

ELECTROSTÁTICA Y EAO: UNA EXPERIENCIA DE SIMULACIÓN

MASSONS, J., CAMPS, J., CABRÉ, R., RUIZ, X. y DÍAZ, F.
Área de Física Aplicada. Departamento de Química.
Facultad de Química. Universidad de Barcelona. Tarragona.

SUMMARY

In this work the inclusion of educational software in the teaching of physics is analyzed. The program used corresponds to the computer simulation of electrostatic fields, and it was applied to students of first year of university level in a Faculty of Chemistry.

INTRODUCCIÓN

Los resultados de diversos programas docentes realizados en nuestro país de forma piloto durante los últimos años parecen poner cada vez más de manifiesto la validez de la enseñanza asistida por ordenador (EAO) como complemento eficaz de metodologías más convencionales (Aranda et al. 1991). En relación con la docencia de la física, la posibilidad que ofrecen los ordenadores personales (entornos PC o McIntosh) de acceso interactivo a situaciones físicas con un número elevado de grados de libertad, los están convirtiendo gradualmente en instrumentos idóneos para asentar y perfeccionar los conocimientos adquiridos en las exposiciones teóricas.

En sintonía con estas ideas, el objetivo del presente trabajo ha consistido en aportar más elementos de juicio al panorama ya esbozado, analizando detalladamente la incidencia real de la utilización de un programa concreto de simulación en el proceso de aprendizaje de los distintos conceptos físicos.

METODOLOGÍA EMPLEADA

La experiencia se ha llevado a cabo en el curso 1991-92 con 40 alumnos voluntarios de la asignatura de Física General de primer curso de la licenciatura de Química (Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Barcelona, Tarragona).

Como base de trabajo, se escogió el análisis del campo y el potencial electrostáticos generados por cargas puntuales estacionarias en el vacío, utilizando un programa de simulación (Massons et al. 1989, Massons et al. 1991) que forma parte de las prácticas de laboratorio de la mencionada asignatura de primer curso.

Una vez finalizado el estudio de la electrostática realizado en forma convencional —clases expositivas teóricas y de problemas—, en un primer contacto y de forma completamente anónima, el colectivo de alumnos respondió al cuestionario detallado en el anexo del presente trabajo. Este cuestionario consta de 16 ítems y cada uno de ellos tiene respuesta múltiple. En cada respuesta hay sólo una correcta y se ofrece además la posibilidad de contestar «No lo sé» para evitar el azar de las respuestas y asegurarse, asimismo, la contestación de todos. Para su realización se fijó un tiempo máximo de una hora, permitiéndose utilizar todo el material bibliográfico que estimaran oportuno.

Después de haber completado el conjunto de prácticas de laboratorio, de las cuales dicho programa representa el único contacto con la electrostática, se volvió a pasar el mismo cuestionario al mismo conjunto de individuos. En esta segunda ocasión, las características de realización del cuestionario —tiempo máximo, posibilidad de consulta de fuentes bibliográficas, etc.— fueron idénticas a las del primer contacto, si bien se alentó la posibilidad

de utilizar el mencionado programa como posible apoyo para la selección de sus respuestas.

DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA

En síntesis, el programa permite efectuar la visualización y medida del campo y potencial electrostáticos generados por un conjunto de cargas puntuales distribuidas a voluntad. La configuración exigida para la normal utilización del programa se ajusta a los estándares mínimos de cualquier equipo (512 KB de memoria RAM y tarjeta gráfica CGA o superior, preferiblemente en color), siendo asimismo aconsejable disponer de un coprocesador matemático al objeto de minimizar los tiempos de espera motivados por algunos cálculos particularmente «duros». También puede en ocasiones ser conveniente disponer de un trazador gráfico para optimizar la calidad de la información gráfica suministrada por el programa.

Al iniciar la ejecución, el alumno posiciona las cargas eléctricas en los nudos de una malla cuadrada de 20x20 puntos y les asigna un valor numérico a cada una de ellas. Una vez completada la distribución de cargas, el programa procede al cálculo del potencial y de las dos componentes del campo en cada uno de los nudos. Finalizada esta operación, se ofrece la posibilidad de efectuar la visualización del campo y el potencial electrostáticos, o bien proceder a la medida de los mismos en diferentes puntos de la malla previamente seleccionados.

