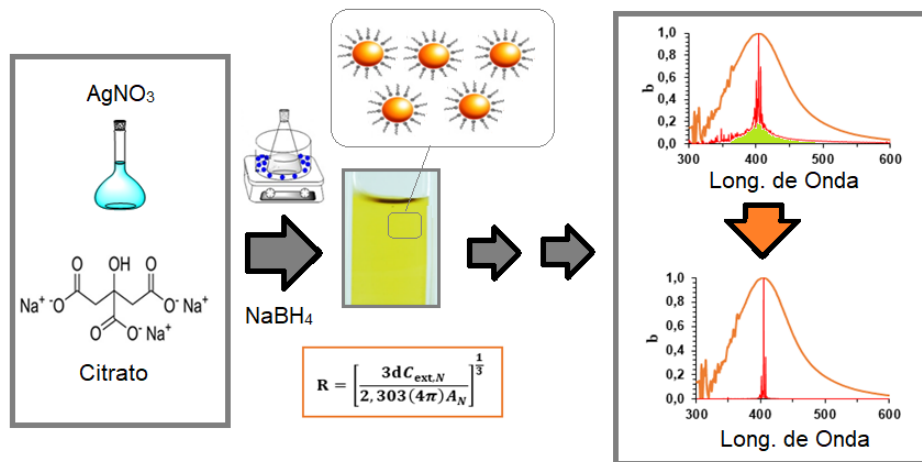


Yuliana Sanchez¹, Angélica García Quintero, Manuel Palencia¹

¹ Grupo de Investigaciones en Ciencias con Aplicaciones Tecnológicas (GI-CAT), Departamento de Química, Universidad del Valle, Cali - Colombia

Corresponding author: manuel.palencia@correounivalle.edu.co

Graphical abstract



Determinación y distribución de tamaño de partículas inorgánicas mediante la deconvolución espectral de la banda de resonancia del plasmón superficial

Resumen

La determinación del tamaño de partículas es una de las principales propiedades en la caracterización de nanopartículas metálicas (NPMs). Los métodos habituales son de alto costo, como TEM que utiliza diferentes descriptores para determinar el tamaño, u ofrecen una medida indirecta basada en alguna propiedad de las NPMs, como lo es DLS que requiere del coeficiente de difusión. Por otro lado, la resonancia del plasmón superficial (RPS) es una propiedad óptica de las NPMs, de gran importancia en fotónica, que depende del tamaño, forma, distancia interpartícula y la naturaleza tanto del metal como del medio. Recientemente se ha desarrollado una herramienta de transformación espectral denominada Espectroscopia Derivativa Realzada Funcionalmente (FEDS) que puede ser empleada para la deconvolución de los espectros de UV-vis, en específico, los espectros de RPS de NPMs. El objetivo de este trabajo fue determinar el tamaño y la distribución de tamaño mediante la deconvolución del espectro de RPS con FEDS y la ley de Beer

Palabras claves

FEDS
Nanopartículas de plata
Ley de Beer
Teoría de Mie

asumiendo una geometría esférica para dispersiones de NPMs, particularmente AgNPs. Para esto, se sintetizaron AgNPs vía reducción química por duplicado utilizando como agente estabilizante citrato de sodio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) en relaciones (1:1,1:3,1:6 y 1:10), $[\text{Ag}^+:\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}]$, se caracterizaron por UV-vis y DLS. Los resultados demostraron que es posible llevar a cabo un análisis de los espectros UV-vis de las AgNPs por FEDS, además, con este algoritmo es posible determinar la distribución de tamaño de éstas mediante la ley de Beer, obteniéndose valores de radio menores que los arrojados por DLS.

Determination and distribution of size of inorganic particles by spectral deconvolution of surface plasmon resonance

Abstract

The determination of the size of the particles is one of the main properties in the characterization of metallic nanoparticles (NPMs). The usual methods are, for example TEM, that use different descriptors to determine the size, that offer an indirect measure in some property of the NPMs, as in the DLS that requires the diffusion coefficient. On the other hand, the resonance of the surface plasma (RPS) is an optical property of the NPMs, of great importance in photonics, which depends on the size, shape, interparticle distance and nature as much as the metal as the medium. A conversion tool has been developed. Functionally Enhanced Derivative Spectroscopy (FEDS) that can be used for the deconvolution of UV-vis spectra, specifically, the RPS spectra of NPMs. The objective of this work was to determine the size and size distribution by means of the deconvolution of the RPS spectrum with FEDS and the law of beer that assumes a spherical geometry for dispersions of NPMs, particularly AgNPs. For this, AgNPs can be synthesized via chemical reduction in duplicate using as a stabilizing agent sodium citrate ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) in ratios (1:1, 1:3, 1:6 and 1:10), $[\text{Ag}^+:\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}]$. The results showed that it is possible to carry out an analysis of the UV-vis spectra of the AgNPs by FEDS, in addition, with this algorithm it is possible to determine and determine the distribution of the size of the same by means of the law of beer, obtaining values of radio lower than those thrown by DLS.

