

CONSTRUCCIÓN Y EMPLEO DE UN ESPECTROFOTÓMETRO CASERO DURANTE EL CONFINAMIENTO

CONSTRUÇÃO E USO DE UM ESPECTROFOTOMETRO CASEIRO DURANTE O CONFINAMENTO
CONSTRUCTION AND USE OF A HOMEMADE SPECTROPHOTOMETER DURING THE LOCKDOWN

Ramón Cid & Daniel González-Fernández

Depto Didácticas Aplicadas Universidad de Santiago (USC), España
rcidmanzano@gmail.com

RESUMEN | Las prácticas de laboratorio como parte esencial de la enseñanza de ciencias en general y de Física y Química de forma más concreta, se han tenido que adaptar a la docencia no presencial sobrevenida a causa de las restricciones de movilidad decretadas por la COVID-19. Por este motivo, presentamos una actividad de laboratorio que, de forma sencilla, aproxima el análisis espectroscópico cuantitativo al alumnado de secundaria según su nivel y sirve de introducción al complejo contenido del comportamiento cuántico en la interacción luz-materia, adecuando a las condiciones domésticas los materiales y procedimientos habituales a realizar en un laboratorio.

PALABRAS CLAVE: Educación Secundaria, Física y química, Práctica no presencial, Espectroscopía, Teléfonos móviles.

RESUMO | As práticas de laboratório como parte essencial do ensino de ciências em geral e da Física e da Química de maneira mais concreta, tiveram que ser adaptadas ao ensino não presencial devido às restrições de mobilidade decretadas pela COVID-19. Por esse motivo, apresentamos uma prática de laboratório que, de maneira simples, aproxima a análise quantitativa espectroscópica dos alunos do ensino secundário de acordo com seu nível e serve como uma introdução ao conteúdo complexo do comportamento quântico na interação luz-matéria, adaptando às condições domésticas os materiais e procedimentos usuais a serem realizados em laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: Educação Secundária, Física e química, Prática não presencial, Espectroscopia, Telemóveis.

ABSTRACT | The Laboratory practices as an essential part of science teaching in general and Physics and Chemistry in a more concrete way, has had to be adapted to no-classroom teaching due to the mobility restriction enacted by COVID-19. For this reason, we present a laboratory practice that, in a simple way, approximates the quantitative spectroscopic analysis to secondary school students according to their level and serves as an introduction to the complex content of quantum behavior in the light-matter interaction, adapting to the domestic conditions the usual material and procedures to be performed in the laboratory.

KEYWORDS: Secondary Education, Physics and chemistry, Non-classroom practice, Spectroscopy, Mobile phones.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha venido incrementando el interés en la investigación didáctica dirigida a la enseñanza de los contenidos científicos hacia la integración de la contextualización, indagación y modelización como procesos imprescindibles en el aprendizaje de la competencia científica (Caamaño, 2011; Jiménez Aleixandre y Puig, 2013). Este trabajo se centra particularmente en el primero de los elementos: la contextualización, abordando la interacción cuántica luz-materia conectada con el análisis químico relacionándola con el entorno del alumnado, con la doble intención de establecer la importancia científica del procedimiento que se presenta, y, de otra, ayudar a iniciar al alumnado en los principios conceptuales -la física cuántica- que subyacen en ese proceso experimental. Ya en décadas pasadas aparecieron en los sistemas educativos avanzados las llamadas relaciones CTS (ciencia-tecnología-sociedad), a la que se les unió posteriormente el medio ambiente (CTSA), en algunos de ellos. A la hora de conectar estas relaciones con las prácticas de enseñanza aparecieron dos estrategias diferentes: una consistente en partir de los aspectos conceptuales para explicar la realidad que rodea al alumno, y otro en el que se parte de esa realidad para desarrollar los conceptos y proponer los modelos. Este segundo enfoque ha sido considerado en varias reformas educativas llevadas a cabo en varios países, y responde directamente con uno de los factores que ha de estar presentes en un aprendizaje en el que el alumno construye su conocimiento: el proceso “situado”, es decir, la adquisición del conocimiento siempre tiene lugar en un contexto o situación específica.

Los contenidos relacionados con el comportamiento cuántico del mundo que nos rodea están no exentos de dificultad para el alumnado, por tratarse de un fenómeno ligado a la estructura más elemental de la materia, no ser “tangibile” en términos de percepción directa y estar alejado, aparentemente, de la realidad más cercana de los estudiantes. Sin embargo, este tipo de contenidos aparecen en diferentes aproximaciones en los currículos de varios niveles en la enseñanza secundaria. De especial importancia es su presencia en la enseñanza del modelo atómico actual, en el que la física cuántica es el núcleo conceptual en el que se sustenta su explicación. Por otra parte, la mayoría de las herramientas analíticas que son utilizadas para elucidar la estructura y propiedades de la materia tienen la interacción cuántica luz-materia como base conceptual del procedimiento seguido.

Lejos de ese alejamiento aparente del entorno próximo del alumno, la realidad cuántica es algo permanente en todo lo que nos rodea, y por ello presentamos aquí una adaptación de una actividad experimental de laboratorio (Cid Manzano y González-Fernández, 2020) para ser realizada individualmente en casa, tanto en tiempo de confinamiento como alternativa a la que se puede realizar de forma colectiva en el centro escolar. Se trata de seguir la estrategia del “proceso situado” para estudiar el fenómeno de la interacción cuántica luz-materia desde una intención contextualizada: conocer la concentración de una “disolución casera” por medida de la luz absorbida.

Esta acción se fundamenta en la realización de medidas de absorción de luz “monocromática” por disoluciones de un determinado color que presentan diferentes concentraciones. En particular, se ha elegido colorante alimentario como soluto para crear las disoluciones de trabajo, y, naturalmente, el resto de la “instrumentación” necesaria está al alcance del alumnado en sus casas, no presenta ningún problema de riesgos inherentes al procedimiento, y permite un estudio cuantitativo del proceso. Hay que destacar, además, que es el teléfono móvil del estudiante, a través de una aplicación o app gratuita, el protagonista de la

toma de datos, lo que facilita enormemente el desarrollo del procedimiento dada la destreza que tiene el estudiantado en el manejo de estos dispositivos.

