

(C-247)

**RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN COMO EJEMPLOS
PRÁCTICOS EN EL AULA: OPTIMIZACIÓN DE
DISPOSITIVOS ELECTROCRÓMICOS**

Javier Padilla Martínez

Juan Carlos Trillo



**(C-247) RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN COMO EJEMPLOS PRÁCTICOS EN EL AULA:
OPTIMIZACIÓN DE DISPOSITIVOS ELECTROCRÓMICOS**

Javier Padilla Martínez, Juan Carlos Trillo

Afiliación Institucional: Dpto de Física Aplicada, Dpto. de Matemática Aplicada y Estadística

Indique uno o varios de los siete Temas de Interés Didáctico: (Poner x entre los [])

- Metodologías didácticas, elaboraciones de guías, planificaciones y materiales adaptados al EEES.
- Actividades para el desarrollo de trabajo en grupos, seguimiento del aprendizaje colaborativo y experiencias en tutorías.
- Desarrollo de contenidos multimedia, espacios virtuales de enseñanza- aprendizaje y redes sociales.
- Planificación e implantación de docencia en otros idiomas.
- Sistemas de coordinación y estrategias de enseñanza-aprendizaje.
- Desarrollo de las competencias profesionales mediante la experiencia en el aula y la investigación científica.
- Evaluación de competencias.

Resumen.

Hacer visible la relación entre las materias cursadas en un plan de estudios y la vida real, en forma de aplicaciones prácticas, constituyen un reto deseable por parte de los docentes y a la vez exigible por el alumnado y la sociedad. Asimismo, dar visibilidad a las líneas de investigación desarrolladas por los docentes cumple un triple objetivo: divulgar la ciencia, acercar la figura del docente al alumno y promover futuras vocaciones científicas.

En este trabajo mostramos como en el estudio y optimización de una aplicación práctica que se desarrolla en la actualidad, los dispositivos electrocrómicos, se hace uso de conceptos que se desarrollan en los primeros cursos de titulaciones universitarias científicas, en las materias de física, química y matemáticas. En concreto, el cálculo de máximos de una función matemática, la atenuación de una radiación y la ley de Beer-Lambert en espectroscopía.

Como método didáctico se han utilizado videos en los cuáles se introducen los distintos conceptos por parte del docente en el aula. La buena aceptación de la experiencia sugiere su uso regular en un futuro.

Keywords: electrochromic device, maximum of a function, optimization.

Abstract.

Highlighting the relations between real life and academic subjects, by means of showing practical applications, is a desirable task for any professor. Also, society and students should demand it.

Likewise, highlighting research lines leads to a triple objective: outreach scientific results, make the professor more accessible to the student, and promote future scientific vocations.

In this work we show how, in the study and optimization of a presently developing technology, electrochromic devices, we use first-university-courses related concepts. More specifically, obtention of the maximum of a mathematical function, attenuation of an incident radiation, and Beer Lambert law for spectroscopy.

As an educational resource, a video showing the related concepts has been shown in the class. The good acceptance among the students suggests its regular use in the future.

Texto.

1. La motivación

Las asignaturas básicas de primeros cursos universitarios, como pueden ser matemáticas, física y química, para cumplir su objetivo de sentar las bases de conocimiento necesarias en cada titulación, cuentan con temarios bien definidos y con pocas variaciones de contenido en las última décadas. Sin embargo, esta característica fundamental genera una sensación de obsolescencia y desconexión con los avances tecnológicos actuales. Es labor del docente mostrar a los alumnos lo erróneo de esta percepción, puesto que la razón de que estos contenidos sigan explicándose es que siguen siendo válidos (el método científico los descartaría sino fuera así).

Esta aparente rigidez en el temario, sin embargo, no debe ser un inconveniente a la hora de introducir aspectos novedosos en el aula, desarrollos tecnológicos o aplicaciones actuales, así como una visión de la utilidad de lo explicado en la vida real.

Asimismo, es conveniente mostrar las relaciones que existen entre las distintas materias de una determinada titulación. Mostrando estas relaciones, el alumno percibe que los estudios que ha comenzado son consistentes, y asimismo, puede hacerle comprender que el estudio de todas las materias es necesario, evitando la fragmentación en los estudios, y las situaciones en las que alumnos de últimos años aún no han superado asignaturas básicas.