Keywords

FEDS
Silver Nanoparticles
Beer Law
Mie theory

Received: 08-03-2018

Accepted: 02-07-2018

Publishing date: 15 - November - 2018

Revision Code: 20180908- AAAA [Pag. 45- 54]

Corresponding author:

manuel.palencia@correounivalle.edu.co

Determinación y distribución de tamaño de partículas inorgánicas mediante la deconvolución espectral de la banda de resonancia del plasmón superficial

Yuliana Sanchez¹, Angélica García Quintero, Manuel Palencia¹

¹ Grupo de Investigaciones en Ciencias con Aplicaciones Tecnológicas (GI-CAT), Departamento de Química, Universidad del Valle, Cali - Colombia

Corresponding author: manuel.palencia@correounivalle.edu.co

Resumen

La determinación del tamaño de partículas es una de las principales propiedades en la caracterización de nanopartículas metálicas (NPMs). Los métodos habituales son de alto costo, como TEM que utiliza diferentes descriptores para determinar el tamaño, u ofrecen una medida indirecta basada en alguna propiedad de las NPMs, como lo es DLS que requiere del coeficiente de difusión. Por otro lado, la resonancia del plasmón superficial (RPS) es una propiedad óptica de las NPMs, de gran importancia en fotónica, que depende del tamaño, forma, distancia interpartícula y la naturaleza tanto del metal como del medio. Recientemente se ha desarrollado una herramienta de transformación espectral denominada Espectroscopia Derivativa Realzada Funcionalmente (FEDS) que puede ser empleada para la deconvolución de los espectros de UV-vis, en específico, los espectros de RPS de NPMs. El objetivo de este trabajo fue determinar el tamaño y la distribución de tamaño mediante la deconvolución del espectro de RPS con FEDS y la ley de Beer asumiendo una geometría esférica para dispersiones de NPMs, particularmente AgNPs. Para esto, se sintetizaron AgNPs vía reducción química por duplicado utilizando como agente estabilizante citrato de sodio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) en relaciones (1:1,1:3,1:6 y 1:10), $[\text{Ag}^+:\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}]$, se caracterizaron por UV-vis y DLS. Los resultados demostraron que es posible llevar a cabo un análisis de los espectros UV-vis de las AgNPs por FEDS, además, con este algoritmo es posible determinar la distribución de tamaño de éstas mediante la ley de Beer, obteniéndose valores de radio menores que los arrojados por DLS.

Palabras Claves

FEDS
Nanopartículas de plata
Ley de Beer
Teoría de Mie

1. Introducción

La materia a escala nanométrica presenta propiedades ópticas muy diferentes a la materia en una escala mayor, siendo de gran interés su estudio para la aplicación y el desarrollo de nuevos materiales debido a la enorme cantidad de información que puede obtenerse sobre el estado físico de las partículas mediante el análisis de las propiedades espectrales de las nanopartículas (NPs) en solución. Una de estas propiedades más

características de las NPs inorgánicas de naturaleza metálica es la resonancia de plasmón superficial (RPS), la cual permite la caracterización de las NPs mediante el fenómeno de atenuación en el rango UV-vis lo que permite utilizar el espectrofotómetro como medio para confirmar su síntesis [1]. El fenómeno de RPS depende de la forma, el tamaño, la naturaleza tanto del medio como de la partícula, el índice de refracción del metal, por lo que es único para cada una de ellas. Este fenómeno es originado por la oscilación colectiva de los

electrones en la banda de conducción del metal inducida por el campo electromagnético.

Por otro lado, en el campo de la nanotecnología es muy importante determinar el tamaño de partícula medio y la distribución de tamaños de una dispersión de NPs ya que este se encuentra asociado con su comportamiento en el medio continuo donde se encuentra, sus propiedades nanométricas y sus características como material. Estudios realizados demuestran que un tamaño específico esta fuertemente relacionado con las propiedades físicas, químicas y mecánicas de estas. Es el caso de su aplicación en el área farmacológica, donde NPs con un tamaño menor a 35 nm pueden cruzar barreras biológicas e interactuar con biomoléculas como las proteínas y lípidos debido a su enorme relación masa superficie [2].