Por tanto, el objetivo fundamental de esta actividad es establecer en el alumnado un acercamiento al mundo cuántico a través de un procedimiento sencillo, que se acerca, además, al trabajo real del análisis químico, lo que le confiere una conexión directa entre el mundo conceptual y el procedimental, entre el área de la ciencia fundamental y el área de la ciencia aplicada.

Esta acción ya se ha realizado en el laboratorio escolar en cursos pasados, tanto en el nivel de la enseñanza secundaria como en el Máster de Formación de Profesorado de Secundaria de la Universidad de Santiago de Compostela en la materia de Didáctica de la Física y Química, lo que ya nos había permitido una elaboración específica, estructuración, seguimiento y evaluación de la actividad en su momento. El resultado obtenido en la situación de enseñanza presencial nos llevó a elaborar una adaptación de las acciones a realizar a una situación de confinamiento, modificando determinados aspectos materiales y procedimentales para el mejor desarrollo de la actividad al caso individual y en el marco de la vivienda de la alumna o del alumno.

Por la propia situación derivada de la pandemia, se tomó la decisión de proponer la actividad de forma voluntaria a alumnado de diferentes niveles de secundaria, dado que se presentaban muy diferentes situaciones académicas y personales entre los estudiantes durante el confinamiento. Debido a esto la evaluación concreta del proceso no tenía sentido en términos estadísticos, más allá de una aproximación general a ciertos aspectos de la propuesta. En particular, la mayoría del alumnado que decidió realizar la acción ya poseían unas competencias de todo tipo por encima de la media, y no sería representativo extrapolar los resultados de su evaluación al marco general de cada una de las aulas participantes.

En todo caso, dado que se trata de una acción previamente contrastada en el marco de la instrucción convencional previamente desarrollada, no consideramos que la falta de este estudio concreto dificulte la valoración didáctica, por parte de quien lea este trabajo, de la propuesta que aquí se presenta.

2. FUNDAMENTO Y CONTEXTO

La implementación de forma urgente de un modelo de docencia no presencial debido a las medidas excepcionales y temporales decretadas durante este año a causa de la COVID-19 en distintos países (Portugal: Presidência do Conselho de Ministros, 2020; España: Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, 2020) supuso la necesidad de transformar actividades ya programadas para este curso en otras que el alumnado pudiera realizar con el material que tienen en sus casas, por su cuenta, de forma segura y siguiendo las instrucciones elaboradas por el profesorado.

Además de los aspectos didácticos que se acaban de abordar en la Introducción, las prácticas de laboratorio en Ciencias Experimentales son clave en el proceso de enseñanza aprendizaje, ya que fomentan un mayor interés por la materia en el alumnado y ayudan al logro de un aprendizaje significativo (Bermúdez Rochas, 2012). Esta es la razón de que presentemos una adaptación a la situación de enseñanza no presencial actual de la práctica de laboratorio que ideamos sobre la utilización del análisis espectroscópico y con la que, como ya se ha señalado,

pretendimos aproximar de forma sencilla esta técnica al alumnado de secundaria unido a la comprensión de la interacción cuántica luz-materia. Se proponen diferentes alternativas en la parte de cálculo y tratamiento de datos con objeto de adaptarla al nivel competencial del alumnado en cada curso. Las adaptaciones realizadas sobre la propuesta original están dirigidas a que el alumnado pueda desarrollar la actividad experimental por su cuenta desde sus casas.

Por otra parte, y como ya se ha indicado anteriormente, esta “actividad casera” no está restringida a episodios de confinamiento, como los relacionados con la COVID-19, sino que ha sido implementada como complemento a la instrucción habitual para los contenidos procedimentales de Química, pero, también, puede ser útil en otro tipo de procesos de enseñanza-aprendizaje como son las actividades online ligadas a la estrategia didáctica de “flipped classroom” (Molés Bort y Monferrer Pons, 2013).

El análisis espectroscópico aparece como contenido en el currículo oficial español (Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2015) de la materia de Física y Química en el primer curso de bachillerato (16-17 años) como una de las técnicas fundamentales de reconocimiento de sustancias, estando presente también en la fundamentación de los modelos cuánticos del átomo en casi todos los cursos de la enseñanza secundaria.

Entre las técnicas espectroscópicas, aquellas en las que el analito sufre procesos de absorción, emisión o luminiscencia, se encuentra la espectroscopía o espectrofotometría ultravioleta-visible. En ella se aprovecha la absorción de la radiación electromagnética en las zonas del ultravioleta y visible del espectro (Figura 1).

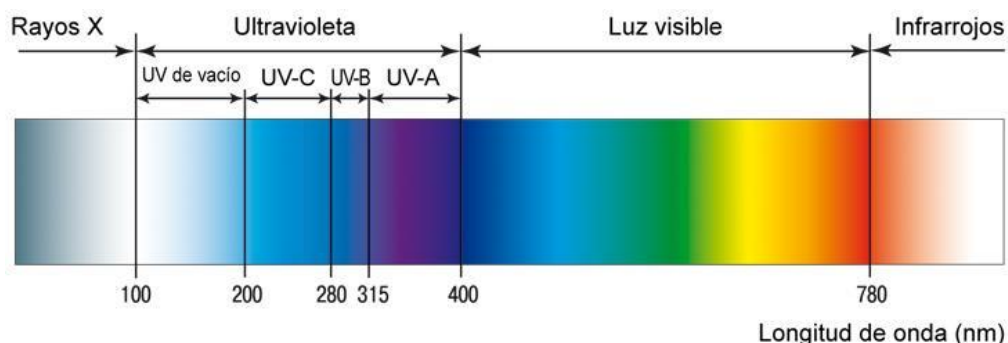


Figura 1 Espectro de la radiación electromagnética.

Existen dos expresiones matemáticas básicas en la espectroscopía de absorción (Figura 2). Por una parte, la medida de la relación entre la intensidad de luz incidente (I_0) y la intensidad de la luz transmitida (I) proporciona la absorbancia (A) según la expresión: $A = -\log(I/I_0)$.

