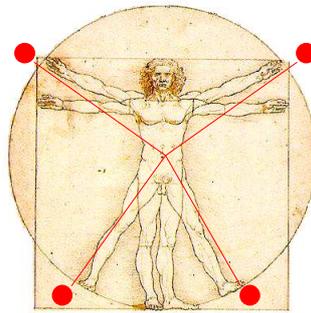


# TECNOLOGÍ@ y DESARROLLO

*Revista de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente*

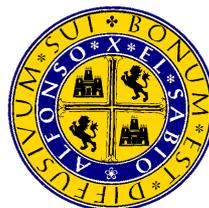
VOLUMEN VII. AÑO 2009

SEPARATA



DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA EL PROCESO DE ENSEÑANZA -  
APRENDIZAJE DEL ELECTROMAGNETISMO

Laura Abad Toribio, Rafael Magro Andrade



UNIVERSIDAD ALFONSO X EL SABIO

Escuela Politécnica Superior  
Villanueva de la Cañada (Madrid)

© Del texto: Laura Abad Toribio, Rafael Magro Andrade  
Junio,2009.

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEEE09\\_002.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEEE09_002.pdf)

© De la edición: *Revista Tecnol@y desarrollo*  
Escuela Politécnica Superior.  
Universidad Alfonso X el Sabio.  
28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).  
ISSN: 1696-8085

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión ya sea electrónico, químico, mecánico, por fotocopia u otros métodos, sin permiso previo por escrito de la revista.

*Tecnol@y desarrollo. ISSN 1696-8085. Vol.VII. 2009.*

# DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DEL ELECTROMAGNETISMO

**Laura Abad Toribio (a), Rafael Magro Andrade (b)**

(a) Dra en Ciencias Físicas. Área de Matemáticas y Física Aplicadas.  
Tf: 918105207, email: labad@uax.es

(b) Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Director de la Escuela Politécnica Superior.  
Universidad Alfonso X el Sabio. Avda de la Universidad nº 1, Villanueva de la Cañada, 28691  
Tf: 918105087, email: rmagrand@uax.es

## RESUMEN:

La comprensión de la Historia de la Ciencia y su relación con el Electromagnetismo es uno de los objetivos de este trabajo. La compleja formulación matemática de esta asignatura se introduce paso a paso mediante ecuaciones que expliquen los resultados obtenidos con los experimentos realizados en el laboratorio. Los alumnos junto con el profesor diseñan un portal para la asignatura, incorporando al mismo todos los resultados teóricos y experimentales obtenidos a partir de la investigación realizada.

PALABRAS CLAVE: historia, electromagnetismo, matemática, laboratorio

## ABSTRACT:

*Understanding the History of Science and its relationship with the Electromagnetism is one of the objectives of this work. The complex mathematical formulation of this subject is introduced step by step through equations that explain the results obtained from experiments conducted in the laboratory. Students with the teacher designed a website for the subject, incorporating all the same theoretical and experimental results obtained from research conducted*

## KEY-WORDS:

*History, electromagnetism, mathematics, laboratory*

SUMARIO: 1. Introducción, 2. Enseñanza de la historia, 3. Propuesta, 4. Conclusiones, 5. Referencias, 6. Anexos.

SUMMARY: 1. Introduction, 2. Teaching of history, 3. Proposal, 4. Conclusions, 5. References, 6. Annexes.

## 1. Introducción

Grandes científicos como Galileo, Newton o Einstein, etc., han escrito páginas brillantes en la historia de la física. Sin embargo el avance en el progreso científico no se produce solamente mediante contribuciones aisladas y discontinuas de algunas mentes privilegiadas, sino también por las de un número muy grande de científicos cuyos nombres no aparecen en la mayoría de los libros de texto. La evolución de las ideas de la Física y la aparición de nuevas teorías son hechos que se suceden con una continuidad mucho mayor que la que sugieren los diferentes textos bibliográficos.

El electromagnetismo es una de las asignaturas fundamentales en el área de la física y de algunas ingenierías, especialmente en Ingeniería Industrial e Ingeniería de Telecomunicación. Su complejidad matemática, la casi ausencia de experiencias en el laboratorio y lo extenso en general del temario hace que sea una de las asignaturas con mayor grado de fracaso académico (en este sentido puede citarse el informe de autoevaluación de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Alfonso X el Sabio presentado a la ANECA en el curso 2004-2005, donde se muestra que esta asignatura junto con Electrotecnia y Máquinas Eléctricas son las dos asignaturas con el mayor índice de suspensos entre las asignaturas de segundo curso, mostrando también un alto grado de abandono). El conjunto de dificultades a las que se enfrenta el profesorado ha sido comentado extensamente en revistas de investigación didáctica e innovación educativa, así como en diversos congresos de formación del profesorado. En algunas universidades como la Universidad de La Habana se imparte a los profesores un módulo específico sobre Didáctica del Electromagnetismo, dentro de la Maestría en Física, posterior a la licenciatura y anterior al doctorado.

