

# Actividades manipulativas para el aprendizaje de la Física

BENITO VÁZQUEZ DORRÍO  
Departamento de Física Aplicada,  
Universidade de Vigo, España

ANTONIO RÚA VIEITES  
Departamento de Métodos Cuantitativos,  
Universidad Pontificia Comillas de Madrid, España

---

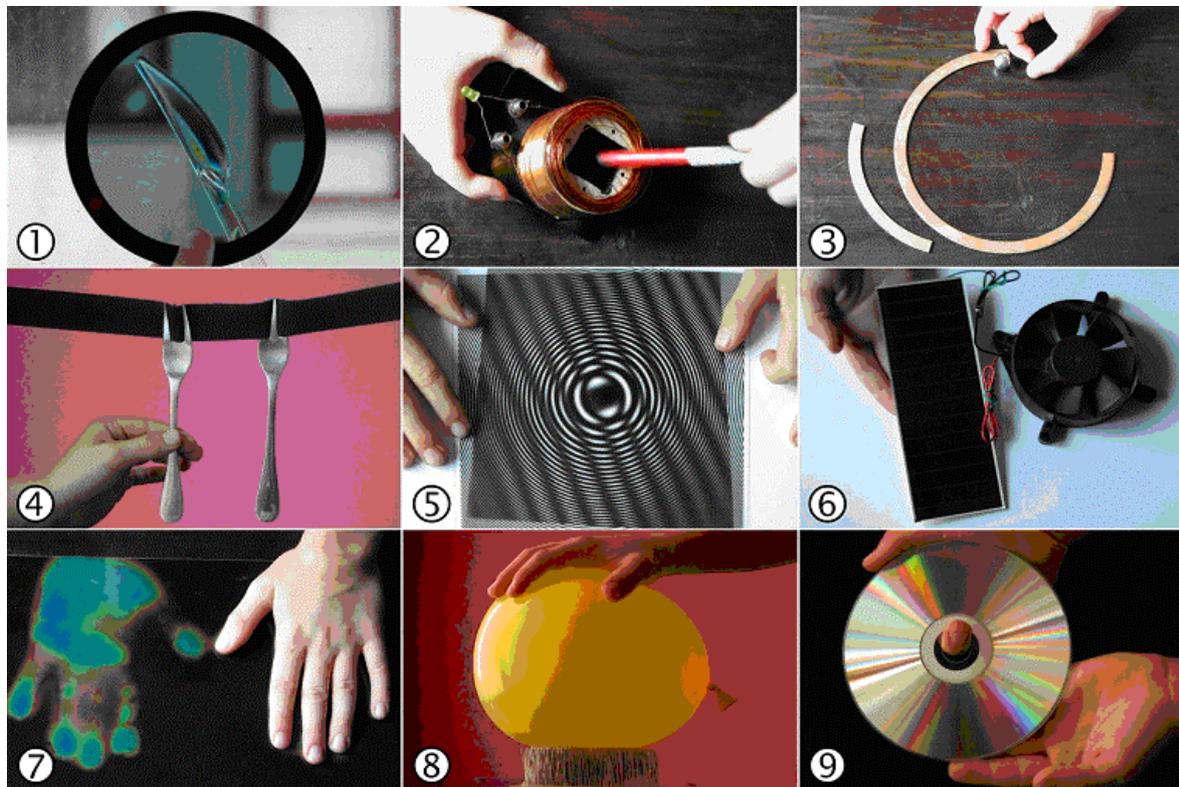
## 1. Introducción

La Física es un referente para la comprensión de buena parte de la ciencia y de la tecnología actual, así como de innumerables fenómenos sociales asociados. Es por ello que tradicionalmente figura en el currículo educativo general en donde actualmente, se requiere no sólo la mera acumulación de conceptos sino el desarrollo de habilidades que capaciten al alumno para el análisis crítico, la resolución de problemas interdisciplinares, así como dominar el uso de la información para crear conocimiento (Kelly, 2000). Sin embargo, esta potencial importancia no se traduce en un amplio reconocimiento e interés por la misma, generalizándose una preocupante visión simplista y empobrecida de la misma. Aparentemente, una de las dificultades para llevar a cabo un posible acercamiento al mundo de las ciencias y la tecnología es la propia metodología de enseñanza de sus conceptos, principios y leyes, muy centrada dentro del aula en la clase magistral. Entre las estrategias a emplear para hacer más atractivo su aprendizaje y conocimiento se encuentran las actividades manipulativas, también llamadas según el contexto pequeñas experiencias motivadoras, trabajos prácticos o experiencias de cátedra (Foto 1), en donde la comprensión de procesos naturales concretos se realiza a través de la experimentación directa (UNESCO, 1962; Hilton, 1981; Carpenter y Minnix, 1981; Walker 1997; Johansson y Nilsson, 1999; McAlenxander, 2003), en el entendimiento de que una manipulación física provoca una implicación cognitiva, necesaria la primera pero no suficiente (Lucas 1983). Aparentemente además el uso del propio "método científico" conlleva, cuando menos, una predisposición por la investigación y un aumento de implicación del alumnado (Garret, 1995).

Así huyendo de la mera presentación de conocimientos ya elaborados o el simple manejo de materiales y objetos, se plantea la posibilidad de asomarse a actividades que posibiliten una aproximación al trabajo científico y al empleo del "método científico" de forma aplicada, creando para aprender y aprendiendo para crear (Arons, 1990; Flick, 1993; Gil, 1995). En este caso, en coherencia con el paradigma actual sobre los procesos de aprendizaje, basados en el marco constructivista, parece que se desarrolla mejor la comprensión conceptual y se aprende más acerca de la naturaleza de la ciencia-técnica cuando se participa en "investigaciones científicas" con tal de que haya suficientes oportunidades y apoyo para la reflexión. Por otra parte, la implicación real en una tarea y por tanto, los logros en la misma, vienen determinados en gran medida por el interés que esta tarea puede generar y es por ello que estas