En el caso de disoluciones suficientemente diluidas se cumple que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de la especie absorbente (c) y a la longitud atravesada por la luz en el medio (l) de acuerdo con la Ley de Beer-Lambert: $A = \varepsilon \cdot l \cdot c$. El parámetro de proporcionalidad ε se denomina absorptividad molar y depende del medio.

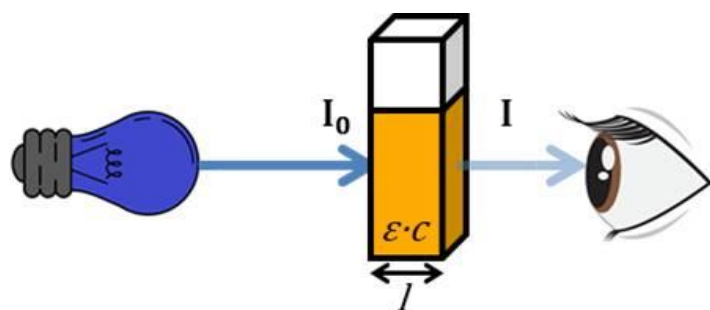


Figura 2 Esquema del proceso de absorción donde se representan los parámetros implicados.

La medida de las intensidades de luz incidente y transmitida a una determinada longitud de onda se realiza empleando un espectrofotómetro. Uno de los principales problemas, a parte de la imposibilidad de contar con uno de estos instrumentos en los hogares -o incluso en los departamentos de Física y Química muchos centros de enseñanza secundaria por su elevado coste- es que su utilización suele presentar el problema didáctico de “caja negra”, que aparece cuando todo ocurre en el interior de un dispositivo sin que el alumnado llegue a ver por sí mismo lo que verdaderamente está sucediendo desde el punto de vista físico. El uso de estos dispositivos costosos y sofisticados produce, en general, en los cursos de secundaria, resultados de pobre significación didáctica, estando por tanto comprometido el verdadero aprendizaje significativo. Por estas razones, existen diferentes propuestas para la elaboración de espectrofotómetros “caseros” en las que se emplean tanto probetas (Gordon y Harman, 2002), LEGOs (Knagge y Raftery, 2002), cámaras digitales (Quagliano y Marks, 2013), circuitos electrónicos simples con un diodo emisor de luz (LED) y una resistencia dependiente de la luz (LDR) (Delgado, et al., 2014), discos compactos (CDs) (Taha, et al., 2017), o caja de cartón con una aplicación de teléfono móvil, que es la que nosotros elegimos como referencia (Kuntzleman y Jacobson, 2016).

Nuestra propuesta incide en tres aspectos: por una parte, habituar al alumnado al procedimiento de preparación de muestras; acercamiento a la instrumentación empleada en la espectroscopía de absorción, simplificando para ello el montaje e implicando al alumnado en su realización, abaratando los costes, y reduciendo la dificultad matemática del proceso respecto a otras iniciativas; y por último, tratamiento de los datos obtenidos en función del nivel del curso en el que se realiza la actividad. En este sentido, el empleo de una aplicación que el alumnado puede descargar en su propio teléfono móvil facilita el proceso de toma y registro de datos, dada la destreza que tienen en el manejo de estos dispositivos. De esta forma, y como ha sido indicado anteriormente, la implicación del alumnado en la realización de todo el proceso —montaje / experimentación / medidas / tratamiento de datos / resultados / conclusiones— permite alcanzar con garantías el objetivo didáctico pretendido.

Como particularidad diferenciadora de la actividad que aquí se presenta en comparación con la actividad original —y que ya se ha desarrollado en el aula de laboratorio y también en el curso de Máster de Formación de Profesorado de Secundario de la Universidad de Santiago de Compostela— está la sustitución del uso de todo el material y reactivos típicos de un laboratorio por otros a los que puede tener acceso el alumnado en sus hogares, de forma que no haya ningún problema a la hora de realizar esta práctica fuera del centro de enseñanza y de forma individual y segura.

3. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA EDUCATIVA Y SU IMPLEMENTACIÓN

3.1 Construcción del espectrofotómetro

En esta práctica el alumnado construirá un espectrofotómetro de “haz simple” con un único compartimento de celda a partir de los siguientes materiales (Figura 3):

- *Fuente de luz:* se empleará la luz ambiental, tanto la luz solar como la producida por la iluminación de la habitación en que se encuentren, pudiendo usarse una linterna o la luz del flash de un móvil de ser necesario aumentar su intensidad.
- *Monocromador:* una cartulina azul que absorberá las demás longitudes de onda de la luz blanca incidente reflejando la luz azul. En este caso la luz “monocromática” deseada es la azul por la coloración de la disolución problema que se pretende analizar. En caso de querer usar una disolución de otra coloración, simplemente tendríamos que cambiar la cartulina (el “monocromador”). También se puede utilizar como emisor de la luz de trabajo la pantalla de un dispositivo electrónico —tablet o laptop— donde se selecciona el color deseado.
- *Celda:* caja de cartón provista de dos aperturas de 1 cm de lado en caras opuestas, que actuarán como ventanas de entrada y salida del “haz monocromático”, y una tercera apertura en la cara superior de la caja, situada perpendicularmente a la trayectoria del haz de luz, donde se situará el vasito de cristal o recipiente similar, a modo de cubeta, con la disolución a analizar.
- *Detector:* cámara de un teléfono móvil en el que se ha instalado una aplicación de reconocimiento de colores. En particular, nosotros hemos utilizado la aplicación ColorMeter Free – color picker (Vistech.projects, 2014), que nos proporciona de 0 a 255 la “intensidad” de los colores rojo-verde-azul de la luz en el punto de enfoque de la cámara del móvil.