Las dificultades de aprendizaje de la asignatura son muchas incluso en los conceptos más sencillos como el estudio elemental de los circuitos eléctricos (Eylon y Ganiel, 1990; Steinberg, 1992), corriente continua (Duit, 1993), la electrostática (Furió y Guisasola 1999), (Velazco y Salinas, 2001). La aplicación de técnicas didácticas al estudio del electromagnetismo ha sido siempre objeto de estudio, y se ha incrementado especialmente ahora en el marco del Espacio Europeo de Educación Superior. Así Greca y Moreira, (Greca y Moreira 1998) proponen una serie de modelos mentales para la enseñanza del electromagnetismo, intentando detectar qué tipo de representación mental - proposicionales, imágenes, modelos- utilizan los alumnos al resolver problemas y cuestiones teóricas sobre el concepto de campo electromagnético.

El concepto de campo supuso para la física la evolución posterior de la física cuántica y relativista. La introducción de este concepto ha sido también objeto de investigación (ver por ejemplo Martín y Solbes, 2001). Dos visiones parecen predominar en su introducción: como

un procedimiento heurístico para calcular la fuerza de interacción, es decir, un modelo matemático útil que facilita los cálculos, y como una realidad física cuya existencia es esencial para explicar muchas situaciones y procesos en los que están presentes. Muchas universidades publican trabajos en los respectivos servicios de publicaciones sobre el aprendizaje del electromagnetismo en sus facultades (Ponte A, 1999 ; Meneses J.Á, 1999), Otros autores proponen experiencias basadas en estudio de aplicaciones del electromagnetismo como herramienta de aplicación de los alumnos (Gámez B y Gámez L, 2005) y otros basan su estudio únicamente en el perfil de los egresados (Leonard, LR , 1998) . También hay trabajos sobre la utilización de las tecnologías de la información al campo del electromagnetismo (Soares, A,J.M. et al, 2004) donde se incluye un modelo de enseñanza a distancia mediante videoconferencias y laboratorios virtuales. Las ventajas e inconvenientes de los laboratorios virtuales y remotos frente a los tradicionales se muestran el estudio sobre enseñanza de electromagnetismo en la asignatura de física de Informática de Gestión de la Universidad Carlos II de Madrid, (Rosado, L y Herreros, J.R) y es una técnica casi obligada en las universidades a distancia como la UNED (Montoya, M , 2005)

## **2. Enseñanza de la historia**

La Historia de la Ciencia tiene un papel marginal en la enseñanza, universitaria o secundaria. Esta disciplina carece en general de una sólida tradición y está ausente en los currículos de las Facultades de Ciencias e Ingenierías, salvo excepciones constituidas por alguna personalidad concreta en alguna Facultad o como asignatura de libre configuración (Introducción a la Ciencia y la Tecnología en la Universidad Alfonso X el Sabio, asignatura que ya no se imparte). Incluso en la misma Facultad de Ciencias Físicas de la Universidad Complutense de Madrid un grupo de alumnos aprendía Historia de la Ciencia dentro de la asignatura de Física de primer curso, y otros grupos de alumnos matriculados en la misma asignatura con otros profesores basaban su aprendizaje en la resolución de problemas a partir de postulados y principios. No parece por tanto que exista intención alguna en institucionalizar su enseñanza y su aprendizaje.

Puede resultar interesante recoger aquí las consideraciones que aparecen en el documento INFORME DE LA ALLEA (ALL EUROPEAN ACADEMIES) sobre El papel de la Historia de la Ciencia en la Educación Universitaria y, más en concreto, en lo que concierne a nuestro país, en el informe elaborado por Elena Ausejo de la Universidad de Zaragoza (Hernández, M. 2006). Se comenta en él entre otras cosas que la historia de la ciencia es una parte olvidada, en forma inexplicable, de la historia universal (...) Las razones hay que buscarlas, sin duda, en la especificidad de la historia de la ciencia y a este respecto cabe señalar que la historia de la ciencia, la buena historia de la ciencia, se ha constituido necesariamente como un saber

interdisciplinar. Esta interdisciplinariedad exige construirla desde diversos ámbitos y áreas de conocimiento y ello suscita, sin duda alguna, numerosos problemas (...) A este respecto quizás sean relevantes las reflexiones de Charles C. Gillespie: El lenguaje ordinario falla siempre, en alguna medida, cuando se intenta dar cuenta de los hallazgos de la ciencia. En física, la medida de esta incapacidad crece abruptamente entre Carnot y Helmholtz o entre Faraday y Maxwell. Después de mediados del siglo XIX ese crecimiento se hace exponencial y provoca la catástrofe de comunicación que, por todos lados, hace opaco el quehacer científico moderno (...).