Por último, mostrar las líneas de investigación en la que los docentes están implicadas puede cumplir varios objetivos: acercar la figura del docente al alumno, promover en alguna medida la aparición de vocaciones científicas, tan necesarias en el ámbito universitario, y por último, una pequeña labor de divulgación hacia la sociedad.

El trabajo que describimos se enmarca en este contexto. Proponemos explicar los conceptos básicos de una tecnología actual (dispositivos electrocromicos) y plantear un problema de optimización que puede entenderse y resolverse aplicando conceptos presentes en el temario de las asignaturas de primer curso de cualquier ingeniería o carrera científica.

2. La idea

Es frecuente que en el desarrollo de cualquier tecnología se pretenda optimizar una determinada propiedad o característica. Desde un punto de vista científico, el controlar esa propiedad pasa por describirla matemáticamente en función de los parámetros que puedan influir en ella. Para ello se realizan experimentos en los que se juega con distintas variables, llegando a funciones matemáticas que se ajustan a los resultados.

La optimización muchas veces significa encontrar el máximo valor de estas funciones, y puesto que el cálculo de máximos es una herramienta matemática que se estudia en primeros cursos universitarios, encontramos una relación sencilla y directa entre líneas de investigación que puedan ser actuales y temario de asignaturas matemáticas básicas. Si además la tecnología que usemos como ejemplo puede explicarse (no necesariamente en profundidad) con conceptos de otras asignaturas básicas (física, química), tenemos en nuestras manos una potencial herramienta docente. En los siguientes apartados expondremos el trabajo realizado en este sentido.

3. La tecnología: dispositivos electrocrómicos

Antes de explicar en que consiste esta tecnología, quizá sea interesante introducir algunos conceptos sencillos sobre el color. Los colores que observamos en los materiales son el resultado de la interacción de éstos con la luz procedente del sol (o de alguna fuente artificial) en forma de radiación electromagnética. Dentro del espectro de radiación electromagnética, nuestro ojo percibe aquellas ondas cuya longitud de onda está comprendida entre 350 y 850 nanómetros aproximadamente, lo que llamamos el espectro visible. Cuando un haz de luz incide sobre un material ciertas longitudes de onda son absorbidas y otras reflejadas; si ninguna de las longitudes de onda absorbidas está dentro del rango del visible, no percibimos ningún cambio y el material nos resulta transparente, mientras que si se producen absorciones dentro del rango visible, se genera la sensación de color. Las longitudes de onda que se pueden absorber están determinadas por la configuración de niveles energéticos del material. El color que de una determinada sustancia química percibimos es el resultado de las longitudes de onda que no son absorbidas.

El electrocromismo está definido como la capacidad de un material para cambiar reversiblemente su color mediante una reacción electroquímica de oxidación o reducción (es decir, la extracción o aporte de electrones al material) provocada por la aplicación de un potencial eléctrico. En la práctica, los dispositivos electrocrómicos operan al inverso que una pila: si en la pila se producen reacciones químicas que dan lugar a corriente eléctrica, en los dispositivos electrocrómicos provocamos esa reacción química (el cambio de color) cuando hacemos pasar corriente eléctrica.

Habitualmente el cambio de color se realiza de forma gradual y reversible entre dos colores determinados (azul a rojo, verde a amarillo, etc.). Prácticamente cualquier cambio entre distintos colores está disponible (bien utilizando un material o mezclas de ellos), aunque quizá el cambio más interesante es aquel en el que se produce un cambio entre un estado transparente y otro absorbente.

Las aplicaciones de estos dispositivos, algunas ya comercializadas, otras en proceso, incluyen cualquiera en la que se pretenda generar un cambio de color estático o dinámico, entre ellos (figura 1):

- Espejos retrovisores antirreflectantes, que se oscurecen cuando es necesario evitando deslumbramientos.
- Ventanas de transmisión variable, las cuales regulan la luz que pasa a su través, haciendo más confortables los habitáculos y controlando el calentamiento producido por rayos solares, de esta manera reduciendo consumos en refrigeración.
- Displays en los cuáles se muestra información, o pantallas de dispositivos tales como teléfonos móviles, o lectores de libros electrónicos
- Gafas adaptables, las cuales regulan la luz para evitar molestias en los ojos.