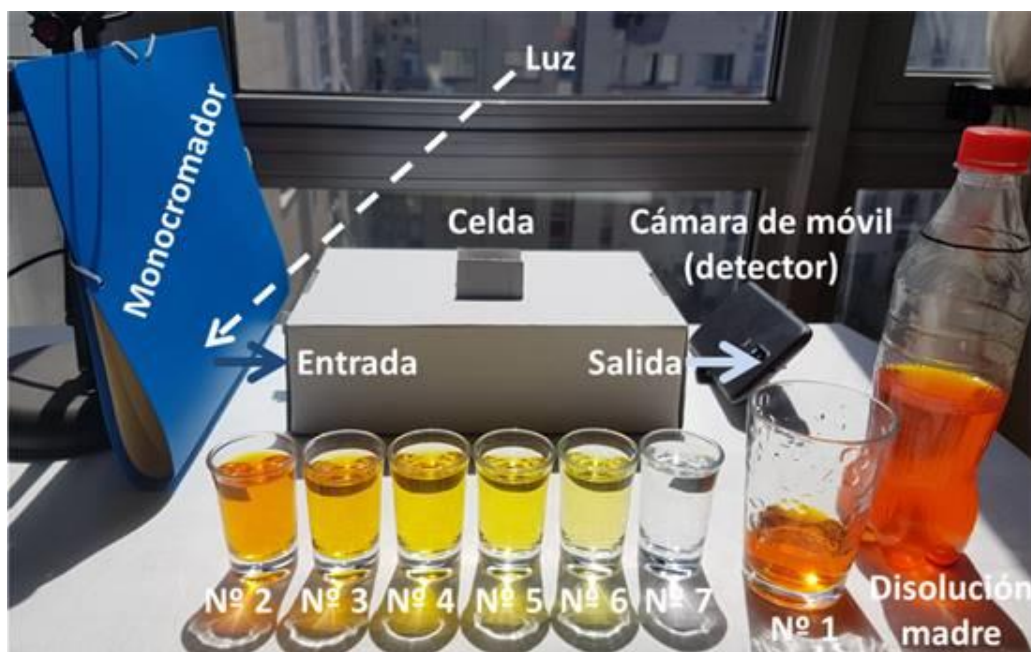


Figura 3 Montaje del espectrofotómetro casero donde se indican las partes que lo componen.

3.2 Desarrollo de la experiencia

Como ya se ha indicado, el objetivo de esta actividad es acercar el análisis espectrofotométrico al alumnado de secundaria, permitiéndole determinar la concentración de una disolución problema mediante técnicas espectroscópicas y, al mismo tiempo, iniciarse en el conocimiento de la interacción cuántica luz-materia.

A diferencia de nuestra experiencia original —realizada en el centro escolar— donde empleamos como muestra a analizar una disolución de sulfato de cobre (II), reactivo químico de uso habitual en los laboratorios escolares de secundaria (Herdia Ávalos, 2006) y que presenta una coloración azul característica, en esta ocasión propusimos la utilización de colorantes alimentarios, dada su menor peligrosidad y toxicidad. Se trata de compuestos que se pueden adquirir en tiendas de alimentación y su coste no es elevado, existiendo en diferentes formatos, sólidos o líquidos, y colores. Según el tipo de colorante empleado, el procedimiento para preparar las disoluciones puede tener ligeras modificaciones.

A la hora de escoger el colorante para esta práctica hay que tener en cuenta la aproximación que se realiza al simplificar que una disolución absorbe la “luz complementaria” a su color, siguiendo la “rueda de colores” que se muestra en la Figura 4 (Reusch, 2013).



Figura 4 Rueda de colores con las longitudes de onda asociadas a cada uno.

En la práctica que aquí presentamos utilizaremos un colorante alimentario habitual en las cocinas como sustituto económico del azafrán (Figura 5). Este aditivo, compuesto de harina de maíz, tartracina (E-102), rojo allure (E-129), azorubino (E-122) y azul indigotina (E-132), le confiere un color anaranjado característico a las comidas y a la disolución empleada aquí. En este punto hay que tener en cuenta que el ojo humano no presenta la misma sensibilidad para todos los colores (Shakhashiri, 1983), por lo que se puede realizar una aproximación y considerar que la disolución del colorante presenta un color anaranjado porque absorbe la luz en un rango próximo a los 420-490 nm, lo que le corresponde a una zona de absorción en la zona azul del espectro (ver Figura 4).



Figura 5 Caja (izquierda), sobres (centro) y colorante (derecha) empleado en esta práctica.

3.2.1 Preparación de las disoluciones

El alumnado preparará una disolución inicial de 1.6 g/L. Para ello disolverá el contenido de uno sobres de colorante directamente en una botella de agua de 500 mL o, en su defecto, en una botella en la que previamente se marcó su aforo. A partir de esta disolución madre se prepararán 5 disoluciones por dilución sucesiva con agua (Figura 6). La séptima disolución formada solo por agua, actuará de blanco. El conjunto de estas 6 disoluciones servirá para construir la curva de calibrado. A falta de tubos de ensayo y cubetas de absorción en los que situar las disoluciones, el alumnado podrá emplear vasos o recipientes de cristal pequeños.

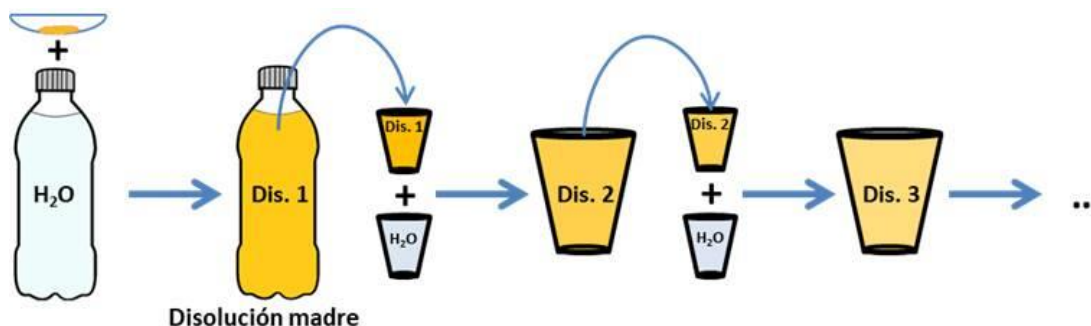


Figura 6 Procedimiento de la preparación de las disoluciones patrón por dilución sucesiva.