FOTO 1

Actividades manipulativas indicando alguno de los conceptos físicos que pueden ilustrar: ① tensión; ② corriente inducida; ③ velocidad; ④ péndulos acoplados; ⑤ interferencia geométrica; ⑥ energía; ⑦ temperatura; ⑧ presión; ⑨ difracción



actividades como fuente de motivación, conducen a una comprensión más profunda de la naturaleza de la ciencia y de la tecnología (Hodson, 1992). Usualmente, fuera del ámbito académico, estas actividades manipulativas tienen su entorno natural en museos o centros de divulgación interactiva, en donde, en la teoría constructivista (Jeffrey-Clay, 1999), se ha realizado un importante esfuerzo por presentar, basándose en un formato lúdico y atractivo, contenidos científico-tecnológicos en un entorno no formal (WEB1; Oppenheimer, 1972; Resnick, 1987; Maxwell, 2002; Allen, 2004) con un potencial objetivo adicional como es el aprendizaje (Guisasola, 2005a, 2005b) y evitando la trivialización de este último o el sentimiento de irrelevancia de contenidos, así como la no priorización del aspecto lúdico (Rahm, 2004). Aunque se han venido realizando diferentes propuestas que conllevan la importación de estos recursos a la esfera educativa (Zollman, 1974; Campbell, 1989; Morris, 1991; Quin, 1990; Wellington, 1990; Pinkerton, 1991) no ha sido ni mucho menos generalizada su utilización y eso que su aplicación, como herramienta de apoyo al trabajo en el aula, presenta una serie de importantes ventajas (Freier, 1981; Dorrío, 1994; Dorrío 2004), entre las que podemos destacar que:

- 1) Aumentan la comprensión del fenómeno científico-tecnológico.
- 2) Desarrollan actitudes más positivas hacia la ciencia.
- 3) Muestran la utilidad de la ciencia y de la tecnología.
- 4) Constituyen una importante fuente de motivación.

- 5) Inciden en el carácter experimental de la ciencia y su relación con la vida cotidiana.
- 6) Refuerzan las habilidades creativas.
- 7) Establecen vínculos entre el formalismo científico y la realidad.
- 8) Permiten introducir cierta perspectiva histórica en el proceso de enseñanza-aprendizaje.
- 9) Muestran el trabajo experimental en funcionamiento.

Aunque estas actividades pueden ser empleadas en las diversas disciplinas científico-tecnológicas, tienen un éxito relevante sobre todo en Física. En este caso el interés actual en el diseño, realización y evaluación de este tipo de actividades en el ámbito docente se pone de manifiesto de forma evidente analizando el creciente número de publicaciones referidas a éstas en revistas dedicadas a la enseñanza de la Física (Freier, 1981; Milton, 1981). Esta información puede encontrarse mayoritariamente en la revista americana *The Physics Teacher* (WEB2) y en la revista europea *Physics Education* (WEB3), que cubren un amplio espectro educativo, así como en las revistas *The American Journal of Physics* (WEB4) y *European Journal of Physics* (WEB5), más centradas en el nivel universitario, en ámbitos no estrictamente docentes y en cuyas secciones educativas tienen esporádicamente cabida. Asimismo información de índole más generalista relacionada con la aplicación de las actividades manipulativas puede encontrarse en publicaciones como *Journal of Science Education* (WEB6) o *International Journal of Science Education* (WEB7). Un análisis en conjunto de estas publicaciones muestra que el campo se mantiene activo cuando menos desde el último cuarto del siglo XX y que continúa aumentando, puesto que aparecen nuevas actividades manipulativas cuando de viejas actividades a) se encuentran nuevas aplicaciones; b) se rediseñan por imitación, cambio o transformación; c) se hacen modificaciones; o d) se adaptan a otros contenidos. Al mismo tiempo, alguna de ellas han sido reemplazada por otras nuevas, que utilizan los mismos contenidos originales pero con materiales actualizados. Aunque en muchos casos, parte de las actividades originariamente presentadas en artículos han sido recopiladas en libros (Walter, 1977, Ehrlich, 1990a, 1990b; Cunningham y Herr, 1994; Pizzo 2001, Rathjen y Doherty, 2002) o páginas web (WEB8; WEB9; WEB10; WEB11), los artículos no están distribuidos sistemáticamente en la literatura y, por tanto, se hace necesario un estudio sobre el estado de su actual situación en este tipo de fuente, su importancia relativa frente a otras herramientas educativas y su evolución temporal. Toda esta información es de utilidad para aquellos docentes que consideren el empleo de estas actividades manipulativas como una herramienta adicional a emplear en su práctica habitual.

En este trabajo pues se ha llevado a cabo una primera aproximación al estudio de la situación actual analizando la literatura publicada en las revistas en las que mayor cabida tienen estas actividades en el ámbito de la Física desde 1980 hasta la actualidad, parte de las tareas realizadas como punto de partida dentro del proyecto educativo europeo "Hands-on Science" (WEB12), dedicado al aprendizaje efectivo de la Ciencia haciendo uso sistemático y generalizado de las actividades manipulativas. Estudio imprescindible para poder articular las estrategias necesarias para su difusión y posterior empleo. Cada uno de los artículos identificados fue clasificado de acuerdo a diferentes categorías temáticas, lo que permitió analizar su distribución atendiendo a parámetros de índole práctico (coste económico, nivel teórico/práctico o tiempo de preparación), estudiar su evolución temporal, estimar su peso relativo o identificar tópicos relevantes. Finalmente se realizó un análisis estadístico de asociación o contingencia de datos a fin de obtener relaciones causa-efecto entre las diferentes categorías establecidas. Asimismo se presentan diversas estrategias de empleo de la información recopilada, esencialmente utilizada de forma integrada en la

explicación del profesor en el aula en forma de experiencias de cátedra, en la propuesta a los alumnos de actividades-desafío y en la importación del modelo de museo interactivo al propio ámbito docente (WEB13; Villar, 2005, 2006; Dorrío 2006a, 2006b, 2007).

