V_c \cdot g$, donde d_l es la densidad del líquido, V_c el volumen de cada bola y g la gravedad. Puesto que los valores de V_c y g permanecen constantes, sólo hay que considerar la densidad del fluido como único parámetro variable en el empuje; con lo cual, las variaciones del empuje sobre las bolas son debidas a las variaciones de la densidad del líquido, de manera directamente proporcional. Esto, junto a lo anterior, permitirá a los alumnos concluir que la densidad del fluido (líquido), al igual que el empuje, varía de manera inversa a la temperatura.

Del mismo modo, puede ser útil para estudiar la diferencia entre Calor y Temperatura. Los alumnos podrán observar que ante un cambio de temperatura en el entorno, las bolas se mueven en el interior del termómetro hasta tomar una nueva posición. El movimiento de las bolas cesa cuando el

termómetro alcanza el mismo valor de temperatura que el medio. Esto nos permite introducir el concepto de Temperatura como el parámetro que da idea de ese equilibrio térmico. A raíz de esto, se ha de introducir el Calor como la energía que se ha intercambiado entre el termómetro y el entorno, como consecuencia de la diferencia de temperaturas entre ambos. Ese intercambio energético, que se pone de manifiesto con el movimiento de las bolas hasta alcanzar la nueva posición, concluye en el momento en que el entorno y el termómetro igualan sus temperaturas.

En cualquier caso, dadas las características del termómetro de Galileo, debe ser cada profesor quien establezca, con un poco de creatividad e ingenio, las aplicaciones didácticas más acordes a las necesidades de sus alumnos.

4. Conclusiones

Como hemos visto, se trata de un termómetro bastante rudimentario; sin embargo, presenta un gran interés didáctico, ya que su funcionamiento está basado en conceptos físicos elementales, que lo hacen idóneo para la enseñanza-aprendizaje de la Física en la Educación Secundaria.

Conviene señalar que la utilización de este tipo de instrumentos no requiere ningún tipo de preparativos; cosa que no ocurre con las experiencias habituales de laboratorio, donde se han de diseñar y preparar las experiencias, con el empleo de tiempo que ello conlleva. Asimismo, su carácter ornamental, hace que éste pueda integrarse perfectamente en el conjunto de objetos habituales de un aula. Esto permite a

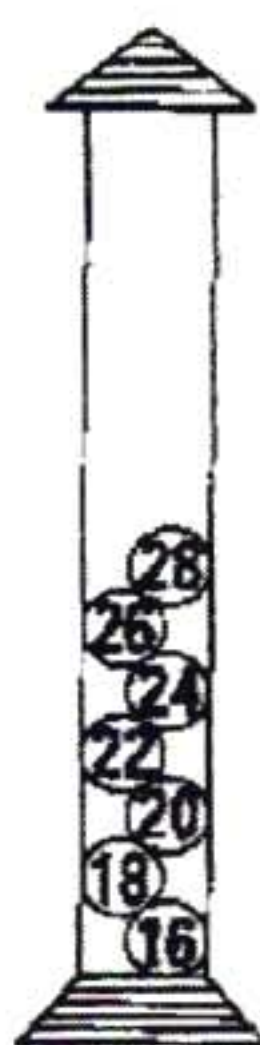


Figura 5. La temperatura es superior a los 28°C.

los alumnos una observación prolongada -a lo largo de un curso académico- de su funcionamiento, y de los principios físicos en que se basa; lo cual favorece el aprendizaje de los alumnos, que cuentan con el tiempo suficiente para afianzar los conceptos que dictan su funcionamiento.

Merece una mención especial la idoneidad de instrumentos clásicos, como el termómetro de Galileo, a la hora de hacer una intromisión en la historia de la Física. No hay que olvidar el importante papel de la historia de las Ciencias en el aprendizaje de las mismas, ya que ello permite conocer el proceso de construcción y evolución del conocimiento científico hasta nuestros días.

En suma, la descripción de instrumentos de medida es una herramienta de gran peso didáctico, que favorece el aprendizaje de conceptos y fomenta el interés de nuestros alumnos por la Física.