La ausencia de instrumentación adecuada en los hogares no hace posible preparar las disoluciones patrón con gran exactitud. De ahí la importancia de remarcar al alumnado que la práctica a realizar solo pretende aproximarlos a técnicas que se realizan de forma habitual en un laboratorio de análisis pero, en esta ocasión, hay que tener en cuenta las limitaciones que existen en sus viviendas. Por otra parte, como profesorado, también hay que tener en mente que el objetivo de esta actividad no está en la precisión y exactitud de los resultados, sino que busca acercar al alumnado al trabajo científico en un laboratorio y, de forma más concreta, al procedimiento del análisis espectroscópico de absorción, incidiendo en aquellos pasos que, por motivos evidentes, simplifican etapas realizadas con mayor rigurosidad en el laboratorio.

Por otro lado, hay que tener en cuenta que todo el contenido del sobre no es colorante, ya que presenta excipientes como la harina de maíz que aportan peso y no coloración a la disolución. En este punto se puede proponer al alumnado que planteen formas alternativas al procedimiento entregado como, por ejemplo, la separación de residuos insolubles por filtración por gravedad empleando un filtro de café.

Una alternativa más cualitativa para este procedimiento sería emplear colorante líquidos y añadir un número de gotas progresivo a los vasos que se utilizarán en la curva de calibrado.

3.2.2 Realización de las medidas espectrofotométricas

Para realizar las medidas, el alumnado situará dentro de la celda el vasito a modo de cubeta correspondiente y empleará la aplicación gratuita ColorMeter Free – color picker (Figura 7), u otra semejante. Como se ha comentado, esta clase de aplicaciones permite analizar un color en tiempo real conociendo su composición en los colores primarios (escala RGB), permitiendo hacer capturas de pantalla, de modo que se pueden ir guardando los datos obtenidos para ser tratados después. En este caso, utilizaremos el dato que la aplicación nos proporciona

para el color azul, que es el que va a ser “selectivamente” absorbido. Es esencial que el objetivo de la cámara del móvil apunte correctamente hacia la cartulina a través del vasito empleado, y que las condiciones de luz y situación de todos los componentes sean lo más constante posible.

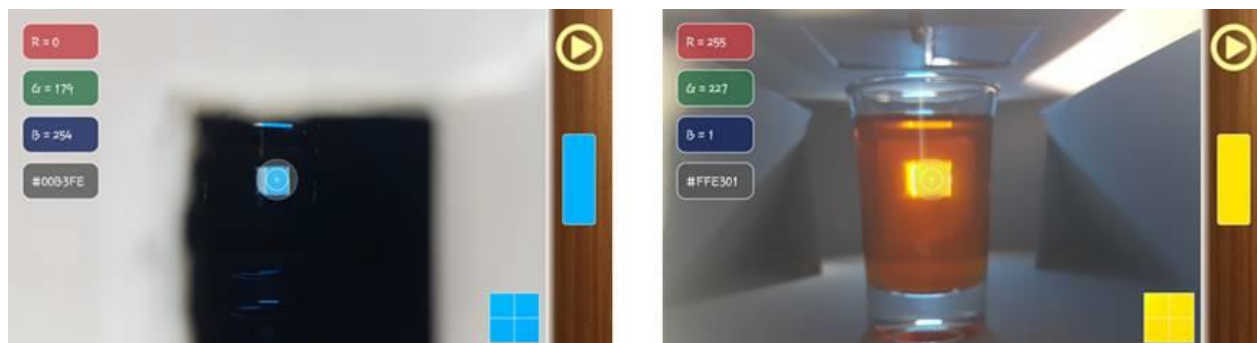


Figura 7 Captura de pantalla de la aplicación al realizar el blanco (izquierda) y N° 1(derecha).

La primera medida a realizar servirá para determinar la intensidad de la luz monocromática de trabajo (I_0). Para ello, se situará el vaso 7 (el blanco, agua) en la celda del espectrofotómetro y con la aplicación del móvil medirán la intensidad de la luz azul que atraviesa el vaso con agua. En la Figura 7 se observa que el valor obtenido en la experiencia, cuyos datos serán utilizados en esta comunicación, es $I_0 = 254$ (en unidades arbitrarias, “u.a.”) para la intensidad inicial de la radiación monocromática azul empleada en esta práctica y escogida, tal y como se comentó anteriormente, por ser el color complementario de la disolución del colorante alimentario utilizado, que es anaranjada.

A continuación, el alumnado repetirá el procedimiento con los vasos N° 1 a 6 (Tabla 1). En la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos en una actividad real. Con estos datos, los alumnos pueden elaborar la representación gráfica de la intensidad de luz transmitida que midieron (I) frente a la concentración de las disoluciones patrón, construyendo así la correspondiente curva de calibrado con su respectiva línea de tendencia y ecuación (Figura 8), siendo importante evitar la confusión de que se está presentando la intensidad de la luz en g/L. La simplificación conceptual y matemática que aquí se emplea solo se realiza en los primeros cursos de secundaria, donde no se aborda la ley de Beer-Lambert, ya que lo que nos interesa es mostrar al alumnado la existencia de una relación directamente proporcional (con pendiente negativa) entre la variación de concentración y la variación de la intensidad de luz transmitida que han medido (I).