## 2. Clasificación y descriptiva

El empleo didáctico de las actividades manipulativas se circunscribe tradicionalmente a la realización de demostraciones en el aula durante la conocida clase magistral, bien como elemento motivador para el alumnado bien como pieza sustancial de la explicación, al ilustrar de forma empírica conceptos o leyes perfectamente contextualizados temporalmente. Las conocidas ventajas de este uso en el aula no han conllevado ni mucho menos su uso generalizado por diversos motivos, entre los que el desconocimiento y la falta de experiencia del profesorado no es una de las causas menos relevantes, aunque en la actualidad existe una ingente cantidad de información al respecto que es necesario clasificar y organizar para rentabilizar su empleo

A fin de obtener una visión actualizada de la situación de las actividades manipulativas en el ámbito del aprendizaje de la Física se realizó (Dorrío, 2004), como punto de partida, una búsqueda pormenorizada desde 1980 de artículos referidos a actividades manipulativas en las significativas revistas *The Physics Teacher* (PT) y *Physics Education* (PE), identificándose cerca de 700 artículos (un 70,1% en PT y un 29,9% en PE) que fueron clasificados en las siguientes categorías:

- 1) Tópico: Cinemática (5,3%), Dinámica y Estática (22,3%), Oscilaciones y Ondas (20,1%), Fluidos (8,5%), Electroestática (5,5%), Magnetismo (4,9%), Electromagnetismo (11,0%), Óptica (13,7%), Termodinámica (3,3%) y Física Moderna (5,2%).
- 2) Institución del autor: universidad (56,2%), bachillerato (14,5%), secundaria (12,7%), primaria (5,4%), y otras (11,3%) (museos, particulares, laboratorios, empresas,...).
- 3) País del autor.
- 4) Número de páginas.
- 5) Empleo del retroproyector.

FIGURA 1

Distribución por tópico

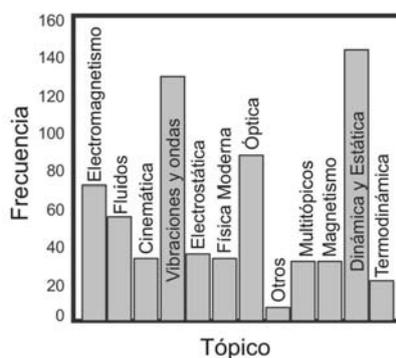


FIGURA 2

Distribución por institución del autor y por número de páginas

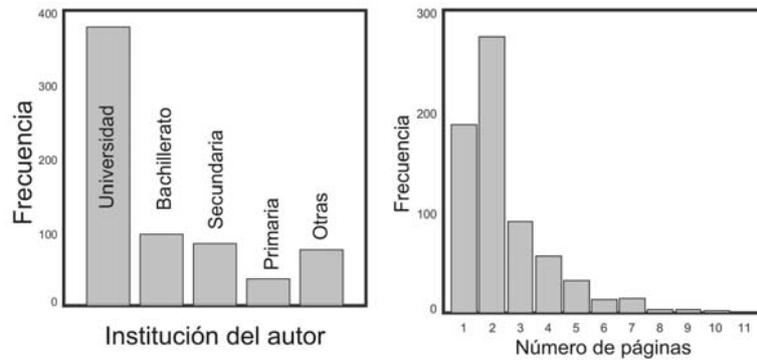


FIGURA 3

Porcentajes del tiempo de preparación, nivel práctico, nivel teórico y coste para las actividades manipulativas analizadas

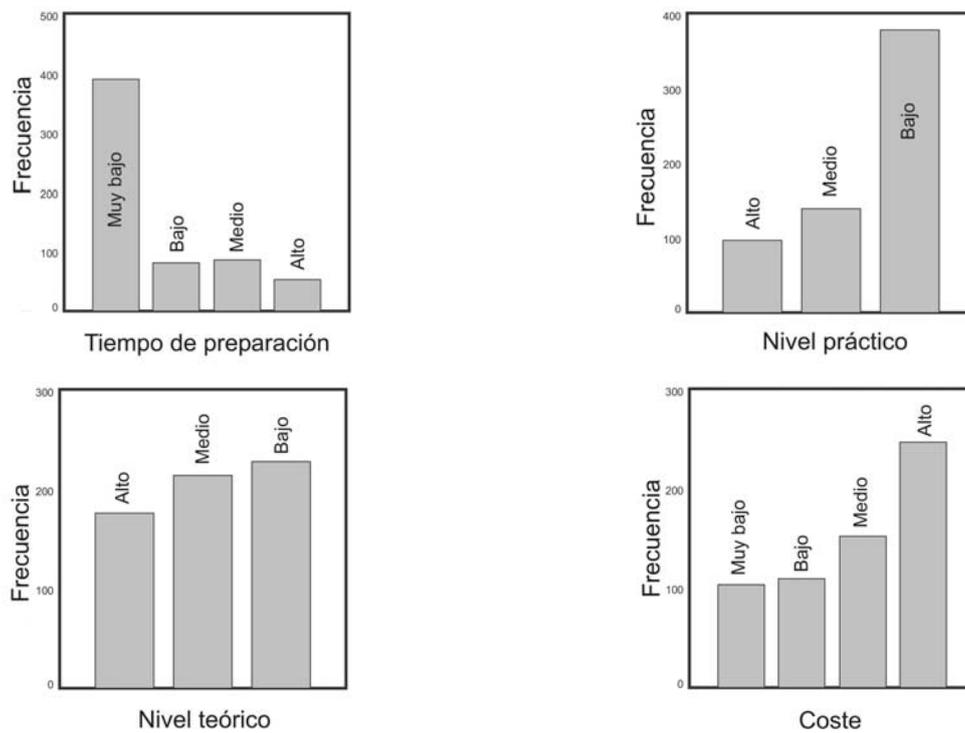
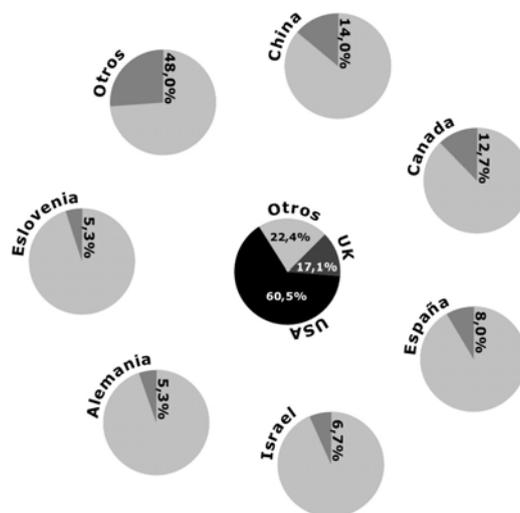