Se han desarrollado diferentes técnicas para el estudio de las técnicas para determinar su tamaño y distribución de tamaños. Una de las técnicas para determinar el tamaño es la Microscopía Electrónica de Barrido (TEM) que se basa en impactar un haz de electrones a la muestra que se encuentra depositada en una estructura pequeña de cobre para posteriormente generar una imagen de la muestra [3]. Esta técnica utiliza diferentes descriptores de tamaño como el de diámetro de círculo equivalente que es una aproximación a la forma de la NP. En general, la TEM es un método muy costoso desde el punto de vista de la instrumentación, requiere de programas adicionales para calcular el tamaño, la muestra se perturba por acción de las condiciones de medida por lo que efectos indeseados como aglomeraciones pueden ponerse de manifiesto como resultado de las condiciones experimentales y no corresponde a una estado inherente del nanosistema, y la cantidad muestreada es una fracción muy pequeña de una cantidad relativamente grande del material ($\sim 1000 \mu\text{m}^2$ en la ventana de análisis) por lo que puede no ser representativa de la muestra.

Otra de las técnicas que comúnmente se utiliza es la Dispersión de la Luz Dinámica (DLS), que se basa en el fenómeno de la dispersión de la luz y tiene en cuenta variables como el coeficiente de difusión (D) de la partícula en el medio mediante la ecuación de Stoke-Einstein (ecuación 1) [4]. Esta ecuación permite obtener el valor de un radio hidrodinámico (R_H), que es un descriptor de tamaño basado en el movimiento de la partícula en un medio continuo. En términos generales,

dependiendo del movimiento de la partícula se obtendrá un patrón de dispersión que puede relacionarse con el tamaño, mediante la asunción de partículas esféricas.

La ecuación de trabajo para la técnica de DLS es:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta R_H} \quad (1)$$

donde k , T y η son la constante de Boltzmann, la temperatura, la viscosidad y el radio hidrodinámico, respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, el comportamiento de estas partículas es muy diferente y es descrito por la teoría de Mie. Esta teoría predice correctamente que fracción de luz es absorbida y que fracción de luz es dispersada [5]. La suma de estas fracciones se denomina atenuación y es evidenciada en términos del coeficiente de extinción (C_{ext}) que depende de la longitud de onda. Además, la teoría de Mie predice teóricamente el fenómeno de RPS, en términos de intensidad, pero no en ensanchamiento, el tratamiento matemático es demasiado complejo y se requiere conocer el radio de la partícula para determinar los valores de C_{ext} [6, 7].

1.1 Conexión matemática entre la absorbancia y el tamaño de partículas dispersas

A partir de la ley de Beer-Lambert [8], es posible hallar una relación entre el tamaño de partículas en dispersión y la cantidad de radiación dispersada asumiendo la aproximación esférica como sigue:

$$A_1 = \log\left(\frac{I_0}{I_d}\right) = \frac{DC_{ext,1}d}{2,303} \quad (2)$$

$$D = \frac{N}{V_{dis}} = \frac{N}{V_m + NV_p} \quad (3)$$

$$C_{ext,N} = \frac{2,303A_N V_p}{d} \quad (4)$$

$$V_p = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad (5)$$

$$R = \left[\frac{3dC_{ext,N}}{2,303(4\pi)A_N} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

donde $C_{ext,1}$, es el coeficiente de extinción para una sola partícula, D es el número de partículas por volumen de dispersión, A_1 es la cantidad de luz atenuada por una sola partícula y V_p es el volumen de partícula.

1.2 Polidispersidad y solapamiento de la banda de Resonancia del Plasmón Superficial (RPS)

El ensanchamiento de la banda de RPS, o del espectro de RPS como también es denominado por algunos autores, está asociado con la polidispersidad de tamaños que se encuentren en la dispersión. Para una dispersión de NPs completamente monodispersa se espera la obtención de una banda de RPS estrecha, sin embargo, cuando la dispersión es polidispersa, se esperan diferentes bandas de RPS por cada grupo de partículas. En la práctica, las múltiples bandas de RPS asociadas a cada distribución de NPs aparecerán superpuestas y se visualizarán como una banda ancha que puede contener una o varios máximos de atenuación.

Para abordar el problema del solapamiento, en la actualidad existen diferentes técnicas matemáticas que deconvolucionan espectros UV-vis, pero la mayoría son engorrosos, matemáticamente complejos o requieren de programas especializados. La derivatización espectral se basa en la primera y segunda derivada de todo el espectro para determinar los máximos, mínimos y puntos críticos de la gráfica [9]; sin embargo, esta técnica genera espectros más complejos que el original. La deconvolución por transformada de Fourier utiliza funciones de base como Gaussianas, Lorentzianas y Voight con el fin de deconvolucionar el espectro original mediante una transformada de Fourier inversa y obtener el espectro real, igualmente presenta una gran complejidad tanto en el cálculo matemáticos como en la implementación de estrategias para buscar las mejores funciones de base para aplicar el método [10].