Tabla 1- Valores de la intensidad de luz transmitida (I) para las disoluciones patrón

Nº	Concentración (g/L)	I (u. a.)
1*	1.6*	1*
2	0.8	11
3	0.4	110
4	0.2	158
5	0.1	184
6	0.05	218
7	0	254 (I_0)

*Se descarta el valor del vaso N° 1 debido a su alta concentración; la aplicación no detecta valores de $I < 1$

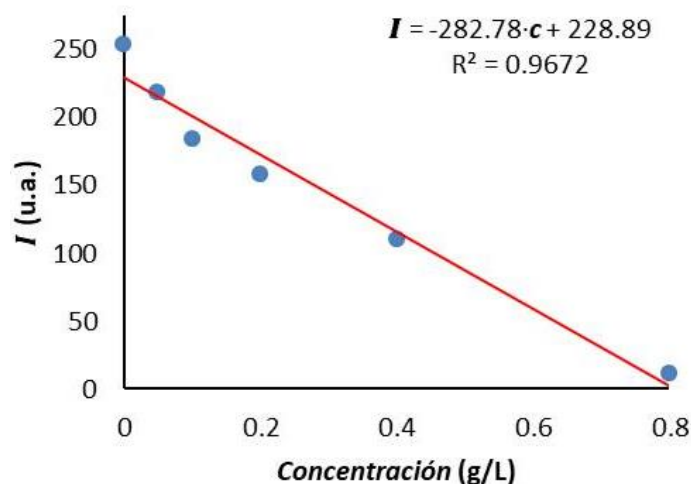


Figura 8 Curva de calibrado realizada al representar la intensidad de la luz transmitida (I) frente a la concentración de las disoluciones patrón (c).

En el caso de querer realizar una aproximación más precisa, siempre y cuando los conocimientos matemáticos del alumnado lo permitan, se representaría el logaritmo de la intensidad de luz transmitida medida, $\log(I)$, frente a la concentración de las disoluciones patrón, ya que:

$$A = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \varepsilon \cdot c \cdot l \rightarrow \log(I) = -\varepsilon \cdot c \cdot l + \log(I_0)$$

Más acorde con la práctica habitual (Skoog, et al., 2001), se puede calcular la cantidad de luz azul absorbida (“Absorbancia”, A') para cada disolución patrón empleando la expresión aproximada: $A' = I_0 - I$. De esta forma se obtiene la Tabla 2 y su gráfica y ecuación (Figura 9).

Tabla 2- Datos de “Absorbancia” (A')

Nº	Concentración (g/L)	I (u. a.)	$A' = I_0 - I$
1*	1.6*	1*	-
2	0.8	11	243
3	0.4	110	144
4	0.2	158	96
5	0.1	184	70
6	0.05	218	36
7	0	254 (I_0)	0

*Se descarta el valor del vaso Nº 1 debido a su alta concentración; la aplicación no detecta valores de $I < 1$

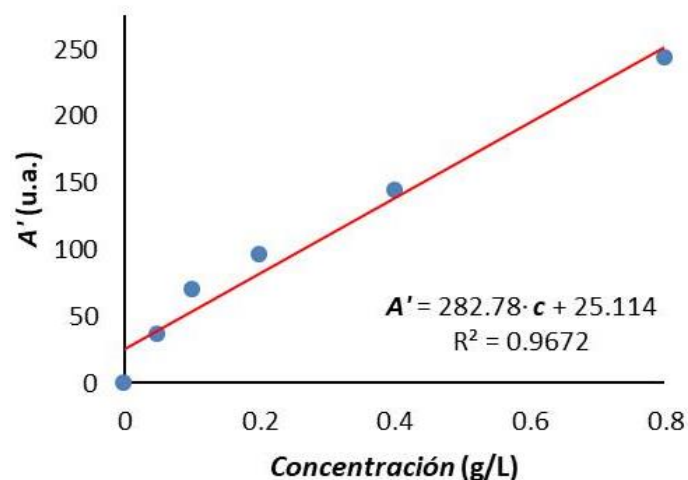


Figura 9 Curva de calibrado realizada al representar la “Absorbancia” (A') frente a la concentración de las disoluciones patrón (c) (método 1).

Esta aproximación presenta, obviamente, el inconveniente de que los valores obtenidos de “Absorbancia” no se corresponden con esta magnitud, dado que el mayor valor de absorbancia debería ser la unidad, pero esto no es didácticamente importante en este caso. De todas formas, los valores se pueden presentar como una fracción del valor máximo, es decir, a través de la “Absorbancia normalizada” (A_n): $A_n = \frac{I_0 - I}{I_0} = 1 - \frac{I}{I_0}$. Así se obtienen la Tabla 3, la correspondiente gráfica y ecuación (Figura 10).

Tabla 3- Datos de Absorbancia normalizada (A_n) por el método 2

Nº	Concentración (g/L)	I (u. a.)	$A_n = 1 - \frac{I}{I_0}$
1*	1.6*	1*	-
2	0.8	11	0.957
3	0.4	110	0.567
4	0.2	158	0.378
5	0.1	184	0.279
6	0.05	218	0.142
7	0	254 (I_0)	0

*Se descarta el valor del vaso Nº 1 debido a su alta concentración; la aplicación no detecta valores de $I < 1$

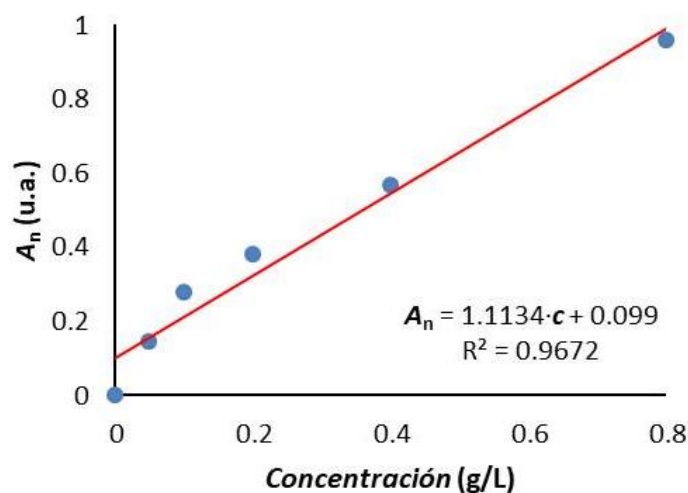


Figura 10 Curva de calibrado realizada al representar la Absorbancia normalizada (A_n) frente a la concentración (c) (método 2).

Por último, y para los cursos de bachillerato (secundaria post-obligatoria) podemos utilizar directamente la Ley de Beer-Lambert, tomando la Absorbancia (A): $A = -\log(I/I_0)$. La Tabla 4 recoge los datos tratados de esta última forma y la Figura 11 su representación.