FIGURA 4  
Distribución por país de origen

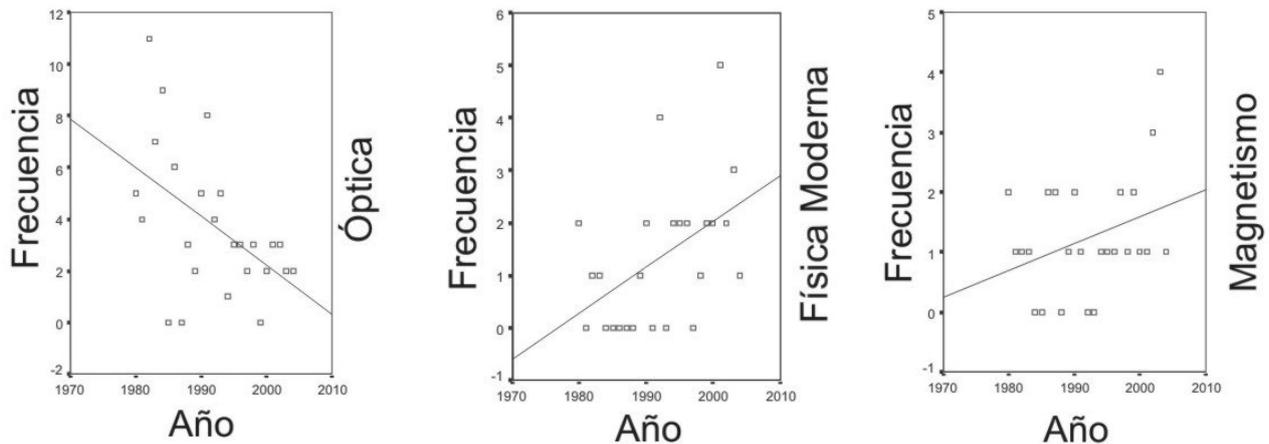


Asimismo, se llevó a cabo un análisis de características de índole práctica para cada uno de los artículos, en donde se estimó en una escala cualitativa para cada una de ellas el coste, el tiempo de preparación, el nivel teórico y el nivel práctico de la actividad manipulativa en cuestión. Los resultados de esta clasificación pueden verse claramente en una selección de las gráficas obtenidas (Figuras 1-4). Desde el punto de vista analítico, tratándose de variables cualitativas, se hizo especial hincapié en identificar la moda de los resultados, así como sus valores extremos a fin de identificar deficiencias y excedencias. Así por ejemplo, podemos destacar que: a) El 95,6% de los artículos trata un tópico en exclusiva; b) Mayoritariamente la autoría de los trabajos se encuentra en el mundo anglosajón [USA (60,6%) y UK (17,1%)] en donde la metodología pedagógica basada en el “aprender haciendo” domina en todos los niveles educativos (Rañal Loureiro, 2004), mostrando un preocupante desinterés en el resto de los países; c) La institución que más publica es la universidad (56,2%) aunque aparentemente el ámbito de aplicación de estas actividades encuentra su entorno natural en el ámbito preuniversitario (Rodríguez, 2005); d) En cuanto a la extensión el formato más habitual es una (27,6%) o dos páginas (40,6%), un parámetro directamente relacionado muchas veces con las posibilidades de aplicación/asimilación inmediata de la experiencia práctica y que debería ser un elemento motivador para el propio profesorado; e) Aunque el nivel de preparación suele ser bajo (63,9%) aun existe un alto porcentaje de prácticas de coste alto (40,3%); f) Sólo un 12,6% emplea, o puede fácilmente adaptar, el proyector para presentar a un público más extenso la actividad como parte por ejemplo, de las habituales clases magistrales; g) Aunque el nivel teórico de las actividades está distribuido por igual, el nivel práctico es mayoritariamente bajo; h) Sólo el 6,1% de las actividades son modelos, y finalmente i) Un 6,2% de las actividades emplean juguetes, como ejemplo de objeto cotidiano.

También es de destacar que dentro de cada tópico ciertas temáticas se repiten con mayor frecuencia, a saber: Cinemática/Movimiento Circular (14,7%), Dinámica y Estática/Centro de masas (15,5%), Oscilaciones y Ondas/Interferencia (16,2%), Fluidos/Buzo cartesiano (16,7%), Electroestática/Electroscopio (14,3%), Magnetostática/Campo (38,7%), Electromagnetismo/Inducción (37,1%), Óptica/Refracción (29,9%),

Termodinámica/Gases Ideales (14,3%) o Física Moderna/Caos (14,28%). Por otra parte existen todavía lagunas importantes que deben ser tenidas en cuenta.

FIGURA 5  
Evolución temporal desde 1980 para varios tópicos



Por último, un análisis de la evolución temporal (Figura 5) indica una distribución en el tiempo uniforme en la mayoría de los tópicos observándose una leve tendencia creciente en tópicos como Magnetismo y Física Moderna, y decreciente en tópicos como Óptica.

### 3. Análisis estadístico

Con objeto de analizar las posibles relaciones de causalidad entre las diferentes categorías de las variables cualitativas seleccionadas se realizó un Análisis de Contingencia empleando SPSS11.5 para Windows (WEB14). Mediante este análisis se estudia la posible relación, asociación o dependencia entre pares de variables de naturaleza cualitativa, así como la fortaleza o intensidad de tal asociación. Para ello se establece como hipótesis de partida (Hipótesis nula) la existencia de independencia y se plantea su constatación frente a su alternativa, es decir, la existencia de asociación o dependencia entre variables. Las diferencias entre lo que la Hipótesis nula establece y lo que las observaciones de las dos variables muestran se recogen a través del estadístico  $\chi^2$  que se distribuye como un Chi-Cuadrado con  $(r-1) \times (s-1)$  grados de libertad (donde  $r$  y  $s$  representan respectivamente las filas y columnas de la tabla de contingencia formada por los valores de las categorías a analizar). Si el valor- $p$  es menor que 0,05 rechazaremos la Hipótesis nula con un grado de confianza del 95%, lo que supondrá la aceptación de la hipótesis alternativa y por lo tanto la existencia de asociación o dependencia. Para obtener una idea de la intensidad de dicha asociación se emplea el Coeficiente  $V$  de Cramer, que depende del  $\chi^2$ , pero que reduce su valor a un intervalo comprendido entre 0 y 1, de modo que cuanto más cerca de 1 más intensa es la relación y cuanto más cerca de 0 menor es la relación.