Por lo anterior, diferentes investigadores se han centrado en desarrollar algoritmos matemáticos más sencillos que permitan generar mayor información que los métodos convencionales, es el caso de la Espectroscopia Derivada Realizada Funcionalmente (FEDS) también denominada transformada FEDS, el cuál es un método que recientemente se ha empleado en la deconvolución de espectros de infrarrojo para el solapamiento de bandas con el fin de mejorar el análisis cualitativo

de varios sistemas, como por ejemplo, soluciones acuosas de ácido acético y algunos compuestos orgánicos [11]. FEDS es una herramienta de convolución espectral que se desarrolló a partir del análisis del efecto de funciones matemáticas sobre el espectro de infrarrojo en una función de trabajo denominada Función P (ecuación 7).

$$P = \frac{(1+a_N)}{\sqrt{|p|}} \quad (7)$$

$$p = (a_{N+1})^{-1} - (a_N)^{-1} \quad (8)$$

donde a_N es la absorbancia normalizada y P el valor de la Función P en el punto [10]. Debido a que FEDS posee la capacidad de comprimir las señales del espectro e identificar en los datos de función de línea la mayor relación señal ruido, permite la resolución de señales solapadas que se pongan de manifiesto en la función de línea de los espectros, siendo en principio, una alternativa útil para espectros de diferente naturaleza.

El objetivo de este trabajo fue aplicar FEDS a espectros de RPS con el fin de, mediante la ley de Beer-Lambert, evaluar la capacidad de FEDS para estimar el tamaño y la distribución de tamaño de nanopartículas metálicas.

2. Sección experimental

2.1 Síntesis y caracterización de AgNPs

Para las síntesis de las AgNPs se utilizó nitrato de plata (AgNO_3 99%, Aldrich) como fuente de iones plata, citrato de sodio ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ 99 %, Aldrich) como agente estabilizante y boro-hidruro de sodio (NaBH_4 , 98 %, Aldrich) como agente reductor.

Se tomaron 3,5 mL de AgNO_3 (2 mM) y se diluyeron hasta obtener una concentración de 3mM, a los cuales se le adicionaron 0,71 mL de citrato de sodio 10 mM y se agitó por 10 min. Posteriormente, se adicionaron 0,71 mL de NaBH_4 (10 mM) y se dejó reaccionar el sistema por 1 hora con agitación suave en un baño de hielo [12]. Para estos experimentos se utilizaron cuatro relaciones molares de $\text{Ag}^+:\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^-$ (1:1, 1:3, 1:6, 1:10).

Las dispersiones se caracterizaron por análisis de resonancia del plasmón superficial en espectros de UV-Vis, usando un espectrofotómetro UV-1700 Pharmaspec Shimadzu y la distribución de tamaños se determinó por DLS.

2.2 Deconvolución del espectro RPS

2.2.1 *Aplicación del algoritmo FEDS*: Primero se realizó un pretratamiento de los datos mediante un suavizado de media móvil cada tres datos de λ y A utilizando la ecuación 9 en hojas de cálculo (Microsoft Excel). Después, se normalizaron los valores de A utilizando el valor mínimo y máximo mediante la ecuación 10.

$$A_i = \frac{1}{3} \sum_i^{i+j+k} A_i \quad (9)$$

$$b = \frac{A - A_{\min}}{A_{\max} - A_{\min}} \quad (10)$$

donde b es la variable A autoescalada.

Posteriormente, se aplicó el método de transformación funcional FEDS a los valores de autoescalado mediante la función P y esta se normalizó dividiendo sobre el valor máximo.

$$P_N = \frac{P}{P_{\max}} \quad (11)$$

2.2.2 *Análisis del ruido de espectro final y de la relación señal/ruido*: Para esto, se calculó el ruido de espectro final denominado ruido geométrico y la relación señal/ruido definida como R en la respuesta FEDS para cada uno de los valores de autoescalado en la distribución de todo el espectro.

$$r_N = \frac{|b_N - b_{N-1}|}{2} \quad (12)$$

$$R = \frac{b_N}{r_N} \quad (13)$$

A partir del análisis anterior, se estableció un criterio de ponderación de señales FEDS P_p (ecuación 14) basado en el cálculo de R .

$$P_p = P_N \times R = P_N \times \left(\frac{b}{r}\right) \quad (14)$$

Después de obtener los valores del criterio de ponderación y normalizados se realizó una simulación con una función semejante al espectro original, como lo es la función gaussiana (ecuación 15), que por simplicidad fue más fácil de aplicar, se eligieron los valores de λ en las que se presentó una contribución de P_p importante y estos valores fueron denominados la media de la función gaussiana. Posteriormente, se calculó $F(\lambda)$ y se

realizó la normalización teniendo en cuenta la contribución de P_p normalizado con respecto al máximo en cada caso. Se graficó cada contribución y finalmente se sumaron en una función gaussiana total.

$$F(\lambda) = ae^{-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{2c^2}} \quad (15)$$

2.3 Obtención del radio para cada dispersión de AgNPs

A partir de los coeficientes de extinción del handbook [13], se realizó una interpolación y se encontraron los valores dependientes de λ necesarios para aplicar la ecuación 6. Utilizando la ley de Beer, se calculó el radio con la ecuación 6 asumiendo forma esférica y teniendo en cuenta los valores de A_N donde la contribución de P_p fue importante.