Tabla 4- Datos de Absorbancia (A) (Ley de Beer-Lambert): $A = -\log(I/I_0) = \varepsilon \cdot l \cdot c$

Nº	Concentración (g/L)	I (u. a.)	A
1*	1.6*	1*	-
2*	0.8*	11	1.363*
3	0.4	110	0.363
4	0.2	158	0.206
5	0.1	184	0.140
6	0.05	218	0.066
7	0	254 (I_0)	0

*Se descartan los valores de los vasos Nº 1 y Nº 2 debido a sus altas concentraciones

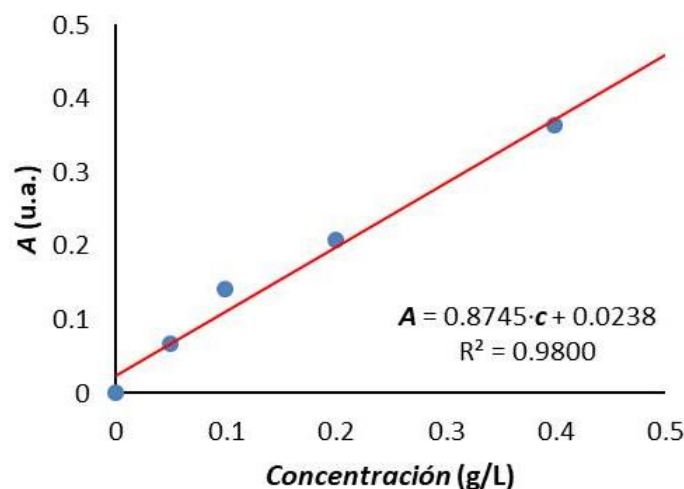


Figura 11 Curva de calibrado realizada al representar la Absorbancia (A) frente a la concentración (c) (Ley de Beer-Lambert) (método 3).

Esta última aproximación es la que más se acerca conceptualmente al procedimiento y a las magnitudes implicadas, pero, como se puede ver en las tablas y gráficas presentadas, no hay diferencias significativas para los objetivos didácticos buscados con respecto a las simplificaciones señaladas en las aproximaciones anteriores. Deberá ser la profesora o profesor quien, en función del nivel y características del curso en cuestión, determine cuál es la estrategia metodológica más conveniente.

3.2.3 Determinación de la concentración de la disolución problema

Como fin de la actividad se propone determinar gráficamente la concentración de una disolución problema, empleando una de las curvas de calibrado elaborada en el apartado anterior. Para esto, se les pedirá que preparen una disolución de concentración desconocida con la disolución madre. Una vez medido su "Absorbancia" con el mismo procedimiento descrito en el apartado anterior, se llevará este valor obtenido a la gráfica con la que se haya trabajado se obtendrá el resultado de la concentración problema en el eje de abscisas.

4. EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA PRÁCTICA Y PRINCIPALES RESULTADOS

Como ya ha sido señalado en la Introducción, debido a la singular situación derivada de la pandemia, se tomó la decisión de que la actividad fuese abordada por el alumnado de forma voluntaria en los diferentes niveles de secundaria, dado que se presentaban muy distintas situaciones entre los estudiantes durante el confinamiento, tanto desde el punto de vista académico como personal y familiar. Debido a esto, la evaluación concreta del proceso no tiene sentido en términos estadísticos, más allá de una aproximación general a ciertos aspectos de la propuesta. En particular, los estudiantes que decidieron realizar la acción poseían en general unas competencias de todo tipo por encima de la media, y no sería representativo extrapolar los resultados de su evaluación al marco general de cada una de las aulas participantes.

Por otra parte, y como también ha sido indicado, esta acción había sido ya llevada a cabo en la instrucción presencial en cursos pasados, tanto en el nivel de la enseñanza secundaria como en el Máster de Formación de Profesorado de Secundaria de la Universidad de Santiago de

Compostela en la materia de Didáctica de la Física y Química, y esto que ya nos permitía conocer de forma suficientes aspectos concretos sobre las puntos en los que había que insistir e incluso modificar la metodología del proceso.

Si podemos establecer en términos generales, a partir de nuestra experiencia previa en esa acción en el medio presencial, que el proceso que el alumnado debe realizar individualmente le proporciona una ayuda muy importante para el aprendizaje significativo de un contenido de gran dificultad como es la interacción cuántica luz-materia. Consideramos, además, que esta actividad, por su propio diseño, es de gran interés para que el estudiante se acerque a los principios básicos del análisis químico. De otra parte, es evidente que esta acción nos permite evaluar la competencia del alumnado en los contenidos procedimentales y también su disposición actitudinal en relación con el trabajo experimental en ciencia.

Por todo ello, e insistiendo en que se trata de una acción previamente contrastada en el marco de la instrucción convencional previamente desarrollada, consideramos que no es necesario un estudio específico para la valoración didáctica, por parte de quien esto lea, de la propuesta que aquí se presenta. Además, es conocido (Bueno Garesse, 2004) que estas aproximaciones “caseras” sobre el trabajo experimental en la enseñanza secundaria permiten apreciar fenómenos del contexto del alumnado, induciendo procesos de argumentación e indagación y potenciando el razonamiento sobre la selección y métodos experimentales. Esto promueve, en definitiva, la creatividad y fomentan la observación y la práctica de procedimientos científicos en la dirección en las que esta acción se propone.

De todas formas, es evidente que siempre es positivo concretar la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje a la situación específica de la que se trata, y es intención de los autores de este trabajo hacer en el futuro cercano una valoración específica de la propuesta que aquí se presenta con nuevas acciones en los términos que aquí se presentan.

5. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

A través de esta práctica sencilla y de realización desde los hogares pretendemos mostrar una forma de acercar al alumnado de secundaria a las técnicas espectroscópicas de manera cuantitativa, y también ayudar a la comprensión de la naturaleza física de la interacción luz-materia. La construcción del espectrofotómetro “casero” favorece que se comprenda su funcionamiento, ayudándose así el acercamiento cualitativo a otras técnicas espectrométricas. La realización completa de la actividad acerca al alumnado a la verdadera investigación científica, poniendo de manifiesto la necesidad del trabajo en equipo, la conexión entre los conceptos matemáticos y la experimentación en el laboratorio, el cuidado con los protocolos y la rigurosidad en las medidas para conseguir un conjunto de datos que sean coherentes. Queremos destacar que hemos propuesto cuatro estrategias de cálculo diferente en el tratamiento de datos para que la actividad pueda ser realizada de forma completa en cualquier curso de enseñanza secundaria obligatoria y bachillerato.