No obstante lo dicho anteriormente existen muchos trabajos que muestran las ventajas en la enseñanza de la historia de la ciencia en diversas disciplinas, (Furió y Guisasola, 1993). Así Solbes y Traver (Solbes, J.y Traver, M. J. 1996) muestran la utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química, aportando una mejora de la imagen de la ciencia y el desarrollo de actitudes positivas, (Solbes y Traver 2001) y en concreto a la enseñanza del electromagnetismo, (Solbes, J; Pomer, F; Tarin, F, 1997). En esta enseñanza cobra especial interés el conocimiento por parte del profesor de las dificultades epistemológicas que tuvo que superar la comunidad científica hasta llegar a la construcción del concepto de campo electromagnético. Así la epistemología de la física se convierte en herramienta imprescindible y eficaz a la hora de que el profesor pueda planificar una secuencia coherente de situaciones problemáticas de interés a proponer en clase para la reconstrucción de los conocimientos electromagnéticos. A modo de ejemplo, la explicación de los fenómenos triboeléctricos, las interacciones entre cargas, la transmisión de la interacción eléctrica a través de un medio permitió un salto cualitativo importante que condujo a la introducción de la teoría del campo de fuerzas electromagnéticas y posteriormente a la síntesis representada por las ecuaciones de Maxwell (Furió C y Guisasola, J. 2001).

Una visión preocupada exclusivamente por los resultados se olvida de las dificultades que se han ido superando, de forma que probablemente se dejen de lado dificultades que también pueden darse entre los estudiantes (Astolfi, J.P 1994). Hay muchos partidarios del uso de la historia en la enseñanza de la Física por varias razones (Franco Á, 2006): Para apreciar el estado actual de nuestro conocimiento científico en comparación con épocas previas, como hechos que debemos conocer para incrementar nuestra cultura, para motivar a estudiantes interesados en aspectos filosóficos y sociales de la ciencia, como posibilidad de adquirir una visión actual y rigurosa de la evolución de nuestra imagen del mundo físico, que está en no pocas ocasiones en contradicción con la imagen simplificada que nos han contado, o que presentan algunos libros de texto.

La idea de campo no nace, en contra de lo que pudiera parecer, de un desarrollo tecnológico o de la necesidad de explicar un conjunto de fenómenos, sino de una Metafísica de la naturaleza

(del conjunto de principios que rigen nuestra representación del mundo), elaborada por Descartes, modificada por Newton y Kant que influyeron en Oersted y Faraday, y que se oponía a las teorías dominantes de la acción a distancia de los seguidores de Newton, como Laplace, Ampère, etc. , (Navarro 1983), (Berkson W 1985). Maxwell asume el inmenso legado de Faraday, efectuando algunos cambios. Con él la idea de campo adquiere una formulación matemática precisa. Las ecuaciones de Maxwell constituyen uno de los éxitos más brillantes de la historia de la Física. Este éxito culmina con el descubrimiento de las ondas electromagnéticas por Hertz. También se describen como brillantes las contribuciones de Lorentz, creador de la electrodinámica y Einstein que con su teoría de la Relatividad da lugar a la desaparición del éter y al nacimiento de una nueva mecánica.

La modelización de los fenómenos asociados al electromagnetismo implica el conocimiento por parte de los alumnos de herramientas matemáticas que en gran medida le son desconocidas o que se están impartiendo simultáneamente en otras carreras de la titulación. Muchos estudiantes, que pueden mostrarse hábiles para resolver problemas aplicando el formalismo matemático que utiliza la física, no acompañan ese abordaje de una interpretación científicamente correcta de los elementos conceptuales involucrados. Igualmente el hecho de que los estudiantes sepan calcular correctamente el campo creado por distribuciones de carga esféricas de funciones complicadas no implica que sepan por ejemplo lo que es una línea de transmisión o cómo funciona un motor eléctrico. Por otro lado, ¿existe realmente en el mundo de las empresas de ingeniería un ejemplo real que pueda equipararse a un octante de esfera

$$\rho(r, \theta, \varphi) = \frac{\rho_0}{a^3} \cdot \sin \theta \cdot r^3 \cdot \cos \varphi$$

con densidad de carga

? La respuesta es obvia.

Por poner otro ejemplo, las ecuaciones de Maxwell son muy complicadas tanto en su forma integral como en su forma diferencial y son, como puede verse día a día, una dificultad para los estudiantes. Por todo ello, parece necesario que los docentes seamos conscientes de las dificultades que plantea el tema y destinemos en la enseñanza un tiempo suficiente a actividades que tiendan a que los estudiantes comprendan las características básicas, los aspectos distintivos e importantes alcances de estas poderosas herramientas conceptuales. Cabe destacar la relevancia en la instrucción de discusiones cualitativas (además de las cuantitativas) que favorezcan y profundicen una comprensión más significativa del cuerpo de conocimiento de la física.

### 3. Propuesta

La propuesta para la realización de este trabajo ha tenido un doble objetivo. Por una parte la profundización en el conocimiento de los fenómenos físicos asociados al electromagnetismo.

Por otro lado la adecuación progresiva del aprendizaje del alumno a una mayor participación en el proceso de enseñanza-aprendizaje, lo que resulta muy conveniente de cara a la progresiva implantación del sistema de enseñanza basado en la construcción del Espacio Europeo de Educación Superior, mediante el Sistema Europeo de Transferencia de Créditos (ECTS), establecido por el Real Decreto de 2003.