3. Resultados y discusión

3.1 Síntesis y caracterización de AgNPs

En la figura 1 se muestra el espectro de UV-vis de las AgNPs a una relación 1:1, para las réplicas A y B, donde se evidenció la correcta síntesis de NPs por la visualización de la RPS evidenciada en un máximo en 403 nm, la cual es una propiedad muy característica de estas dispersiones. La banda de RPS se puede explicar por la oscilación de los electrones en la capa superficial como resultado de la radiación incidente, además estos electrones vibran con una frecuencia de plasmón específica y estando su máximo asociado a la naturaleza de las NPs [14]. También se muestra una amplia distribución de tamaños entre 21 y 106 nm para la réplica A y B para la misma relación. La distribución bimodal se explica por la formación de dos especies de Ag^+ . La adición de este anión promueve la formación de Ag^+ libre y la formación de citrato de Ag resultante de la interacción de los grupos $-COO^-$ con el ion Ag^+ . Así cada especie promoverá la formación de AgNPs con diferentes tamaños, asociándose Ag^+ con distribución de mayor tamaño [15]. En la tabla 1 se muestran los resultados para las demás relaciones.

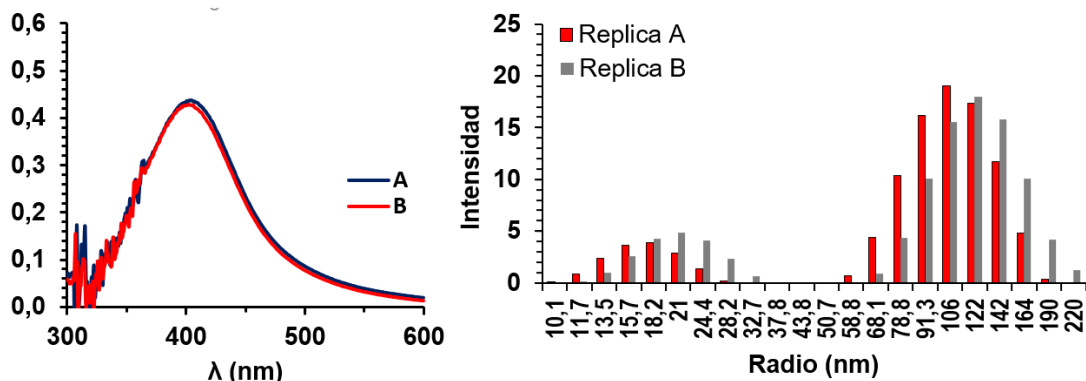


Figura 1. Banda de RPS (izquierda) y distribución de tamaño de AgNPs [1:1] por DLS (derecha).

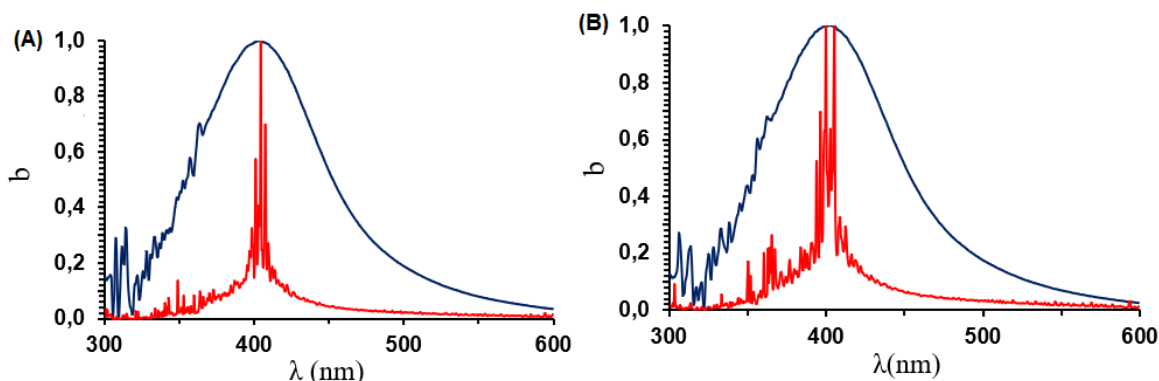


Figura 2. Aplicación de FEDS normalizado al espectro de SPR de AgNPs [1:1] izquierda: réplica A, derecha: réplica B. En rojo generación de FEDS, en azul espectro autoescalado.