El campo electrostático puede ser visualizado mediante vectores de campo o bien mediante aquellas líneas de

fuerza que el alumno seleccione con las teclas de movimiento de cursor. El potencial electrostático se visualiza en términos de líneas equipotenciales —que el alumno selecciona bien sea especificando su valor numérico, bien localizando su posición espacial.

Adicionalmente, un programa de dibujo permite efectuar la representación tridimensional de la distribución de potencial desde la perspectiva seleccionada por el usuario. Todas las salidas gráficas del programa pueden enviarse a una impresora gráfica o bien, para conseguir una calidad superior, a un trazador. A modo de ejemplo, en la figura 1 se recogen las distribuciones obtenidas en el caso de disponer de dos cargas iguales y del mismo signo separadas por una distancia de cuatro unidades de longitud.

El proceso de medida del campo y del potencial se realiza desplazando el cursor hasta el punto deseado. El programa indica en pantalla ambos valores para el punto sobre el que se encuentra situado el cursor, así como sus coordenadas. La velocidad de desplazamiento del cursor puede modificarse —aumentar o disminuir—, con lo cual se puede acceder sin dificultad tanto a puntos situados fuera del recinto de cálculo, a gran distancia de las cargas, como a puntos situados entre dos nudos consecutivos de la malla.

Finalmente, el programa está preparado para que el usuario pueda hacer una comprobación directa del teorema de Gauss, eligiendo un circuito cerrado en la malla de cálculo y determinando, por integración numérica, la integral del campo eléctrico a través de ella

$$\int_C \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Figura 1

Distribuciones obtenidas para dos cargas iguales y del mismo signo.

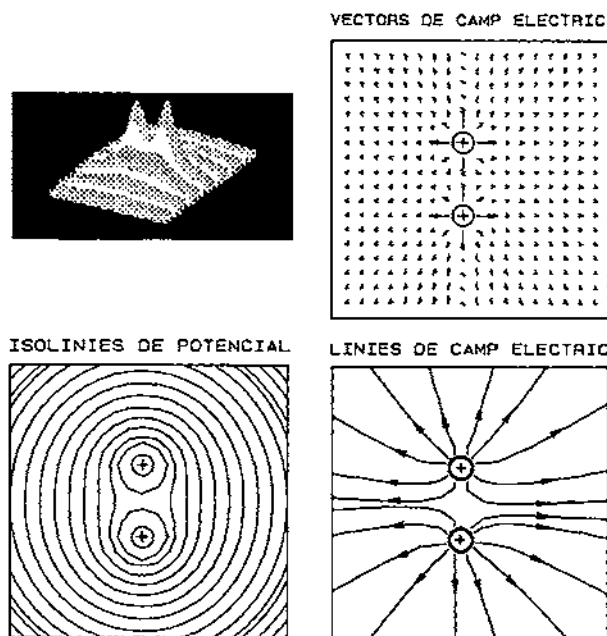
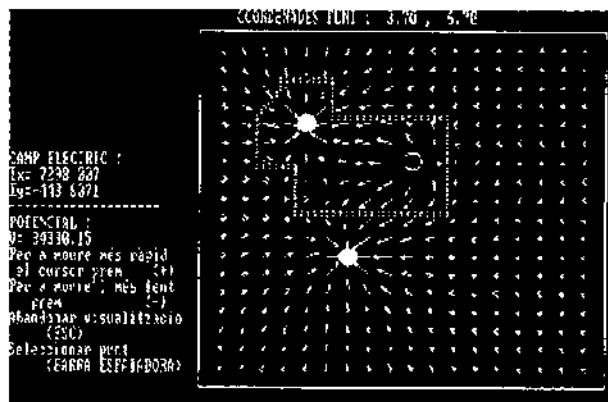


Figura 2

Comprobación directa del teorema de Gauss.