Esta metodología, obviamente, no está restringida al ámbito de la enseñanza secundaria, siendo también puesta en práctica en el ámbito universitario durante esta pandemia, y sirva de ejemplo las acciones llevadas a cabo en la materia Termodinámica Aplicada del Grado en Ingeniería Química Industrial en la Facultad de Ciencias del Campus de Lugo de la Universidad de Santiago de Compostela (Al-Soufi, et al., 2020).

Por último, reiteramos que esta actividad no está orientada únicamente a casos de enseñanza online tradicional, pues, como ya indicamos en el primer apartado, puede formar parte de otra alternativa didáctica: el modelo “flipped classroom”. En esta variante, el alumnado accedería a esta actividad experimental diseñada por el profesorado siguiendo los elementos que son propios de la “clase invertida”, lo que implicaría el diseño de las correspondientes acciones - lo que queda fuera de la intención específica de este artículo- que son propias de este modelo didáctico. A partir de ahí, el alumno, interaccionando en clase online con los otros alumnos y con la moderación del profesor, comparte dudas, propone explicaciones e incorpora los fundamentos que están detrás de lo que ha hecho. Así, el tiempo de clase online que se libera se dedica a realizar tareas que permitan desarrollar procesos cognitivos más complejos.

REFERENCIAS

- Al-Soufi, W., Carrazana-Garcia, J. y Novo, M. (2020). When the kitchen turns into a physical chemistry lab. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 3090–3096. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00745>
- Bermúdez Rochas, D. D. (2012). Las prácticas de laboratorio en didáctica de las ciencias experimentales, un lugar idóneo para la convivencia de los diferentes estilos de aprendizaje. Artículo presentado en *Estilos de aprendizaje: Investigación y Experiencias [V Congreso mundial de estilos de aprendizaje]*. Universidad de Cantabria. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4664050>
- Bueno Garesse, E. (2004). Aprendiendo química en casa. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1(1), 45–51. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2004.v1.i1.04
- Caamaño, A. (2011). Enseñar Química mediante la contextualización, la indagación y la modelización. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 69, 21–34. <https://www.grao.com/es/producto/ensenar-quimica-mediante-la-contextualizacion-la-indagacion-y-la-modelizacion>
- Cid Manzano, R. y González-Fernández, D. (2020). Una aproximación a la espectrometría en educación secundaria. *Anales de Química*, 116(1), 25-29. <https://analesdequimica.es/index.php/AnalesQuimica/article/view/1309/1878>
- Delgado, J., Quintero-Ortega, I. A. y Vega-Gonzalez, A. (2014). From voltage to absorbance and chemical kinetics using a homemade colorimeter. *Journal of Chemical Education*, 91(12), 2158–2162. <https://doi.org/10.1021/ed400813c>
- Gordon, J. y Harman, S. (2002). A graduated cylinder colorimeter: An investigation of path length and the Beer-Lambert Law. *Journal of Chemical Education*, 79(5), 611–612. <https://doi.org/10.1021/ed079p611>
- Herdia Ávalos, S. (2006). Experimentos de química recreativa con sulfato de cobre pentahidratado. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 467–484. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/3851>
- Jiménez Aleixandre, M. P., Puig, B. (2013): El papel de la argumentación en la clase de ciencias. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 75, 85–90. <https://www.grao.com/es/producto/el-papel-de-la-argumentacion-en-la-clase-de-ciencias-al07523500>
- Knagge, K. y Raftery, D. (2002). Construction and evaluation of a LEGO spectrophotometer for student use. *The Chemical Educator*, 7, 371–375. <https://doi.org/10.1007/s00897020615a>
- Kuntzleman, T. S. y Jacobson, E. C. (2016). Teaching Beer's Law and absorption spectrophotometry with a smart phone: A substantially simplified protocol. *Journal of Chemical Education*, 93(7), 1249–1252. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00844>
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. (3 de enero de 2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. *Boletín Oficial del Estado*, (3), 169–546. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/12/26/1105>

- Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. (14 de marzo de 2020). Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo, por el que se declara el estado de alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19. *Boletín Oficial del Estado*, (67), 25390–25400. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2020/03/14/463>
- Molés Bort, J. y Monferrer Pons, L. (2013). Flipped classroom al laboratori. *Ciències*, 27, 9–14. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.67>
- Presidência do Conselho de Ministros. (13 de marzo de 2020). Decreto-Lei n.º 10-A/2020. *Diário da República: I série*, n.º 52, 22-(2)–22-(13). <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/10-A/2020/03/13/p/dre>
- Quagliano, J. M. y Marks, C. A. (2013). Demystifying spectroscopy with secondary students: Designing and using a custom-built spectrometer. *Journal of Chemical Education*, 90(10), 1409–1410. <https://doi.org/10.1021/ed3007499>
- Reusch, W. (5 de mayo de 2013). UV-Visible Spectroscopy. Recuperado el 24 de diciembre de 2020, de <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/VirtTxtJml/Spectrpy/UV-Vis/spectrum.htm>
- Shakhashiri, B. Z. (1983). *Chemical demonstration: A handbook for teachers of Chemistry, Volume 1*. The University of Wisconsin Press.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., Crouch, S. R. (2001). *Química analítica, 7ª Edición*. McGraw-Hill.
- Taha, S., Rafat, G., Aboshosha, F. y Mansour, F. R. (2017). A simple homemade spectrophotometer. *Journal of Analytical Chemistry*, 72(2), 239–242. <https://doi.org/10.1134/S1061934817020113>
- Vistech.projects. (29 de enero de 2014). ColorMeter Free – color picker (1.0.3) [Android]. Recuperado el 24 de diciembre de 2020, de Apps on Google Play: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vistechprojects.colormeterfree>