Figura 1. Distintas aplicaciones para dispositivos electrocrómicos

4. El problema: optimización del contraste óptico

En párrafos anteriores hemos comentado que el origen de este trabajo es el encontrarnos con una función que necesitamos optimizar, y para ello utilizar las herramientas matemáticas disponibles para el cálculo de máximos. Veamos cuál es esa función en el caso de la tecnología que nos ocupa, el desarrollo de dispositivos electrocrómicos.

Una de las magnitudes más importantes en el funcionamiento de estos dispositivos es el cambio de color que sufren. El contraste es una magnitud que cuantifica ese cambio. En concreto lo que mide es la diferencia entre el porcentaje de luz que pasa para distintos estados de color del dispositivo. Así, podemos definirlo de esta manera:

$$\Delta T = \%T_c - \%T_d \quad (1)$$

Siendo T_c y T_d , las transmitancias en dos estados, el estado transparente (*clear* en inglés, de ahí el subíndice c) y coloreado o absorbente (del inglés *dark*). La transmitancia es una medida de la cantidad de luz que se transmite a través de un material: un material transparente tendrá una transmitancia del 100 %, y uno opaco del 0%. Otra magnitud que nos da la misma información es la absorbancia A , que mide cuanto luz absorbe el material (realmente hay una tercera magnitud a considerar que sería cuanto se refleja, pero no la vamos a considerar por simplicidad). Estas dos se relacionan por

$$\%T = 10^{(2-A)} \quad (2)$$

El cambio en la transmitancia de un material es provocado por la extracción o inyección de electrones (lo que llamamos carga redox), y se puede demostrar que existe una relación entre el cambio en absorbancia de un material y su carga redox. Esta expresión no es más que la ley de Beer-Lambert, que se estudia en las asignaturas de química (usualmente

como técnica para determinar concentraciones), o en física bajo la forma de atenuación de una onda en un medio material. Esta relación permite extender esta experiencia a dichas asignaturas, siendo este uno de los objetivos. La citada función es la siguiente.

$$A = \eta q \quad (3)$$

Siendo q la carga redox del material, anteriormente citada, y η un nuevo parámetro de absorción directamente que se suele denominar eficiencia de coloración. La carga redox q es un parámetro fácilmente medible y controlable experimentalmente. Si consideramos la ec. 2, podemos convertir la absorbancia en transmitancia, y obtener una expresión para el contraste así [1]:

$$\Delta T = 100[\exp(-\mu_c q) - \exp(-\mu_d q)] \quad (4)$$

Los valores de μ están directamente relacionados con los de η , (siendo ambos constantes) y experimentalmente se pueden obtener para películas con diferentes q (variable de la función). Podemos hallar fácilmente el máximo de esta función (derivando e igualando a cero), obteniendo:

$$\Delta T_{max} = 100(\exp(-\mu_c q_{max}) - \exp(-\mu_d q_{max})) \quad (5)$$

Con lo que conocemos cuál es la película que mejor contraste nos va a dar y el valor de este contraste.

En teoría nuestro problema de maximización estaría resuelto pues hemos optimizado nuestro material. Sin embargo en la práctica, la propia naturaleza de los dispositivos electrocrómicos hace necesaria la utilización de un segundo material (retomando las analogías con una pila, si un material es nuestro polo positivo, necesitamos un polo negativo, si no, no se cerrará el circuito y no habrá corriente).

Esta situación se conoce desde el origen del desarrollo de estos dispositivos, y se le han dado diferentes soluciones. Una de ellas, probablemente la más extendida, convierte esa “necesidad” en una ventaja: puesto que necesitamos un segundo material para completar el dispositivo, si este es también electrocrómico, tendremos dos materiales cambiando simultáneamente de color y nuestro dispositivo tendrá mayor contraste. Esta configuración se denomina habitualmente configuración dual o de materiales complementarios.