Tabla 1. Valores obtenidos de los espectros UV-vis y DLS.

NPs [Ag:Cs]	λ (nm)	A_{max}	Tamaño (nm)	
			Distribución 1	Distribución 2
1:1 A	403	0,432	21	106
1:1 B	402	0,4285	21	106
1:3 A	402,8	0,511	16	120
1:3 B	403	0,494	15,7	120
1:6 A	403,3	0,418	15	115
1:6 B	405	0,423	18	91
1:10 A	404,3	0,399	18	115
1:10 B	403,5	0,479	220	-

3.2 Deconvolución del espectro UV-vis de AgNPs

En la figura 2 se muestra la gráfica de b y los resultados de FEDS normalizado para la réplica A y B de AgNPs [1:1]. Se observa como FEDS comprime la señal del espectro en diferentes contribuciones evidenciando un solapamiento que en el espectro original no es identificable. Se identifica la simplicidad y facilidad del cálculo, además, se logra obtener un espectro menos

complejo que el original y se puede también correlacionar la información de las absorbancias con la intensidad FEDS y con la mayor relación R como se muestra más adelante.

Las variaciones en la forma de los espectros al ser tomados están asociada a un tipo de ruido originado por el proceso instrumental y clasificado dependiendo de su fuente [16]. Comúnmente, el ruido es calculado a partir de una definición probabilística y tomando el valor de desviación estándar como una medida cuantitativa de este,

para ello, se requiere varias veces la medida del espectro y la aplicación de diversas operaciones [17].

El ruido aplicado en este tratamiento de datos está asociado a la forma de la señal y es calculado por la variación causada entre puntos adyacentes en el transcurso del espectro. Razón por la cual el ruido es mayor en espacios con mayor pendiente y menor en zonas con menor pendiente, con valores de máxima y mínima absorbancia.

En las figuras 3 y 4 se muestra como es el comportamiento de las gráficas al aplicar el criterio de ponderación. En principio, este criterio se realiza debido a la respuesta tan sensible que tienen FEDS al espectro. Como se puede observar este permite discriminar las señales provenientes del ruido de las señales provenientes de la deconvolución que realiza FEDS al espectro, en principio ya que FEDS es muy sensible a las respuestas del ruido ocasionado por diferentes variables.

Finalmente, en las figuras 5 se ejemplifica la contribución de FEDS adaptada a una función gaussiana para cada una y como la suma de ellas forma al final, una función similar a la del espectro original. Como se puede observar la función gaussiana es una excelente función de línea para simular los espectros originales de RPS. Además, que las sumas de cada contribución que arroja FEDS en forma de gaussiana es muy similar a la del original.

En la figura 6 se muestra la interpolación realizada para obtener los coeficientes de extinción requeridos para cada λ . En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos aplicando FEDS como un deconvolucionador del espectro RPS y la ley de Beer (ecuación 6) para determinar los tamaños de cada una de las dispersiones, como se puede observar los valores obtenidos son menores que los valores arrojados por DLS. Es importante hacer esta aseveración ya los valores de radio que arroja el DLS son originados de una serie de aproximaciones y se tiene en cuenta el tamaño de las moléculas que se utilizan como agentes estabilizantes, además de la doble capa que es originada en la superficie de la nanopartícula por los iones que se encuentran en solución afectando no solo la medida del tamaño sino también la velocidad de difusión de la partícula. Además, los valores obtenidos por la Ley de Beer muestran un

patrón semejante de radio, por lo que es posible decir que el método de síntesis utilizado genera nanopartículas monodispersas a diferencia de métodos de síntesis como la ablación laser [18].

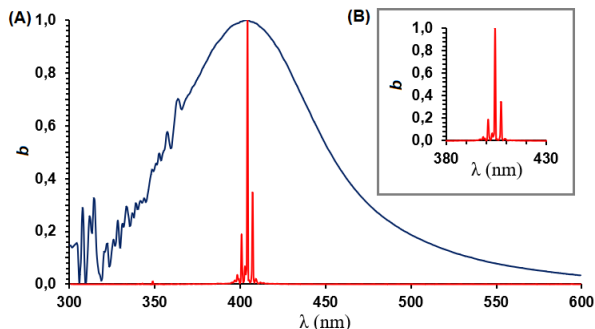


Figura 3. Aplicación del criterio de ponderación P_p (rojo) replica A.