Este circuito se define a partir de las teclas de movimiento de cursor (Fig. 2) y, de manera automática, se envían a la impresora las características de los puntos que lo conforman (coordenadas de los mismos y componentes del campo eléctrico). Así el alumno podrá realizar él mismo la integración numérica correspondiente. Es

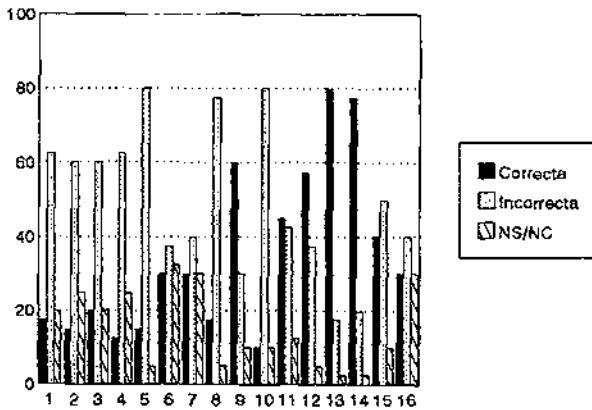
importante notar que, debido a la bidimensionalidad de la geometría utilizada, la «superficie» gaussiana es, en realidad, una línea cerrada. En este caso, y para que el teorema continúe manteniendo su validez, se debe modificar la expresión del campo eléctrico, haciéndolo inversamente proporcional a la distancia, en lugar de a su cuadrado.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

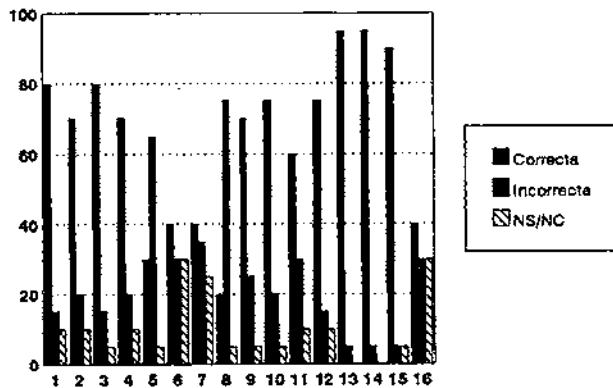
En la figura 3a puede verse la distribución de porcentajes de respuestas correctas e incorrectas antes de que los alumnos hubieran interactuado con el programa de simulación. En la gráfica de la figura 3b puede verse la distribución de respuestas en la segunda pasada del test en la que han podido utilizar ya el programa como posible herramienta de apoyo.

Figura 3

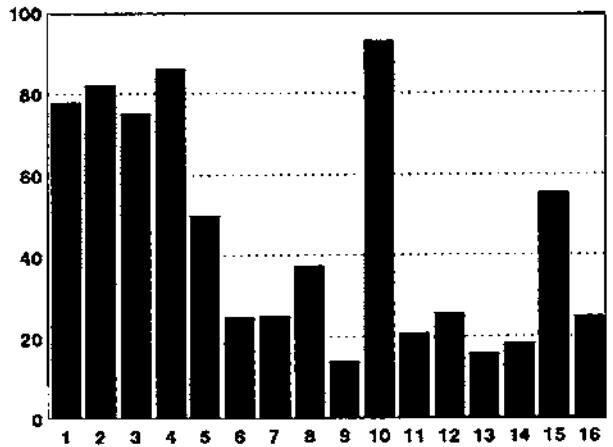
a) Distribución de porcentajes de respuestas antes de que los alumnos interactúen con el programa de simulación.



b) Distribución de respuestas después de la segunda pasada del test.



c) Diferencia entre el porcentaje de respuestas correctas antes y después, dividido por el porcentaje de respuesta correcta en el test previo.



Finalmente la figura 3c muestra la diferencia entre el porcentaje de respuestas correctas antes y después, dividido por el porcentaje de respuesta correcta en el test previo; con ello, se muestra una clara mejora en la calidad de las respuestas efectuadas utilizando el programa de simulación. A continuación, se procede a realizar un comentario de los resultados para cada tipo de cuestión.