En este caso la búsqueda del máximo contraste posible adquiere mayor dificultad, pues debemos encontrar una combinación entre los dos materiales, dos películas, cada una con una q y una μ diferente, de tal manera que la respuesta conjunta se traduzca en el máximo contraste. Matemáticamente, obtenemos una función de dos variables.

En esta situación, si asumimos que se sigue cumpliendo la ley de Beer-Lambert aún sumando las dos películas, podemos llegar a una expresión parecida para el contraste [2]:

$$\Delta T = 100[\exp(-\mu_{c1}q_1 + \mu_{c2}q_2) - \exp(-\mu_{d1}q_1 + \mu_{d2}q_2)] \quad (6)$$

Los significados de los diferentes símbolos son los mismos que en anteriores ecuaciones, y los subíndices 1 y 2 corresponden a la primera y segunda películas (cada una de un material diferente). En este caso la función depende de dos variables, q_1 y q_2 , y respecto a éstas deberemos maximizar su valor.

La función contraste a la que hemos llegado puede expresarse genéricamente de esta manera:

$$f(x, y) = 100[\exp(-ax - by) - \exp(-cx - dy)] \quad (7)$$

La función está definida en \mathbf{R}^2 para $x, y > 0$, con $a, b, c, d > 0$, $a < c$ y $b < d$.

En estas condiciones, podemos encontrar el máximo de esta función utilizando el teorema de Weierstrass. El desarrollo de este cálculo se realizó, y los detalles pueden encontrarse en las referencias adjuntadas [3].

Se demostró que el máximo de esta función aparece cuando x o y son cero. Que x o y sean cero significa que la carga de una de los materiales es cero, es decir, que no hay película. En la práctica esto significa que el máximo contraste se consigue cuando sólo tenemos un material. Este resultado es muy significativo, pues cuestiona la validez de la configuración dual que se comentó anteriormente, cuya utilidad no se ha puesto en duda durante dos décadas por la comunidad científica internacional, y abre la puerta hacia nuevas configuraciones de estos dispositivos. Todo ello utilizando conceptos que se explican en los primeros cursos de las titulaciones universitarias de ciencias.

Es importante volver a destacar que el problema de maximización de una propiedad puede encontrarse en otras aplicaciones, por lo que los pasos seguidos pueden ser extrapolables a otras situaciones, y por tanto a otros contenidos docentes.

5. La experiencia en el aula

Para el desarrollo de esta experiencia en el aula, se realizaron dos videos. En el primero de ellos se introducen los conceptos básicos relativos al electrocromismo, y en el segundo se plantea y resuelve el problema matemático. Estos videos se desarrollaron en la plataforma POLIMEDIA, un sistema diseñado en la Universidad Politécnica de Valencia para la creación de contenidos multimedia y disponible para la comunidad docente en la Universidad Politécnica de Cartagena [4]. El sistema consiste en la superposición de un entorno virtual (presentación power point o cualquier otra formato multimedia) junto a la grabación en imagen y sonido del profesor. El formato resultante puede ser editado de acuerdo a las necesidades específicas de cada profesor (con subtítulos, por ejemplo).

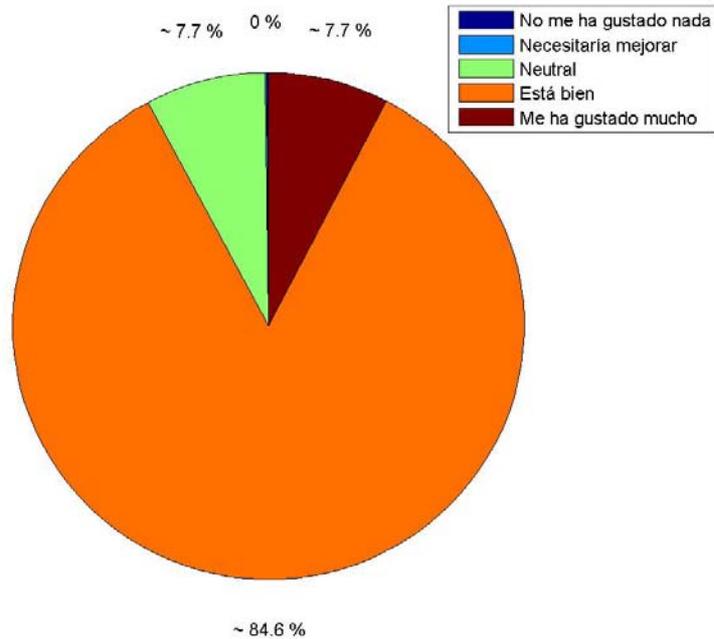
Durante el presente curso 2010/2011 se realizó esta experiencia con alumnos de la UPCT de las asignaturas Cálculo Numérico, de segundo curso de Ingeniería Industrial, y Métodos numéricos, de tercer curso de Ingeniería Técnica Industrial. La duración de la experiencia fue de unos 15 minutos, y al finalizarla los alumnos completaron un test consistente en las siguientes preguntas:

1. ¿Consideras que te ha servido para entender mejor los conceptos explicados? Posibles respuestas: escala de 1(nada) a 5(mucho)
2. ¿Cómo valoras la inclusión de ejemplos prácticos de aplicación en la vida cotidiana del temario de la asignatura? Posibles respuestas: escala de 1(muy desfavorablemente) a 5(muy favorablemente)
3. ¿Con qué frecuencia consideras que deben incluirse? Posibles respuestas: escala de 1(nunca) a 5 (continuamente)
4. ¿Cómo valoras la inclusión de medios audiovisuales en el aula? Posibles respuestas: escala de 1(muy desfavorablemente) a 5(muy favorablemente)
5. ¿Consideras que deben incluirse regularmente? Posibles respuestas: escala de 1(nunca) a 5(continuamente)
6. ¿Cómo valoras la duración de la experiencia? Posibles respuestas: escala de 1(excesivamente corta) a 5 (excesivamente larga)
7. ¿Cuál es la valoración global que haces de esta experiencia? Posibles respuestas: escala de 1(no me ha gustado nada) a 5 (me ha gustado mucho)

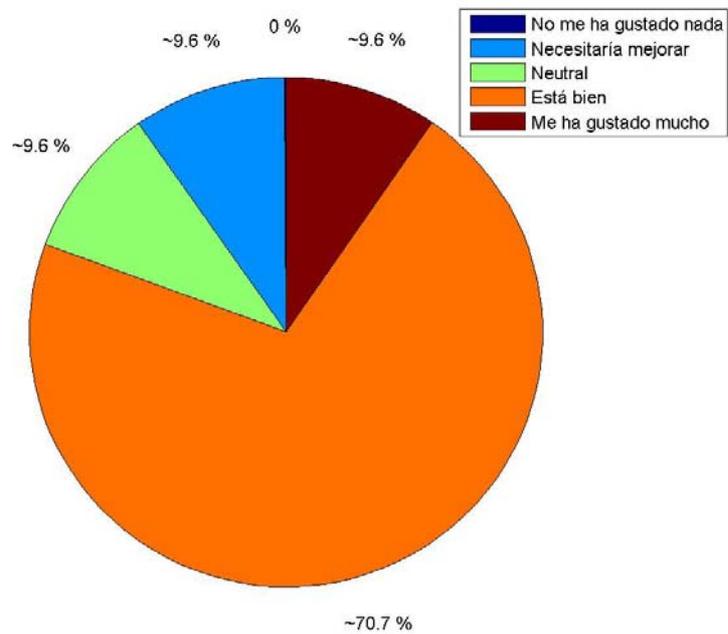
Los resultados obtenidos se pueden ver en las siguientes tablas:

Tabla 1. Resultados del test. Porcentaje de alumnos que escogieron cada opción para las siete preguntas propuestas. En las figuras adjuntas se representan las respuestas a la séptima pregunta, valoración global de la experiencia

Asignatura: Métodos numéricos					
Nº de alumnos: 13					
Pregunta	Porcentaje respuestas				
	1	2	3	4	5
1	0	7,7	23,1	61,5	7,7
2	0	0	0	30,8	69,2
3	0	15,4	15,4	23,1	46,2
4	0	0	7,7	46,2	46,2
5	0	30,8	15,4	38,5	15,4
6	0	15,4	84,6	0	0
7	0	0	7,7	84,6	7,7