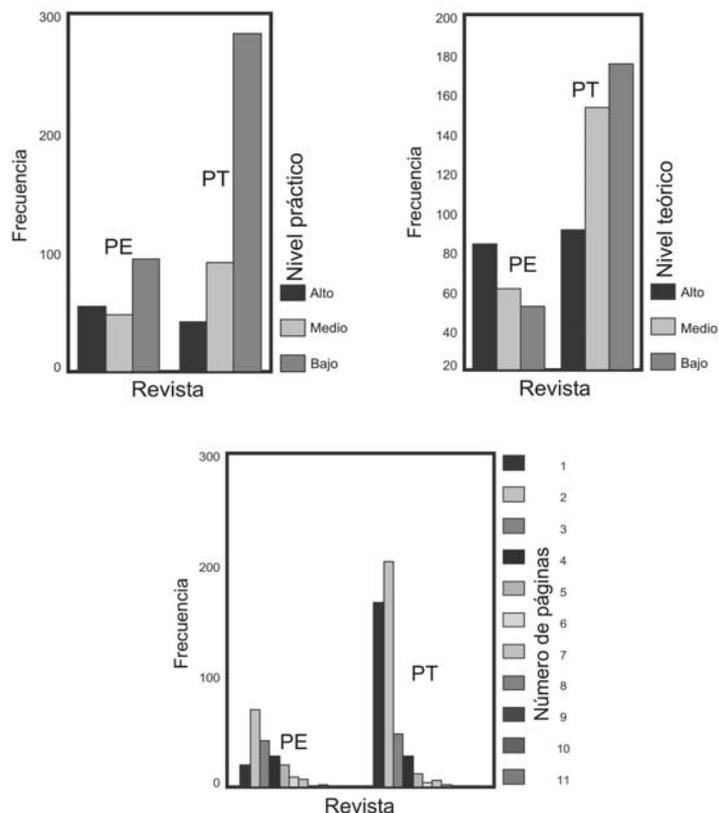
TABLA 1

Resumen del análisis de contingencia, coeficiente test Chi-Cuadrado  $\chi^2$ , los correspondientes grados de libertad, coeficiente V de Cramer y valor-p

	REVISTA				INSTITUCIÓN			
	$\chi^2$	<i>g.l.</i>	<i>V Cr</i>	<i>valor-p</i>	$\chi^2$	<i>g.l.</i>	<i>V Cr</i>	<i>valor-p</i>
Institución	37,185	4	0,236	0,000				
País	420,995	31	0,792	0,000	218,62	124	0,285	0,000
Número páginas	90,136	10	0,366	0,000	48,284	40	0,134	0,000
Coste	1,513	3	0,05	0,679	11,987	12	0,081	0,447
Tiempo preparación	65,003	3	0,327	0,000	14,276	14	0,088	0,283
Nivel teórico	30,424	2	0,222	0,000	6,331	8	0,072	0,610
Nivel práctico	36,172	2	0,243	0,000	12,099	8	0,099	0,147
Tópico	48,824	11	0,269	0,000	67,840	44	0,159	0,012
	NIVEL TEÓRICO				NIVEL PRÁCTICO			
Tiempo preparación	$\chi^2$	<i>g.l.</i>	<i>V Cr</i>	<i>Valor-p</i>	$\chi^2$	<i>g.l.</i>	<i>V Cr</i>	<i>valor-p</i>
	38,349	6	0,178	0,000	241,374	6	0,446	0,000

FIGURA 6

Asociaciones significativas entre las parejas de variables revista/nivel práctico, revista/nivel teórico y revista/número de páginas



Las asociaciones más significativas se muestran gráficamente (Figuras 6-8) y los principales resultados aparecen en la tabla resumen (Tabla 1), en donde figura el valor que toma el estadístico de contraste  $\chi^2$ , los grados de libertad correspondiente, el coeficiente  $V$  de Cramer y la significatividad de la asociación (un valor- $p < 0.05$  indica que si existe relación significativa con un 95% de confianza).

Así por ejemplo, podemos destacar que a) no existe relación significativa entre las parejas coste/revista, institución/coste, institución/número de páginas, institución/tiempo o institución/nivel teórico; b) existe una débil relación significativa entre las parejas revista/número de páginas (PE publica artículos más extensos), revista/tiempo de preparación (PT ofrece actividades con menor tiempo), revista/nivel teórico (PT < PE), revista/nivel práctico (PT < PE), revista/categoría (PT publica más en Óptica/Dinámica y Estática, mientras que PE tiende a publicar más Electromagnetismo/Vibraciones y Ondas/Física Moderna), país/institución (los autores americanos suelen proceder de la Universidad/Bachillerato, mientras que los británicos del Bachillerato), institución/categoría (según la institución el peso de los tópicos es diferente), nivel teórico/tiempo (cuanto mayor es la complejidad teórica mayor es el tiempo de preparación), y finalmente nivel práctico/tiempo (las prácticas de mayor tiempo de preparación son las más complejas).