En primer lugar, respecto a las cuatro primeras preguntas del test que tratan sobre el problema de la posible anulación del campo y potencial eléctricos cerca de una distribución de dos cargas, las respuestas antes del programa son mayoritariamente incorrectas (las correctas representan un porcentaje inferior al 20%) mientras que se produce una notable mejora con la utilización del programa. Creemos que tal mejora refleja la ayuda que el programa es capaz de dar para visualizar campos y potenciales en puntos no demasiado alejados de distribuciones sencillas de cargas, complementando, en un sentido más concreto, la poca capacidad de construcción deductiva de mapas de campos y potenciales que los alumnos poseen con el mero bagaje de las clases y de los libros. Vemos que las cuestiones referidas a los potenciales han sido, en ambos casos, peor respondidas que las que tratan del campo; ello es de esperar si se tiene en cuenta que el potencial es siempre un concepto más indirecto que la fuerza.

En cuanto a la quinta cuestión, que trata sobre la distribución de fuerzas en una región muy alejada de un dipolo eléctrico, vemos que se pasa de una respuesta bastante incorrecta a otra algo mejorada, aunque no de forma muy notable. De hecho, el programa permite ver la distribución generada por un dipolo, pero ésta no se hace patente en puntos muy alejados debido a las limitadas dimensiones del gráfico de la pantalla. De hecho, puede accederse a puntos más allá de la pantalla, pero sólo se muestra el valor numérico de las componentes del campo de este punto, aunque no se visualiza su entorno gráfico que es el más accesible al alumno. Ello conlleva que el progra-

ma no ayude a resolver con facilidad este tipo de duda al alumno.

Respecto a las cuestiones 6 y 7 que se refieren a la topología de las líneas de campo y de potencial, en el test previo han sido contestadas correctamente en un 30% de los casos. Por otro lado, en el test posterior aumenta algo más la respuesta correcta y paralelamente disminuye la incorrecta. La conclusión es, por lo tanto, que el programa suministra una ayuda limitada, pues, como se demuestra en el caso anterior, la visualización de las líneas de campo y las equipotenciales se limita al espacio determinado por la pantalla.

Las cuestiones 8, 9 y 10 se circunscriben en la correlación existente entre el potencial y su variación en un punto con el campo y su variación en el mismo punto. El nivel de acierto, así como la mejora relativa después del programa, es algo dispar en las tres cuestiones. Por ejemplo, en la octava pregunta se ve que el alumno prefiere contestar lo que intuitivamente le parece que puede ser cierto (el campo y el potencial son simultáneamente intensos). En este caso, se produce un pobre incremento de la calidad de las respuestas utilizando el programa, ya que, con o sin programa, difícilmente se descubre la clave principal de la cuestión, que es la existencia de la constante aditiva global en el potencial. En cuanto a la novena pregunta, ésta se acierta mayoritariamente en ambos casos, pero sólo se mejora un poco con el programa. Podríamos decir que ésta se contesta bien más por lo enunciado en clase a través del teorema

$$\vec{E} = -\nabla V$$

que por la experiencia adquirida en la simulación. En cuanto a la décima pregunta, cabe un comentario similar a la anterior, con la única diferencia de que ésta se contesta un poco peor después del programa que antes, debido a fluctuaciones estadísticas alrededor de porcentajes casi iguales.

El siguiente grupo de cuestiones (11, 12 y 13) trata sobre la intersección entre líneas equipotenciales o de campo. En ellas se refleja un porcentaje de acierto muy bueno en el test previo (siempre superior o igual al 50%), dado que son conceptos fácilmente asimilables y debidamente comentados en clase, aunque el porcentaje de fallos es también muy significativo. Con la ayuda del programa,

esta respuesta incorrecta se reduce bastante más, llegando, incluso en el caso de la cuestión 13, a un acierto casi unánime del 95%, motivado por el hecho de que con el programa se llegan a visualizar líneas de campo cortándose con las de potencial para cualquiera que sea la distribución de cargas. La mejora no es tan grande en la cuestión 11 debido a que el programa no despeja la incógnita de si puede haber líneas de potencial cortándose en algún punto más allá del límite visible de la pantalla. En cuanto a la 12, se produce una mejora muy notable, dado que con el programa es muy común visualizar líneas de fuerza partiendo de las cargas.

En la cuestión 14, que se refiere al sentido de las líneas de campo, se observa una mejora muy notable (aunque la respuesta previa ha sido también correcta en un 80%), debido a la posibilidad que tiene el programa para experimentar con cargas de signos opuestos y ver el sentido de trazado de estas líneas.