Asignatura: Cálculo numérico					
Nº de alumnos: 41					
Pregunta	Porcentaje respuestas				
	1	2	3	4	5
1	4,9	9,8	31,7	53,7	0
2	2,4	2,4	4,9	48,8	41,5
3	0	31,7	29,3	22	17,1
4	0	7,3	14,6	58,5	19,5
5	0	19,5	22	48,8	9,8
6	0	4,9	80,5	12,2	2,4
7	0	9,6	9,6	70,7	9,6



6. Conclusiones

Ante los resultados obtenidos en el test, algunas conclusiones generales que se pueden extraer serían las siguientes:

En general los alumnos valoran positivamente la inclusión de ejemplos reales de la vida cotidiana, y son partidarios de usar este recurso con frecuencia.

Los medios audiovisuales también son del agrado, y deben usarse con cierta frecuencia. En cualquier caso, cualquiera de los recursos debe estar muy bien explicado y cuidando los detalles, pues en otro caso genera un sentimiento de no servir demasiado para seguir el curso.

La duración de la experiencia, 15 minutos en una clase de una hora, parece ser adecuada.

Se rompe la monotonía de las clases y sirve para aumentar el interés y la atención del estudiante.

La valoración que hacen los alumnos de la experiencia invita a pensar que la iniciativa es productiva y a utilizarla en cursos venideros.

Anexo: conceptos utilizados y ubicación dentro de las asignaturas

A.1 Ley de Beer-Lambert (Química)

Conceptos

La ley indica que hay una dependencia logarítmica entre la transmisión, de la luz a través de una sustancia y del producto del coeficiente de absorción de la sustancia, y la distancia que la luz viaja a través del material.

Esta ley une las leyes de Beer, por un lado, que dice que la cantidad de luz absorbida por una sustancia disuelta es proporcional a la concentración en la disolución, y la ley de Lambert, que afirma que la cantidad de luz absorbida por una sustancia es proporcional a la distancia recorrida por la luz. La proporcionalidad viene determinada por un coeficiente, propio de cada material que denominamos coeficiente de absorción molar. La expresión matemática de la ley se ubica en el texto como ec. 3.

Ubicación

Esta ley se suele utilizar en las prácticas de esta asignatura, para determinar concentraciones. También, si se incluye en el temario alguna introducción a técnicas experimentales e instrumentación, una experiencia sencilla para utilizar espectrofotómetros sería esta.

Dentro del temario teórico, se introducen conceptos de disoluciones, así como concentraciones. El empleo de esta ley puede ser la base para realizar ejercicios relativos a estos conceptos.

A.2 Atenuación de una onda (Física)

Conceptos

El concepto físico es el mismo comentado en el anterior apartado, la disminución exponencial de la intensidad de una onda con la longitud recorrida.

Ubicación

Dentro del temario de las asignaturas de física de primer año, es habitual incluir algunas secciones relativas al estudio del movimiento ondulatorio y su propagación en distintos medios. La atenuación en la intensidad de una onda a través de una material sigue la relación propuesta por Beer-Lambert.

A.3 Teorema de Weierstrass y resolución de problemas de máximos absolutos (matemáticas)

Conceptos

Teorema de Weierstrass: Una función continua en un intervalo cerrado y acotado, tiene máximo y mínimo absoluto en dicho intervalo.

Ubicación

Se ubica dentro de los problemas generales de cálculo de máximos y mínimos de funciones de varias variables y cálculo diferencial.

Bibliografía y Referencias.

- [1] PADILLA, J. ; SESHADRI, V., SOTZING, G.A., OTERO, T.F. “*Maximum contrast from an electrochromic material*” en *Electrochemistry Communications*, Elsevier, Laussane, 2007 (9) pp. 1931-1935
- [2] PADILLA, J., OTERO, T.F. “*Contrast limitations of dual electrochromic systems*” en *Electrochemistry Communications*, Elsevier, Laussane, 2008 (10) pp. 1-6
- [3] PADILLA, J., “A theoretical investigation on the contrast limitations of dual electrochromic systems” en *Thin Solid Films*, Elsevier, Laussane, 2009 (18) pp. 5580-5583
- [4] <http://www.upct.es/polimedia/> [Consulta: 11 mayo 2011]