Referencias

- [1] DEL EGIDO, A. et al (2000). Instrumentos científicos en la enseñanza de la Física. M.E.C. Madrid.
- [2] ENCICLOPEDIA DE LOS INVENTOS (Interactiva) (1999). Salvat. Barcelona.
- [3] ENCICLOPEDIA UNIVERSAL ILUSTRADA (1998). Espasa-Calpe, S.A. Madrid-Barcelona. Tomos 25, 28 y 62.
- [4] GARCÍA, R. y VILLALDA, L. A. (2000). Instrumentos antiguos de física: recuperación de patrimonio y uso didáctico. *Revista Española de Física* 14 (3), pp 47-55.
- [5] GAMOW, G. (1996). Biografía de la Física. Alianza (5ª edición). Madrid.
- [6] GIL, D. et al (1991). La Enseñanza de las Ciencias en la Educación Secundaria. ICE Universidad de Barcelona/Horsori. Barcelona.
- [7] GÓMEZ, S. (2001). "Evangelista Torricelli. Un experimento en la vida de un físico matemático". *Revista Española de Física* 15 (1), pp 43-47.
- [8] MACAULAY, D. y ARDLEY, N. (1989). ¿Cómo funcionan las cosas? Círculo de Lectores. Barcelona.
- [9] members.xoom.com/galileoweb
- [10] ROSADO, L. (2001-Reimpresión). Didáctica de la Física. UNED. Madrid.
- [11] ROSADO, L. y AYENSA, J. M. (1999). Enseñanza de la Física en el nuevo Sistema Educativo (Bases didácticas y nuevos medios tecnológicos en la ESO y Bachillerato). UNED. Madrid.
- [12] www.das.uchile.cl/~jose/galileoxgalilei.html.
- [13] www.erfindungen.com/wgalifeh.htm.
- [14] www.satisn.com/art/galilei.html.
- [15] www.satisnc.com/ambiente/termometro/htm.
- [16] www.sitio.de/galileogalilei.

Antonio García Carmona
está en el Dpto. de Ciencias
Centro de Educ. Secundaria
"Luisa de Marillac". Sevilla

CONGRESOS

XI Reunión de Física Estadística, FISES2002. Tarragona, del 23 al 25 de Mayo de 2002. Contacto: Lourdes Vega, Grupo de Modelado Molecular, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona. E-mail: fises02@etseq.urv.es. Más información en la página web: <http://mafalda.etse.urv.es/fises02>

IX Congreso de la Sociedad Española de Protección Radiológica. Bilbao, del 29 al 31 de mayo de 2002. Contacto: Fernando Legarda, Dpto. de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos (UPV/EHU), Alda. Urquijo s/n, 48013, BILBAO. Tel. 94 601 40 21. Fax: 94 601 41 59. Email: inpleibf@bi.ehu.es. Más información en la página web: <http://www.ixcongreso-sepr.com>

Cluster-Surface Interactions. Euro Conference on Functional Cluster, K. Meiwes-Broer (Rostock), Granada, Spain del 1 al 6 de Junio de 2.002. Más información en la página web: <http://www.esf.org/euresco>.

NOLINEAL 2002. Cuenca, del 5 al 8 de junio de 2002. Contacto: D. Jordi García-Ojalvo, Departament de Física i Enginyeria Nuclear. Universitat Politècnica de Catalunya. Colom, 11. 08222 Terrassa. Tel.: 93 739 8645. Fax: 93 739 8000. E-mail: jordi.g.ojalvo@upc.es. Más información en la página web: <http://matemàtiques.uclm.es/nolineal2002>.

Localization and energy transfer in nonlinear and energy transfer in nonlinear systems. Tercera reunión de la Red Europea LOCNET (Localizations by Nonlinearity and Spatial Discreteness and Energy transfer in crystals Biomolecules and Josephson Arrays) San Lorenzo de El Escorial, del 16 al 22 de junio de 2002. Contacto: Luis Vázquez, email: conf2002@fdi.ucm.es. Para más

información: <http://conody.fdi.cum.es/pr/conf2002>.

III Taller Iberoamericano sobre Educación en Ciencia de Materiales (TIECIM'02) y II Concurso Iberoamericano de prácticas de laboratorio sobre Educación en Ciencia de Materiales. Madrid, del 3 al 5 de Julio de 2002. Organizado por la Universidad Autónoma de Madrid y el Instituto de Ciencias de Materiales de Madrid (CSIC). Contacto: Dña. Isabel Hernández Rodríguez, Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Física Aplicada C-XII, Cantoblanco 28049, Madrid. Tel.: +34 91 334 9078, +34 91 396 76 18 y +34 91 397 4509. Fax: +34 91 397 3969. E-mail: tiecim-02@uam.es

Primera Jornada de Astrometría y Fotometría con CCD, Caselldefels, 13 de julio de 2.002, sala de conferencias del Centre Frederic Mompou de Castelldefels, para más información consultar la página Web: <http://www.astrofels.sitio.net> ó <http://www.astrofels.org>.