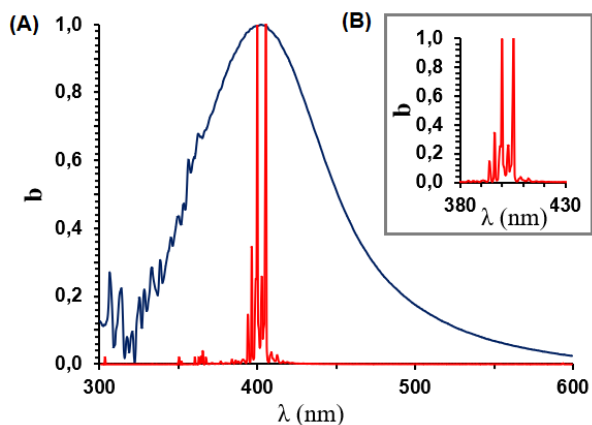


Figura 4. Aplicación del criterio de ponderación P_p (rojo) replica B.

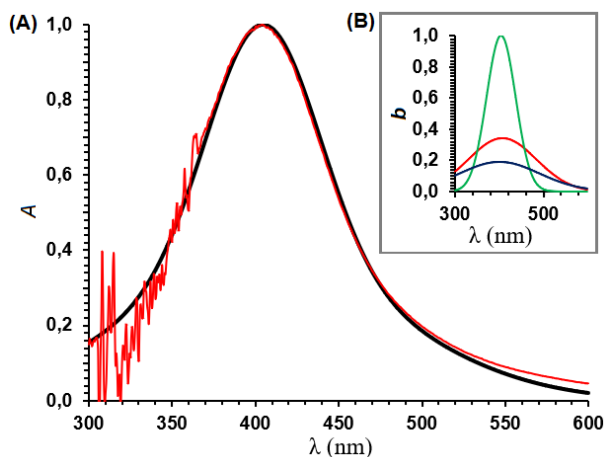


Figura 5. Simulación del espectro original mediante funciones gaussianas, línea negra (sumas gaussianas), línea roja (espectro original) AgNPs 1:1 replica A.

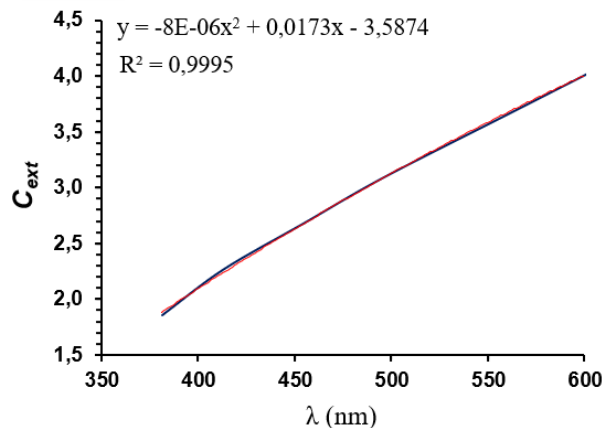


Figura 6. Correlación para determinar C_{ext} a diferentes longitudes de onda.

4. Conclusiones

Se concluyó que FEDS es una alternativa para deconvolucionar espectros UV-vis, además, que se puede correlacionar sus valores con la mayor relación señal-ruido y con los valores del espectro original. Por otra parte, a partir de los resultados obtenidos, se estimó el tamaño y la distribución de tamaños de dispersiones de AgNPs variando la cantidad de agente estabilizante, mediante la ley de Beer-Lambert y un algoritmo muy práctico como FEDS obteniendo valores menores que los obtenidos por el método de DLS.

Agradecimientos

Autores agradecen a Mindtech s.a.s. por los recursos suministrados. Program for Scientific Knowledge Diffusion of Mindtech s.a.s. (PSKD 2016-2020).

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses de ningún tipo en relación a la publicación.

Referencias

- [1] Cruz, D. A., Rodríguez, M. C. & López, J. M. (2012). Nanopartículas metálicas y plasmones de superficie: una relación profunda. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 2 - 3, 67 - 78.
- [2] Zhang, X.; Niu, H.; Yan, J.; Cai, Y. (2011). Immobilizing silver nanoparticles onto the surface of magnetic silica composite to prepare magnetic disinfectant with enhanced stability and antibacterial activity. *Colloids Surf*, 375, 186-192.

Tabla 2. Determinación de radios mediante FEDS y Ley de Beer-Lambert.