Es importante hacer notar que si bien esta propuesta de trabajo forma parte del aprendizaje de la asignatura, no es la única, ya que creemos firmemente que se debe complementar con clases magistrales sobre fundamentos teóricos, ejemplos y resolución de problemas, así como problemas propuestos.

La posible reducción de créditos en el área de las matemáticas en las nuevas propuestas de títulos de grado según el EEES hace que una asignatura tan compleja como ésta se tenga que enfocar de otra manera.

Se diseña una propuesta de trabajo sobre la Historia del Electromagnetismo, dividiendo el proceso de enseñanza aprendizaje en una serie de etapas. El esquema de este proceso y la metodología de trabajo es la que se muestra en la Figura 1.

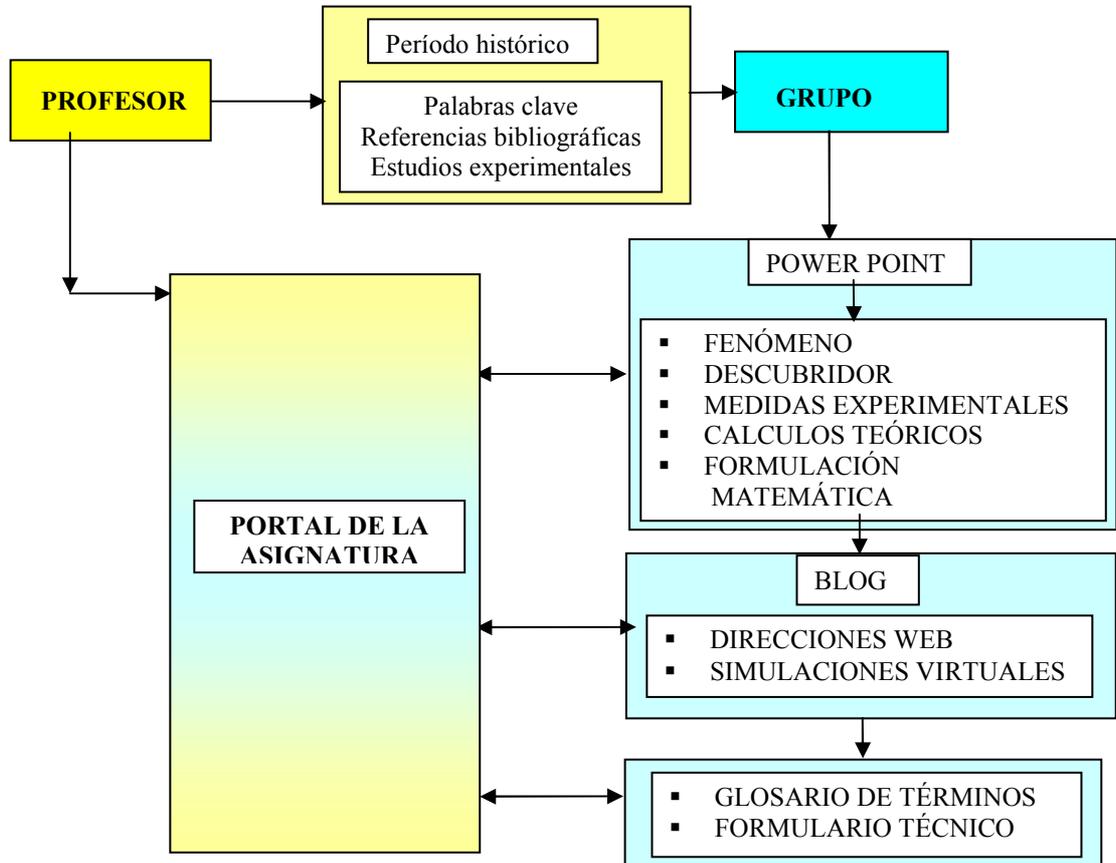


Figura 1: Metodología de trabajo

1. El profesor selecciona los grupos de alumnos y asigna a cada uno de los grupos un período histórico. Para cada período histórico se proporciona al grupo una lista de palabras clave en forma de nombres propios. Junto con estas palabras clave se adjunta una serie de referencias bibliográficas. Las referencias bibliográficas son libros de texto, direcciones Web, artículos y ponencias, etc. Igualmente, puesto que el grupo debe realizar al menos un experimento relacionado con el período estudiado se proporciona una lista de referencias sobre guiones de laboratorio, construcción de montajes sencillos, experimentos básicos, etc. Como muestra de estudiantes se elige un grupo de 40 alumnos de 2º Curso de Ingeniería Industrial, matriculados en la asignatura de Electromagnetismo. Se organizan grupos de 5 alumnos.

El período histórico y la lista de palabras clave se puede ver en el Anexo I. Este período histórico se ha dividido en varias etapas. Las referencias bibliográficas se muestran en el Anexo II.