International Conference on Quantum Information. Conceptual Foundations, Developments and Perspectives. Oviedo, del 13 al 18 de Julio de 2002. Contacto: Miguel Ferrero, Universidad de Oviedo, Dpto. de Física, 33007 Oviedo. Tlf.: +34 98 510 33 09. Fax: +34 98 510 33 24. E-mail: ferrero@pinon.ccu.uniovi.es. Más información en la página de Internet: <http://www.uniovi.es/Congresos/2001/QI/Welcome.html>.

Computational Space Physics. Orlando, Florida, USA, del 14 al 18 de julio de 2002. Contacto: D. Rodríguez-Frias y J. Gutierrez, Dpto. de Física, Universidad de Alcalá. Madrid. E-mail: julio.gutierrez@uah.es, dolores.frias@uah.es.

Aplicaciones informáticas a la física espacial de partículas. Orlando, Florida, USA, del 19 al 21 de julio de 2002. Organizadores: L. Del Peral y J. Gutierrez, Dpto. de Física, Universidad de Alcalá, Madrid. E-mail: julio.gutierrez@uah.es, luis.delperal@uah.es.

8th European Symposium on Thermal Analysis and Calorimetry (ESTAC 8). Barcelona, del 25 al 29 de Agosto de 2002. Contacto: Dr. Rosa Nomen, Jefe del Departamento de Ingeniería Química, Institut Químic de Sarrià. Tel.: +34 9320 38900. Fax: +34 9320 56266. E-mail: estac8@iqs.edu. Más información en la página de Internet: <http://harsnet.iqs.url.es/estac8>

EPS-12: Trends in Physics. Eötvös Loránd University, Budapest (Hungría), del 26 al 30 de Agosto de 2002. Organizado por la Roland Eötvös Physical Society. Secretaría de la Conferencia: Diamond Congress Ltd.-EPS-12. H-1255 Budapest, P.O.Box 48 Hungary. Tel.: +36 1 214 7701. Fax: +36 1 201 2680. E-mail: diamond@diamond-congress.hu. Más información en: <http://www.diamond-congress.hu> y en <http://www.eps12.kfki.hu>

7th Granada Seminar on Computational Physics - Modelling of Complex Systems. Granada, del 2 al 7 de Septiembre de 2002. Contacto: Joaquín Marro Borau, Instituto Carlos I de Física Teórica y Computacional, Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 18071 Granada. Tel.: +34 958 243 385 y +34 958 242 860. Fax: +34 958 242 353 y +34 958 242 862. E-mail: smith@moebius.es. Más información en la página web: <http://ergodic.ugr.es/cp/>

Computational Biophysics: Interating Theoretical Physics and biology: Biophy-

sics from First Principles Euro Conference: From the Electronic to the Mesoscale, F. Seno (Padova) & A.M.Chaka (Gaithersburg), San Feliú de Guixols, Spain del 7 al 12 de Septiembre de 2.002. Mas información en :<http://www.esf.org/euresco>

ESPA2002. "Electronic Structure: Predictions and Applications". Sevilla, del 11 al 13 de septiembre de 2002. Contacto: Enrique Sánchez Marcos, Dpto. de Química Física, Universidad de Sevilla. E-mail: espa2002@simulux.us.es. Más información en la página web: <http://quimfis.us.es/~espa2002>.

International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering (CMMSE 2002). Alicante, del 20 al 25 de septiembre de 2002. Más información en la página web: <http://www.ua.es/cmmse2002> y <http://www.uwm.edu/Dept/CIM>

Quantum Optics: EuroConference on Quantum Atom Optics. From Quantum Science to Technology. T. Esslinger (Munich), San Feliú de Guixols, Spain del 21 al 26 de Septiembre de 2.002. Más información en la página web: <http://www.esf.org/euresco>.

Avila Seminar on Nonequilibrium Phenomena and Phase Transitions in Complex Systems. Organizado por la Universidad Carlos III de Madrid, la Universidad Complutense, la UNED y la Universität Bayreuth. Avila, del 24 al 29 de septiembre de 2002. Contacto: Angel Sánchez. E-mail: anx@math.uc3m.es

Para anuncios en esta sección:
fax: 91-543 38 79
email: rsef@fis.ucm.es
WEB: <http://www.ucm.es/info/rsef>