FIGURA 7

Asociaciones significativas entre las parejas de variables revista/tiempo de preparación, revista/tópico e institución del autor/tópico

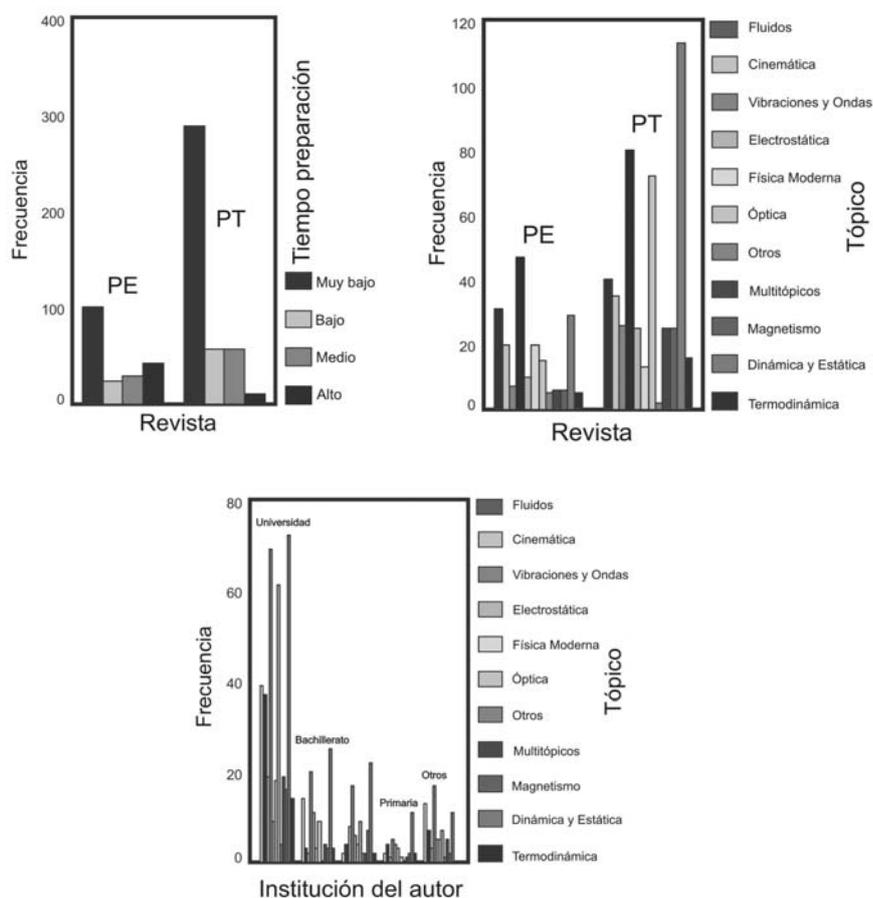
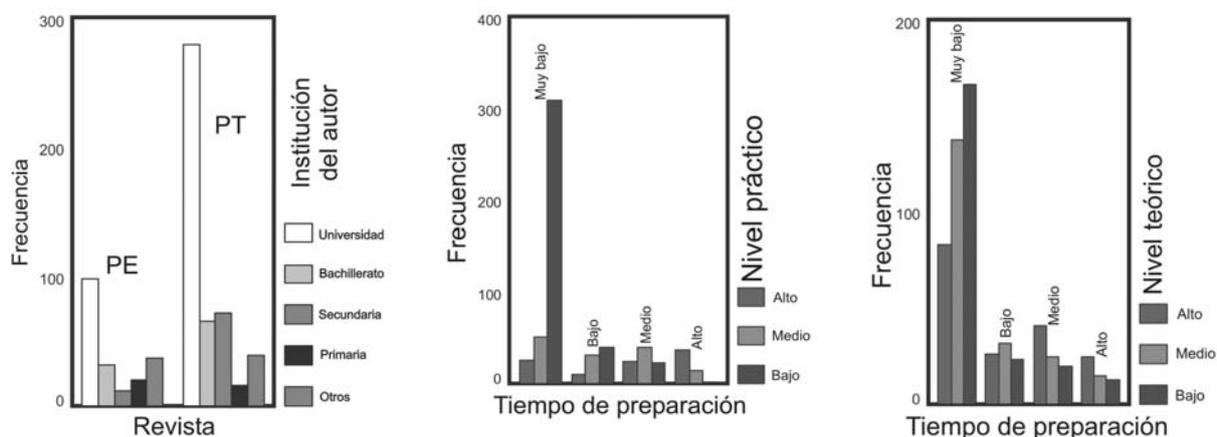


FIGURA 8

Asociaciones significativas entre las parejas de variables revista/ institución del autor, tiempo de preparación/nivel práctico y tiempo de preparación/nivel teórico



#### 4. Utilidad

Las nuevas tendencias educativas inciden, entre otros, en el uso de tareas colaborativas, el desarrollo de pensamiento crítico y la adquisición de habilidades para la resolución práctica de problemas (Villar, 2005). En el caso de las disciplinas científico-tecnológicas además se requiere que se hagan evidentes las implicaciones del uso de la Ciencia y la Tecnología y que ambas se asimilen como parte fundamental de nuestra Cultura. En este contexto el uso de las actividades manipulativas en el ámbito educativo pueden contribuir a estos objetivos como una herramienta adicional convirtiendo a los alumnos en partícipes activos del proceso, manipulando los conceptos que aprenden bien con objetos cotidianos bien con instrumentación facilitada por el profesor, planteándose tres posibilidades de incorporación de estos recursos en la enseñanza formal de cualquier nivel educativo.

Habitualmente las actividades manipulativas se emplean en el aula durante la tradicional clase magistral como una herramienta más (Carpenter, 1981; Freier, 1981; Dorrío, 2004), combinadas con otras estrategias y materiales para proporcionar una mejor comprensión de los fenómenos así como una posible predicción de la evolución natural de los hechos (Hilton, 1981; Dorrío, 2004). Una mejora sustancial de esta utilización consiste en la edición en formato audiovisual de estas actividades manipulativas para que sean utilizadas más allá del aula (WEB10; WEB11). Por otra parte, la información existente en la literatura puede ser empleada asimismo en propuestas-desafío de trabajo experimental no estructurado, independiente del habitual trabajo dirigido o semiguñado de las prácticas de laboratorio, haciendo alumnos más autónomos en la construcción de su conocimiento al resolver un problema y crear un producto (Foto 2).