2. Los experimentos que seleccione el grupo de alumnos deben ser sencillos de forma que se puedan realizar fácilmente en el aula o laboratorio. El grupo debe pedir al profesor que le proporcione los materiales necesarios para la lograr el éxito en la realización del experimento, pudiendo el profesor cambiar el experimento por otro similar o más adecuado para la consecución del objetivo.

3. Para la presentación del trabajo el grupo de alumnos deberá realizar una exposición oral mediante una presentación en PowerPoint donde figure la línea seguida, el fenómeno, el descubridor, el experimento histórico, la reproducción actual del experimento y la ecuación matemática que mejor describa el fenómeno físico.

4. Todas las presentaciones tras su revisión formarán parte de un blog sobre electromagnetismo que se incluirá en un portal de la asignatura, al que se incluirán una serie de direcciones Web sobre simulaciones virtuales que permitan visualizar el fenómeno estudiado. Las direcciones Web correspondientes a simulaciones virtuales sobre diversos aspectos del electromagnetismo se muestran en el Anexo III.

5. Se propone también la realización de un glosario de términos y de un formulario técnico de electromagnetismo para la inclusión en este mismo portal.

Los puntos 4 y 5 se incorporan con el fin de dotar a la propuesta del uso de las nuevas tecnologías, de forma que los alumnos expongan el resultado final de sus trabajos en formato blog, a la vez que el glosario de términos puede ser realizado en formato wiki o similar.

#### **4.-Conclusiones**

En este sistema de aprendizaje de la asignatura se fomenta especialmente la investigación realizada por los alumnos, por lo que se cuenta con su motivación y participación desde el principio del proceso. Son los alumnos los que contribuyen al diseño del portal. Un sistema basado únicamente en la utilización del mismo no garantiza un alto grado de participación. De hecho actualmente no se dispone de un contador para ver el grado de utilización. A diferencia de otros sistemas como el utilizado en la UNED (Montoya, M , 2005), son los propios alumnos los que diseñan el glosario de términos, el blog, el formulario técnico, incorporan los link de simulaciones, etc.

Actualmente el portal de la asignatura de electromagnetismo tanto para la carrera de Ingeniería de Telecomunicación como de Ingeniería Industrial contiene direcciones Web útiles, colecciones de problemas de las profesoras que lo imparten no resueltos, pero con solución, exámenes resueltos, foro de la asignatura, test de autoevaluación, programa y criterios de evaluación, bibliografía recomendada, etc. La mayoría de las consultas se realizan en el despacho de las profesoras y muy pocas consultas tienen lugar por intercambio de correo. Este sistema fomentará las consultas, el intercambio de opiniones en el foro, y sobre todo el trabajo en equipo. El hecho de enfrentarse al diseño de una práctica de laboratorio constituye en sí mismo un proyecto a pequeña escala.

El profesor también obtiene una serie de ventajas, se fomenta la investigación en su sector de especialización, con lo que en el futuro se pueden proponer nuevas líneas de investigación. Le capacita para dirigir trabajos de pregrado, aprende la utilización de recursos avanzados, la computación y la electrónica aplicada y sobre todo dirige con un enfoque científico las actividades de docencia.

## 5. Referencias

1. Astolfi, J.P. (1994), Enseñanza de las Ciencias, 1994, 12 (2), 206-216
2. Berkson W. Las teorías de los campos de fuerza. Desde Faraday hasta Einstein. Alianza Editorial (1985).
3. Duit , R. Research on student's conceptions developments and trends. Third International Seminar on Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics.
4. Eylon B.S y Ganiel U, Macro-microrelationships: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. International Journal of Science Education, 12 (1),91-120
5. Franco Á. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/campo/CONCEPTO2.htm>
6. Furió, C y Guisasola, J , Enseñanza de las Ciencias, 1993, Revista Española de Física 7 (3), 46-50

7. Furió, C y Guisasola, J , Enseñanza de las Ciencias, 1999, 17 (3), 441-452
8. Furió, C y Guisasola, J , Enseñanza de las Ciencias, 2001, 19 (2), 319-334
9. Gámez B y Gámez L. Valoración de una nueva experiencia basada en el estudio de aplicaciones del electromagnetismo como herramienta de evaluación de los alumnos. ETS de Ingenieros Industriales, UPM, 2005.
10. Greca, I.M y Moreira, M.A , Enseñanza de las Ciencias, 1998, 16 (2) 289-303
11. Hernández M, [http://www.educa.rcanaria.es/penelope/es\\_confmiguel.htm](http://www.educa.rcanaria.es/penelope/es_confmiguel.htm)
12. Leonard L.R.: "Experiencias en la introducción de la Teoría del Campo Electromagnético en la formación del ingeniero eléctrico en Cuba". Trabajo presentado en el III Taller Internacional sobre la enseñanza de la Física en Ingeniería, La Habana, Cuba, junio, 1998
13. Martín, J y Solbes, J, Enseñanza de las Ciencias, 2001, 19 (3) 393-403
14. Meneses Villagra, J.A, El aprendizaje del electromagnetismo en la universidad : ensayo de una metodología constructiva, 1999, Universidad de Burgos, Servicio de Publicaciones
15. Montoya M, et al,  
<http://www.uned.ac.cr/Biblioteca/global/tecnologia/transmision/articulos/Montoya.pdf>
16. Navarro Veguillas L. Fuerzas y campos en la Historia de la Física: de Aristóteles a Faraday. Mundo Científico, V-3, n1983 ,29 , págs. 1012-1018
17. Pontes Pedradas, A. Aportaciones al estudio de las concepciones de los estudiantes, sobre electromagnetismo y sus implicaciones en la didáctica de la ciencia, 1999, Universidad de Córdoba. Servicio de Publicaciones
18. Real Decreto 1125 2003 de 5 de septiembre. Publicado en el B.O.E. nº 224 de 18 de septiembre de 2003.
19. Rosado, L y Herreros, J.R, Recent Research Developments in Learning Technologies, 2005