Muestra	Repl.	señal	λ_1 (nm)	A	C_{ext}	R (nm)	
AgNP(1:1)	A	s1	401,0	0,434	2,103	79,5	
		s2	404,5	0,437	2,142	79,8	
		s3	407,5	0,435	2,175	80,3	
	B	s1	394,0	0,419	2,025	79,5	
		s2	396,5	0,422	2,053	79,6	
		s3	400,0	0,427	2,092	79,8	
		s4	403,0	0,428	2,126	80,1	
		s5	405,5	0,427	2,153	80,6	
	AgNP(1:3)	A	s1	395,0	0,514	2,037	74,3
			s2	401,5	0,525	2,109	74,7
s3			403,0	0,526	2,126	74,8	
s4			407,0	0,525	2,170	75,4	
B		s1	398,5	0,490	2,076	76,0	
		s2	403,5	0,494	2,131	76,5	
		s3	406,0	0,494	2,159	76,8	
		s4	408,5	0,489	2,186	77,4	
AgNP(1:6)		A	s1	400,0	0,408	2,092	81,0
			s2	402,0	0,414	2,114	80,9
	s3		403,5	0,412	2,131	81,3	
	s4		405,5	0,413	2,153	81,5	
	s5		406,5	0,412	2,164	81,7	
	s6		410,5	0,409	2,208	82,4	
	s7		414,0	0,403	2,246	83,3	
	B	s1	388,5	0,388	1,963	80,7	
		s2	398,5	0,418	2,076	80,2	
		s3	401,5	0,420	2,109	80,4	
AgNP(1:10)	A	s1	402,0	0,397	2,114	82,1	
		s2	403,0	0,396	2,126	82,3	
		s3	405,5	0,398	2,153	82,5	
		s4	407,0	0,398	2,170	82,7	
		s5	409,0	0,396	2,192	83,1	
	B	s1	403,0	0,478	2,126	77,2	
		s2	404,5	0,478	2,142	77,4	
		s3	408,0	0,477	2,181	78,0	
		s4	409,0	0,477	2,192	78,1	

- [3] Priyanka, O; Choudhary, (2018). Uses of Transmission Electron Microscope in Microscopy and its Advantages and Disadvantages. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 5, 743-747.
- [4] Zheng, T; Bott, S; Huo, Q. (2016). Techniques for Accurate Sizing of Gold Nanoparticles Using Dynamic Light Scattering with Particular Application to Chemical and Biological Sensing Based on Aggregate Formation. *Appl. Mater. Interfaces*, 8, 21585-21594.
- [5] Xia, Y. & Halas, N. (2005). Shape-controlled synthesis and surface plasmonic properties of metallic nanostructures. *MRS Bull.*: 30, 338-344.
- [6] Campbell, D.J. & Xia, Y. (2007). Plasmons: why should we care?. *Journal of Chem. Ed.*: 84, 91-96.
- [7] Dispersion of particles in liquids. (2005). *Studies in Interface Science*, Cap 10. 20, 517-558.
- [8] Mulvaney, P; Surface Plasmon Spectroscopy of Nanosized Metal Particles (1996), *Langmuir*, 12, 788-800.
- [9] Adegoke, O. (2012). Chemical derivatization methodologies for UV-vis spectrophotometric determination of pharmaceuticals *Int.J.Sci.Rev.* 14.
- [10] M. Kappers, J. Miller, D. Koningsberger, (1996). Deconvolution and curve fitting of IR spectra for CO adsorbed on Pt/K-LTL: Potassium promoter effect and adsorption site distribution, *J. Phys. Chem.* 100 3227 – 3236.
- [11] Palencia, M, (2018). Functional transformation of Fourier-transform-infrared spectrum for the improving of spectral specificity by simple algorithm based on wavelet-like functions. *JAR*.
- [12] Palencia, M.; Berrio, E.; Melendrez, M. (2016). Nanostructured polymer composites with potential applications into the storage of blood and hemoderivates. *JSTA*, 1, 4-14.
- [13] Lin S (2008). Size effect of Ag nanoparticles on surface plasmon resonance. *Handbook*. 202, 539-5342
- [14] Lee, K; Lin S; Lin C; Tsai C; Lu, Y. (2008). Size effect of Ag nanoparticles on surface plasmon resonance. *Surf. Coating Technol.* 202, 539-5342.
- [15] Palencia M; Rivas B; Valle H. (2014). Size separation of silver nanoparticles by dead-end ultrafiltration: Description of fouling mechanism by pore blocking model. *J. Membr. Sci.* 455, 7-14.
- [16] J. Blitz, D. Klarup, Signal-to-noise ratio, signal processing, and spectral information in the instrumental analysis laboratory, *J. Chem. Edu.* 79 (2002) 1358 – 1360.
- [17] Antonov, L; Stoyanov, S (1996), Step by step filter-an approach for noise reduction in derivative UV-visible spectra. *Analytica Chimica Acta*. 324. 77-83.
- [18] Myungjoon, K; Saho, O; Taesung, K; Hidenori, H; Takafumi, S. (2017). Synthesis of Nanoparticles by Laser Ablation: A Review. *JSTAGE*. 34,80-90.