Finalmente las actividades manipulativas pueden ser empleadas en la puesta en funcionamiento de un museo interactivo en el propio ámbito académico (Rodríguez, 2005; Villar, 2005; Villar, 2006; Dorrío, 2006a, 2006b, 2007), en una aproximación multidisciplinar a la Ciencia en la que no sólo se mejora aparentemente el conocimiento científico sino también actitudes y valores en una completa experiencia cognitiva, afectiva y social, relacionándola con lo cotidiano y dando la oportunidad al profesor de explorar con un mayor grado de interacción lo que piensan los alumnos (Foto 3). Los módulos empleados comparten

su origen con los empleados en el aula por el profesor o los realizados por los alumnos de forma autónoma, pero en este caso en un proceso en el que profesores y alumnos realizan las correspondientes tareas de forma cooperativa, coorganizada y coordinada, siendo el profesorado gestor, guía y organizador en el diseño sistemático del proyecto, fijando las pautas metodológicas para la selección de la información y la construcción de los módulos interactivos, que necesariamente serán fácilmente reproducibles por los propios alumnos, hechos siempre que sea posible con materiales familiares de bajo coste y que permitan luego a los visitantes del pequeño museo interactivo que se monta en el aula comprender en poco tiempo la naturaleza de la actividad correspondiente. El profesorado es también co-responsable de la creación de una serie de paneles autoexplicativos que acompañan a cada módulo así como de información adicional (por ejemplo, en forma de cuadernos/guía), que permiten preparar previamente la visita, participar en ella luego con un mayor aprovechamiento y dar la oportunidad para continuar el trabajo en el aula o en casa (Rahm, 2004). Por otra parte, los alumnos co-responsables del montaje del museo interactivo son además monitores que proporcionan pautas metodológicas para la interacción de los visitantes con las actividades manipulativas, lo que supone una mayor implicación en el proceso de gestación y desarrollo del proyecto.

FOTO 2

Actividad-desafío manipulativa



FOTO 3

Museo interactivo en el aula



## 5. Conclusiones

Las actividades manipulativas constituyen una herramienta de apoyo docente para la enseñanza de la Física que viene siendo empleada tradicionalmente en el sistema educativo anglosajón y que tiene una incidencia muy débil en el resto de los países. La revisión pormenorizada de los artículos publicados desde 1980 en las principales revistas de este ámbito, *The Physics Teacher* y *Physics Education*, ha permitido identificar y clasificar un elevado número de trabajos dedicados a actividades manipulativas. La descripción de las categorías en que han sido clasificados los artículos muestra de forma clara las tendencias en los diferentes tópicos. Un análisis estadístico de contingencia aplicado a los datos ha permitido identificar importantes relaciones y deficiencias entre los diferentes tópicos. En particular se observa una incidencia muy débil en el diseño y desarrollo de actividades manipulativas desde niveles educativos en donde, a primera vista, debería gozar de más éxito, como son primaria y secundaria. Asimismo, llama la atención el bajo porcentaje de estas actividades que emplean el retroproyector, debiéndose tal vez hacer un esfuerzo de adaptación/creación a fin de que estas actividades puedan emplearse en mayor medida en el aula como herramienta de demostración.

Parece pues necesario hacer un esfuerzo que permita el establecimiento de relaciones estrechas entre los museos interactivos, universidades, escuelas y familias, como ya existen en algunos casos

reseñables (WEB15), de forma que los innumerables recursos existentes en el ámbito del aprendizaje informal puedan servir para utilizar estas actividades manipulativas como una herramienta más de aprendizaje, induciendo así su introducción generalizada en el aprendizaje formal y rentabilizando los recursos ya existentes.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al *Ministerio de Ciencia y Tecnología* (DFI2003-10393-E) y a la *Comisión Europea* (I10157-CP-12003-1-PT-COMENIUS-C3) el apoyo financiero proporcionado para realizar este trabajo, así como la ayuda recibida por los miembros de la red docente "Hands-on Science".

## Bibliografía

- ALLEN, S. (2004): "Designs for learning: studying science museum exhibits that do more than entertain", en *Science Education*, 88, pp. 16-33.
- ARONS, A. B. (1990): *A guide to introductory Physics teaching*. New Cork, Wiley.
- BONE, W. J., y ROTH, M. K. (1992): "Organizing school science shows", en *The Physics Teacher*, 30, pp. 348-350.
- CAMPBELL, J. (1989): "Canterbury's physics display facility", en *The Physics Teacher*, 27, pp. 526-529.
- CARPENTER, D. R., y MINNIX, R. B. (1981): "The lecture demonstration: try it, they'll like it", en *The Physics Teacher*, 19, pp. 391-392.
- CUNNINGHAM, J., y HERR, N. (1994): *Hands-on Physics activities with real life applications*. New Cork, Wiley.
- DORRÍO, B. V.; GARCÍA PARADA, E., y GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, P. (1994): "Introducción de demostraciones prácticas para la enseñanza de la Física en las aulas universitarias", en *Enseñanza de las Ciencias*, 12, pp. 62-64.
- DORRÍO, B. V.; RÚA, A.; SOTO, R., y ARIAS, J. (2004): "Hands-on Physics Bibliography". Proc. of the 1<sup>st</sup> International Conference on Hands-on Science. Teaching y Learning in the XXI Century, S. DIVJAK (Ed.), pp. 119-124, Ljubljana (Eslovenia).
- DORRÍO, B. V., y VILLAR, R. (2006a): "Indoor interactive science museums in school". Proc. 3<sup>rd</sup> International Conference on Hands-on Science. Science Education y Sustainable Development, M. F. COSTA y B. V. DORRÍO (Eds.), pp. 623-628, Braga (Portugal).
- DORRÍO, B. V. (2006b): "Museos interactivos na escola", en *Revista Galega de Educación*, 35, pp. 20-22.
- DORRÍO, B. V.; RODRÍGUEZ, J.; FERNÁNDEZ, J.; ANSÍN, J. A., y LAGO, A. (2007): "Ciencias en las manos: aprendizaje informal", en *Alambique*, 51, pp. 107-116.
- EHRlich, R. (1990a): "A collection of simple physics demonstrations", en *The Physics Teacher*, 28, pp. 492-494.
- : *Turning the world inside out*. New Jersey, Princeton University Press.
- FLICK, L. B. (1993): "The meanings of hands-on science", en *Journal of Science Teacher Education*, 4, pp. 1-8.
- FREIER, G. (1981): "The use of demonstrations in Physics teaching", en *The Physics Teacher*, 19, pp. 384-386.
- GIL, D. (1995): "La metodología científica y la enseñanza de las ciencias: una relación controvertida", en *Enseñanza de las Ciencias*, 4, pp. 111-121.
- GUISASOLA, J., y MORETIN, M. (2005a): "Museos de ciencia y aprendizaje de las ciencias: una relación compleja", en *Alambique*, 43, pp. 58-66.
- GUISASOLA, J.; AZCONA, R.; ETXANIZ, M.; MUJICA, E., y MORETIN, M. (2005b): "Diseño de estrategias centradas en el aprendizaje para las visitas escolares a los museos de ciencias", en *Eureka*, 2, pp. 19-32.
- HILTON, W. A. (1981): "Demonstrations as an aid in the teaching of Physics", en *The Physics Teacher*, 19, pp. 389-390.