20. Soares, A.J.M , Revista Facultad de Ingeniería, U.T.A, Chile 2004, 12(1),59-64
21. Solbes, J.; Pomer, F.; Tarin, F. Aportaciones de la didáctica de las ciencias y la historia de las ciencias a la enseñanza y el aprendizaje del electromagnetismo. Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales. 1997, 11: 63-75.
22. Solbes, J.; Traver, M. J. Enseñanza de las Ciencias, 1996, 14 (1), 103-112
23. Solbes y Traver, M.J. Enseñanza de las Ciencias, 2001, 19 (1), 151
24. Steinberg M.S What is electric potential? Connecting Alessandro Volta and contemporary students:
25. Proceedings of the Second International Conference on the History and Philosophy Science and Science Teaching, II, 473-480
26. Velazco, S y Salinas J, Rev. Bras. Ens. Fis. v.23 n.3 Sao Paulo sep. 2001.

## 6.-Anexos

### ANEXO I: Selección del período histórico. Lista de palabras clave

Dividimos la historia del electromagnetismo en ocho etapas

- Edad Antigua y Edad Media.

Teofrasto, Tales de Mileto, Hoang-Tica Cleopatra, Ali Abbas, Alexander Neckam , Pierre de Maricourt

- Siglos XVI y XVII.

Giambattista Della Porta, William Gilbert, Joao de Castro ,Henry Gellibrand, Otto Von Guericke Robert Boyle

- Siglo XVIII.

Edmund Halley , Charles Francois de Cisternay Duffay, Benjamin Franklin, Stephen Gray , Jean Theophile Desaguliers , E.G. Von Kleist, Pieter Van Musschenbroeck , John Michell,

#### 14. Laura Abad Toribio y Rafael Magro Andrade

---

Franz Ulrico Theodosium Aepinus, Joseph Priestley , Charles de Coulomb Alessandro Volta , Luigi Galvani

- Siglo XIX . Primeras relaciones con la electroquímica y la matemática.  
Humphrey Davy , Siméon Denis Poisson, George Green , Carl Friedrich Gauss, Wilhem Eduard Weber .
- Siglo XIX. Primeras relaciones con los circuitos.  
Thomas Johan Seebeck , Georg Simon Ohm, Gustav Robert Kirchhoff
- Electromagnetismo en el Siglo XIX.  
Hans Christian Oersted, André Marie Ampère Dominique Francois Jean Jean Batiste Biot , Felix Savart , Pierre Simeon Laplace , William Sturgeon , Michael Faraday , Joseph Henry , Heinrich Friederich Lenz, Samuel F.B. Morse , James Prescott , Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz , William Thomson , Franz Neumann, León Foucault.
- Desde Maxwell al siglo XX.  
James Clerk Maxwell , Heinrich Rudolf Hertz, Henry Augustus Rowland , Oliver Heaviside, Hendrik Antoon Lorentz , Charles Wheatstone , George Francis Fitzgerald , Alexander Stepanovich Popov , Guglielmo Marconi , Thomas Alva Edison, Nikola Tesla , George Westinghouse , Alexander Graham Bell .
- Siglo XX.  
Albert Einstein, Steven Weinberg , Abdus Salalm, Sheldon Lee Glashow

### **Anexo II Referencias bibliográficas**

Sobre Historia del electromagnetismo

Mickeehan, L.W. Magnetismo, van Nostrand Momentum Books. E. Reverté Mexicana, 1971

La proyección del hombre : historia. de la Física clásica / por John D. Bernal, México [etc.] : Siglo Veintiuno, [1975] VII

Cazenobe, J. ¿Fue Maxwell precursor de Hertz? Mundo Científico, 40, 1984

Emilio Segre, From Falling Bodies to Radio Waves, W.H, Freeman and Co. 1984

Carlos Sánchez del Río, Historia de la física: hasta el siglo XIX, R. ACAD. CC. EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES, 1984

Carlos Sánchez del Río, Los principios de la física en su evolución histórica, Editorial Complutense, 1985

Hendry, J. James Clerk Maxwell and the Theory of Electromagnetism Field. Adam Hilder Ltd, Bristol and Boston, 1986

Taton, R. Historia General de las Ciencias, Orbis, 1988

Williams L. P. André-Marie Ampère. Investigación y Ciencia, n 150, Marzo 1989, págs. 82-89.