La cuestión 15 hace una pregunta similar, esta vez con las líneas de potencial. El alumno contesta incorrectamente en un 50% esta pregunta que, es por sí misma un sinsentido y, por lo tanto, hace dudar de todo a aquella persona que no haya comprendido ciertos conceptos. En este ejemplo, el programa ha permitido hacer claramente patente al alumno la clave de la respuesta.

Por último, la cuestión 16 se ha respondido bien de forma deductiva con el conocimiento del teorema de Gauss (40% de acierto en el test previo), pero no ha mejorado mucho con el programa, dada la ya expresada imposibilidad de visualización de campos en puntos más allá de la pantalla.

CONCLUSIONES

En general, parece que el efecto de actividades de simulación es bastante positivo, apreciándose además un aumento de la motivación de los alumnos. A la luz de los resultados obtenidos, parece plausible la hipótesis de que el programa ayuda a lograr de forma significativa que los alumnos analicen y comprendan los fenómenos electrostáticos. En cuanto a las implicaciones didácticas del presente trabajo, se puede indicar la necesidad de hacer consciente al profesorado de que la utilización de las actividades de simulación son un complemento de las exposiciones teóricas y del trabajo en el laboratorio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANDA, J. y RUIZ, F., 1991. EXAO: L'ordinador al laboratori. *Revista de Física*, Vol. 1, pp. 50-52.
 MASSONS, J., RUIZ, X. y DÍAZ, F., 1989. *Simulació de processos físics per ordinador*. (PPU: Barcelona).

MASSONS, J. y RUIZ, X., ESCODA, J., DÍAZ, F., 1991. *Simulación por ordenador en el laboratorio de Física. Programa Electro, XXIII Reunión Bienal de la RSEF*. Valladolid.

ANEXO

1. El campo electrostático puede llegar a anularse en la vecindad de dos cargas positivas iguales.

- Sí
- No
- No lo sé

2. El potencial electrostático puede llegar a anularse en la vecindad de dos cargas positivas iguales.

- Sí
- No
- No lo sé

3. El campo electrostático puede llegar a anularse en la vecindad de dos cargas iguales pero de signos opuestos.

- Sí
- No
- No lo sé

4. El potencial electrostático puede llegar a anularse en la vecindad de dos cargas iguales pero de signos opuestos.

- Sí
- No
- No lo sé

5. Se dispone de dos cargas iguales y de signos opuestos separadas por una pequeña distancia (dipolo eléctrico). Si a una gran distancia de las cargas situamos la unidad de carga positiva, ¿cuál será el efecto que sentirá esta carga?

- Atracción hacia el dipolo
- Repulsión del dipolo
- No notará fuerza alguna
- Ninguna de las anteriores
- No lo sé

6. Una línea equipotencial tiene que ser siempre cerrada.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

7. Una línea de fuerza tiene que ser siempre cerrada.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

8. Las regiones con elevado potencial electrostático corresponden siempre a regiones donde el campo es también intenso.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

9. Las regiones donde se produce una rápida variación del potencial electrostático corresponden siempre a regiones donde el campo es elevado.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

10. Las regiones donde el potencial es elevado corresponden siempre a regiones donde el campo electrostático presenta rápidas variaciones.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

11. Las líneas equipotenciales no pueden cortarse entre sí.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

12. Las líneas de fuerza sólo pueden cortarse entre sí sobre una carga.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

13. Las líneas de fuerza y las equipotenciales no pueden cortarse entre sí.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

14. Las líneas de fuerza salen de las cargas positivas y van a parar a las negativas.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

15. Las líneas de potencial electrostático salen de las cargas positivas y van a parar a las negativas.

- Verdadero
- Falso
- No lo sé

16. Se dispone de una carga positiva rodeada completamente de otras cargas negativas de un valor menor pero que, en conjunto, igualan a la carga positiva. En estas condiciones, el campo electrostático a una distancia suficientemente grande de las cargas será:

- Cero
- Diferente de cero y dominado por la carga positiva grande
- Diferente de cero y dominado por las cargas negativas más numerosas
- No lo sé