- HODSON, D. (1992): "In search for a meaningful relationship: an exploration of some issues relating to integration in science education", en *International Journal of Science Education*, 14, pp. 541-566.
- JOHANSSON, K. E., y NILSSON, Ch. (1999): "Stockholm Science Laboratory for schools: a complement to the traditional education system", en *Physics Education*, 34, pp. 345-350.
- JEFFREY-CLAY, K. R. (1999): "Constructivism in museums. How museums create meaningful learning environments", en *Journal of Museum Education*, 23, pp. 3-7.
- KELLY, J. (2000): "Rethinking the elementary science methods course: a case for content, pedagogy and informal science education", en *International Journal of Science Education*, 14, pp. 755-777.
- LUCAS, A. M. (1983): "Scientific literacy and informal learning studies", en *Science Education*, 10, pp. 1-30.
- MAXWELL, L. E., y EVANS, G. W. (2002): "Museums as learning settings: the importance of the physical environment", en *Journal of Museum Education*, 27, pp. 3-7.
- MCALEXANDER, A. (2003): "Physics to go", en *The Physics Teacher*, 41, pp. 214-218.
- MORRIS, C. (1990): "Importing 'hands-on' science into schools: the Light Works van programme", en *Physics Education*, 25, pp. 263-267.
- OPPENHEIMER, F. (1972): "The exploratorium: a playful museum combines perception and art in science education", en *American Journal of Physics*, 40, pp. 978-984.
- PINKERTON, K. D. (1991): "Interactive hallway physics for elementary schools", en *The Physics Teacher*, 29, pp. 166-168.
- PIZZO, J. (2001): *Interactive physics demonstrations*. AAPT.
- QUIN, M. (1990): "What is hands-on science, y where can I find it?", en *Physics Education*, 25, pp. 243-246.
- RAÑAL LOUREIRO, F. (2004): "Unha análise crítica do sistema educativo de EEUU", en *Boletín das Ciencias*, 55, pp. 67-77.
- RAHM, J. (2004): "Science learning in everyday life. Multiples modes of meaning-making in a science center", en *Science Education*, 88, pp. 223-247.
- RATHJEN, D., y DOHERTY, P. (2002): *Square wheels y other easy-to-build hands-on science activities*. San Francisco, Exploratorium.
- RESNICK, L. B. (1987): "Learning in school and out", en *Education Researcher*, 16, pp. 13-20.
- RODRÍGUEZ, S.; FERNÁNDEZ, J.; ANSÍN, J. A.; LAGO, A., y DORRÍO, B. V. (2005): "An informal interactive science y technology centre". Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Hands-on Science. Science in a changing education, P. G. MICHAELIDES, A. MARGETOUSAKI (Eds.), pp. 190-195, Rethymno (Grecia).
- UNESCO (1962): *700 Science experiments for everyone*. New Cork, Doubleday.
- VILLAR, R., y DORRÍO, B. V. (2005): "Science interpretation in high school". Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Hands-on Science. Science in a changing education, P. G. MICHAELIDES, A. MARGETOUSAKI (Eds.), pp. 184-189, Rethymno (Grecia).
- (2006): "Un ejemplo de interpretación del hecho científico", en *Iber* 48, pp. 115-125.
- WALKER, J. (1977): *The flying circus of Physics with answers*. New York, Wiley.
- WEB1: <http://www-2.cs.cmu.edu/~mwm/sci.html> [Consulta 20/04/2007].
- WEB2: <http://scitation.aip.org/tpt/> [Consulta 20/04/2007].
- WEB3: <http://www.iop.org/EJ/journal/PhysEd> [Consulta 20/04/2007].
- WEB4: <http://scitation.aip.org/ajp/> [Consulta 20/04/2007].
- WEB5: <http://www.iop.org/EJ/journal/EJP> [Consulta 20/04/2007].
- WEB6: <http://www.colciencias.gov.co/rec/> [Consulta 20/04/2007].
- WEB7: <http://www.tandf.co.uk/journals/titles/09500693.asp> [Consulta 20/04/2007].
- WEB8: <http://demoroom.physics.ncsu.edu/> [Consulta 20/04/2007].
- WEB9: <http://www.exploratorium.edu/snacks/> [Consulta 20/04/2007].
- WEB10: <http://www.wfu.edu/Academic-departments/Physics/demolabs/demos/> [Consulta 20/04/2007].

WEB11: <http://physicsdemos.phys.cwru.edu/> [Consulta 20/04/2007].

WEB12: <http://www.hsci.info/> [Consulta 20/04/2007].

WEB13: <http://webs.uvigo.es/h-sci/> [Consulta 20/04/2007].

WEB14: <http://www.spss.com/> [Consulta 20/04/2007].

WEB15: <http://www.exploratorium.edu/cils/> [Consulta 20/04/2007].

WELLINGTON, J. (1990): "Formal y informal learning in science: the role of the interactive science centers", en *Physics Education*, 25, pp. 247-252.

WILLIAMS, M. J. (1990): "Understanding is both possible y amusing", en *Physics Education*, 25, pp. 253-257.

ZOLLMAN, D. (1974): "The Physics activity centre-A mini Exploratorium", en *The Physics Teacher*, 12, pp. 213-216.

Correo electrónico: [bvazquez@uvigo.es](mailto:bvazquez@uvigo.es) - [rvieites@cee.upco.es](mailto:rvieites@cee.upco.es)