Thuillier P. De la filosofía al electromagnetismo: el caso Oersted. Mundo Científico V-10, n 102, Mayo 1990

Cantor G. Faraday's search for the gravelectric effect. Physics Education, V-26, n5, September 1991, pp. 289-293

Gooding D. Faraday was a hands-on scientist. Physics Education, V-26, n5, September 1991, pp. 307-312.

García Doncel M. En el bicentenario de Michael Faraday: Sus especulaciones sobre el "estado electrónico", origen de nuestra teoría clásica de campos. Revista Española de Física V-5, n ,4 1991, págs. 44-57.

Tweney R. D. Faraday's notebooks: the active organization of creative science. Physics Education, V-26, n5, September 1991, pp. 301-306.

Williams L. P. Michael Faraday's chemical notebook: portrait of the scientist as a young man. Physics Education, V-26, n5 , September 1991, pp. 278-283.

Harman P. M. Maxwell and Faraday. European Journal of Physics. V-14, 1993, pp. 148-154.

García Doncel M. Heinrich Hertz. Investigación y Ciencia, Enero 1994, págs. 72-79.

16. Laura Abad Toribio y Rafael Magro Andrade

---

Bocanegra, J,M, Ciencia y Sociedad en el Siglo XIX, Cep Málaga 1997

Díaz Hellín Martínez del Rey, José Antonio, El gran cambio en la física, Faraday, Nivola Libros y Ediciones. S.L., 2001

Javier Bergasa Liberal, Laplace: El matemático de los Cielos, Nivola Libros y Ediciones. S.L., 2003

M<sup>a</sup> Carmen Pérez de Landazábal y Paloma Varela Nieto Orígenes del electromagnetismo. Oersted y Ampere. Nivola Libros y Ediciones. S.L., 2003

Albert Einstein, Cien años de relatividad : los artículos clave de Albert Einstein de 1905 y 1906, Nivola Libros y Ediciones. S.L., 2003

Bradley J. Repeating the electromagnetic experiments of Michael Faraday. Physics Education, V-26, n5 , September 1991, pp. 284-288.

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/rincon.htm>

<http://www.ee.umd.edu/~taylor/frame1.htm>

<http://history.hyperjeff.net/electromagnetism>

<http://maxwell.byu.edu/~spencerr/phys442/node4.html>

[http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/more\\_stuff/E&M\\_Hist.html](http://galileoandeinstein.physics.virginia.edu/more_stuff/E&M_Hist.html)

<http://www.geocities.com/ianspage2002/index.html>

<http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29009272/1999/articulos/articulo1.PDF>

<http://www.ele.cie.uva.es/enlaces/textos/Historia.pdf>

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electmagnet/campo/intro.htm>

[http://www.geocities.com/kasen667/la\\_electricidad.html](http://www.geocities.com/kasen667/la_electricidad.html)

[http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/19/htm/sec\\_15.htm](http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/19/htm/sec_15.htm)

---

<http://www.latinquasar.com/modules.php?name=Encyclopedia&op=content&tid=35>

Sobre Diseño de de experimentos:

Cómo "ver " el campo magnético y detectarlo

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Practica/pr-36/PR-36b.htm>

<http://www.enciga.org/taylor/pr/lineasb.pdf>

Experimentos con imanes

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Practica/pr-36/PR-36a.htm>

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Practica/Pr-31/PR-31>

<http://educar.sc.usp.br/ciencias/fisica/fisicaespanhol/mf1espan.htm>

Sustancias diamagnéticas

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Practica/pr-36/PR-36e.htm>

Carga eléctrica

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/Practica/Pr-32/PR-32.htm>

[http://wwwprof.uniandes.edu.co/~gtellez/exp-dem-fisica3.html#carga\\_electrica](http://wwwprof.uniandes.edu.co/~gtellez/exp-dem-fisica3.html#carga_electrica)

Construcción de una pila

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/rincon.htm>

Jaula de Faraday <http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/rincon.htm>

Experimentos de electricidad estática

<http://www.quimica.unlp.edu.ar/pagciencia/experfis.htm#elestatica>

Experiencias de electrostática y electrodinámica

<http://educar.sc.usp.br/ciencias/fisica/fisicaespanhol/mf2espan.htm>

Diseño e un motor eléctrico

<http://www.quimica.unlp.edu.ar/pagciencia/experfis.htm#motor>

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEEE09\\_002.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEEE09_002.pdf)

18. Laura Abad Toribio y Rafael Magro Andrade

---

<http://www.correodelmaestro.com/anteriores/2000/julio/motor/motor.htm>

Experiencias de Oersted

<http://educar.sc.usp.br/ciencias/fisica/fisicaespanhol/mf3espan.html>

Experiencias con circuitos en serie y en paralelo

<http://pegasus.udea.edu.co/%7Edbetan/tesis/serie.html>

Medida de resistencias con un puente de hilo

L.Abad, P.Naya, A.Sánchez. A.I.Velasco, en “Manual de laboratorio de física general. Análisis de datos experimentales” Ed Bellisco, 2004

<http://pegasus.udea.edu.co/%7Edbetan/tesis/volti.html>

Campo magnético terrestre

Medida del campo magnético terrestre, L.Abad, P.Naya, A.Sánchez. A.I.Velasco, en “Manual de laboratorio de física general. Análisis de datos experimentales” Ed Bellisco, 2004

Campo magnético de espiras circulares

L.Abad, P.Naya, A.Sánchez. A.I.Velasco, en “Manual de laboratorio de física general. Análisis de datos experimentales” Ed Bellisco, 2004

Campo y potencial en un condensador

<http://bacterio.uc3m.es/docencia/laboratorio/guiones/electricidad/condensadorplano.pdf>

Dipolos magnéticos

<http://bacterio.uc3m.es/docencia/laboratorio/guiones/electricidad/dipolosmagnet.pdf>

Experimentos sobre la Ley de Faraday

<http://bacterio.uc3m.es/docencia/laboratorio/guiones/electricidad/leydeFaraday.pdf>

Experimentos sobre la Ley de Ohm:

<http://bacterio.uc3m.es/docencia/laboratorio/guiones/electricidad/leydeohm.pdf>

Medida de magnitudes eléctricas

<http://bacterio.uc3m.es/docencia/laboratorio/guiones/electricidad/medmagelectri.pdf>

---

Transformadores

<http://bacterio.uc3m.es/docencia/laboratorio/guiones/electricidad/transformador.pdf>

Construcción de un electroimán

<http://www.inta.es/descubreAprende/Accion/Accion06.htm>

Puente de Wheastone

[http://www.gte.us.es/~galvan/IE\\_4T/PR04.pdf](http://www.gte.us.es/~galvan/IE_4T/PR04.pdf)

Potencial eléctrico

[http://wwwprof.uniandes.edu.co/~gtellez/exp-dem-fisica3.html#potencial\\_electrico](http://wwwprof.uniandes.edu.co/~gtellez/exp-dem-fisica3.html#potencial_electrico)

Varios: Condensadores, condensares en serie y en paralelo, fuerza magnética, campo magnético, Ley de inducción de Faraday, motores y generadores, anillos de Thomson, frenado magnético, carga descarga RC, carga y descarga de un condensador, transformadores, circuito LR, circuito LRC, ondas electromagnéticas

<http://wwwprof.uniandes.edu.co/~gtellez>

Sobre Fundamentos teóricos y problemas

<http://www.gr.ssr.upm.es/eym/>

Electromagnetismo y circuitos eléctricos. J.Fraile, McGraw Hill , 2005

Teoría y Problemas resueltos de electromagnetismo, Ed Bellisco, L.Abad, A.Chocarro, A.I.Velasco, 2004

Electromagnetismo, V.López Rodríguez, UNED, 2004

Electromagnetismo aplicado Plonus M.Editorial Reverté , 1994

### **Anexo III: Simulaciones virtuales**

[http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/Introduccion/indiceApplets/indice/indice\\_electro.htm](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/Introduccion/indiceApplets/indice/indice_electro.htm)

<http://colos.fcu.um.es/LVE/>

<http://lorentz.ugr.es/>

<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/applets/Hwang/ntnujava/indexH.html>

[http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEEE09\\_002.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECEEE09_002.pdf)

<http://www.ngsir.netfirms.com/englishVersion.htm>  
<http://www.ibercajalav.net/laboratorio.php?codopcion=2253&codopcion2=2253>  
<http://www.walter-fendt.de/ph11s/>  
<http://webphysics.davidson.edu/physletprob/>  
<http://www.maloka.org/fisica.htm>  
<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/applets/Fendt/physesp/generador.htm>  
<http://www.enciga.org/taylor/descargas/index.htm#electricidad>  
<http://www.phy.ntnu.edu.tw/ntnujava/viewforum.php>  
<http://centros5.pntic.mec.es/ies.victoria.kent/Rincon-C/rincon.htm>  
<http://www.colorado.edu/physics/phet/web-pages/index.html>  
<http://webs.demasiado.com/Barbosa/electro.html>  
<http://www.merlot.org>  
<http://www.schulphysik.de/>  
<http://baldufa.upc.es/baldufa/lbindex/lbindex.htm>  
<http://www.fislab.net/?CFID=2977349&CFTOKEN=85317046>  
<http://www.enzim.hu/~szia/cddemo/edemo0.htm?CFID=2977349&CFTOKEN=85317046>  
<http://www.electrostatics.20m.com/?CFID=2977349&CFTOKEN=85317046>  
<http://www.student.uni-kl.de/~mewes/magnet.e.html?CFID=2977349&CFTOKEN=85317046>