



**Tecnológico
de Monterrey**

**Síntesis y caracterizaciones de nanopartículas y
nanorods de Au para la observación del fenómeno
del plasmón de resonancia superficial**

Desarrollo de nanosistemas fotónicos

Grupo 601

Equipo 1:

Elí Padua Hernandez | A01735441

Ari Emilio Núñez Menéndez | A01752718

Georgina Ixel Márquez Muñoz | A01571701

Arely Daniela Pérez | A01638009

Fecha de entrega:

21 de octubre de 2025

Objetivo

El objetivo de las prácticas llevadas a cabo en el laboratorio es lograr sintetizar nanopartículas esféricas y nanorods de oro (AuNPs y AuNRs) para, a través de caracterizaciones por UV-Visible y dispersión dinámica de la luz (DLS), poder determinar el tamaño de partícula de las síntesis realizadas y poder identificar el pico correspondiente al fenómeno óptico del plasmón de resonancia superficial localizado (LSPR).

Introducción

Las nanopartículas metálicas de oro (AuNPs) han captado una atención significativa en los últimos años por sus propiedades ópticas, eléctricas y catalíticas únicas, que difieren sustancialmente de las del oro en estado bulk. En particular, la resonancia de plasmones superficiales localizada (LSPR) es un fenómeno óptico que surge de la oscilación colectiva de los electrones libres al interactuar con la luz, lo cual confiere a las AuNPs una gran utilidad en aplicaciones de sensado, biomedicina y fotónica [1]–[3].

La posición, el ancho y la intensidad del pico plasmónico dependen fuertemente de parámetros como el tamaño, la forma, el ambiente dieléctrico y el grado de agregación de las partículas. Por ello, el control sintético de estas características es fundamental para obtener nanopartículas con propiedades específicas y respuestas ópticas ajustables.

Existen múltiples métodos para sintetizar AuNPs, desde rutas químicas clásicas (por ejemplo, reducción con citrato o borohidruro), hasta métodos más “verdes” que emplean agentes reductores biológicos como almidones, extractos vegetales o biomoléculas. Estos últimos no solo pueden funcionar como agentes reductores, sino también como estabilizantes de la nanopartícula, favoreciendo una dispersión coloidal más estable [4], [5].

Además de las AuNPs esféricas, otro enfoque de gran interés es la síntesis de nanorods (AuNRs), que presentan una anisotropía morfológica que genera dos modos de resonancia plasmónica: uno transversal y otro longitudinal. La relación de aspecto de los nanorods determina la posición espectral del modo longitudinal y permite su ajuste hacia longitudes de onda más largas [6]. La estrategia del método de semillas en presencia de surfactantes como CTAB es ampliamente

utilizada para controlar ese crecimiento direccional y obtener estructuras anisotrópicas con propiedades ópticas específicas.

Para analizar estas propiedades, se emplean técnicas como la espectroscopía UV–Vis, que permite identificar el comportamiento óptico y la posición del LSPR, y la Dispersión Dinámica de Luz (DLS), que proporciona información sobre el tamaño hidrodinámico y la distribución de tamaños en suspensión [7]–[9]. Estas herramientas, en conjunto, permiten evaluar la sensibilidad del LSPR frente a cambios en el entorno dieléctrico, parámetro clave para aplicaciones en sensores químicos, biomoleculares y nanodispositivos fotónicos [10], [11].

En este trabajo se presentan la síntesis, caracterización por UV–Vis y DLS, y la correlación entre los parámetros de síntesis y las propiedades ópticas y morfológicas de nanopartículas esféricas y nanorods de oro. El objetivo es demostrar cómo las variaciones en el proceso sintético impactan el tamaño hidrodinámico, la dispersión coloidal y el comportamiento plasmónico del sistema.

Metodología

Reactivos:

- Tetracloroaurato de sodio, soluciones de NaAuCl_4 , 25 mM y de NaAuCl_4 , 10 mM
- Almidón, solución al 1% (m/v)
- Hidróxido de sodio, solución NaOH , 1 M
- NaBH_4 , 26.43 mM
- AgNO_3 10 mM
- Ácido Ascórbico 0.20 mM
- CTAB 100 mM
- HCl 1 M

Todos los reactivos son de la marca Sigma-Aldrich

Síntesis de nanopartículas de Au

Primero se realizó una solución de 10 mL de NaAuCl_4 25 mM usando 90 mg del reactivo disueltos en 10 mL de agua para uso grupal. Después, en un vial de 10 mL, se agregaron 9.5 mL de agua destilada, medidos usando una probeta. El agua se calentó usando una plancha de

calentamiento y agitación hasta llegar a los 70 °C. Al llegar a los 70 °C, se agregaron 0.5 mL de solución de almidón 1% recientemente preparada, medidos con una micropipeta, previamente realizada también para uso grupal.

Posteriormente se agregaron 50 μL de NaOH 1M en el vial de 10 mL, también medidos con una micropipeta. Finalmente se agregaron 250 μL del precursor, NaAuCl_4 , al vial. Se mantuvo la solución a una temperatura de 70 °C y con una agitación constante, usando una pastilla de agitación, durante 45 minutos hasta que hubo un cambio de coloración.

En la segunda sesión se hizo la misma síntesis con una solución de precursor diferente.

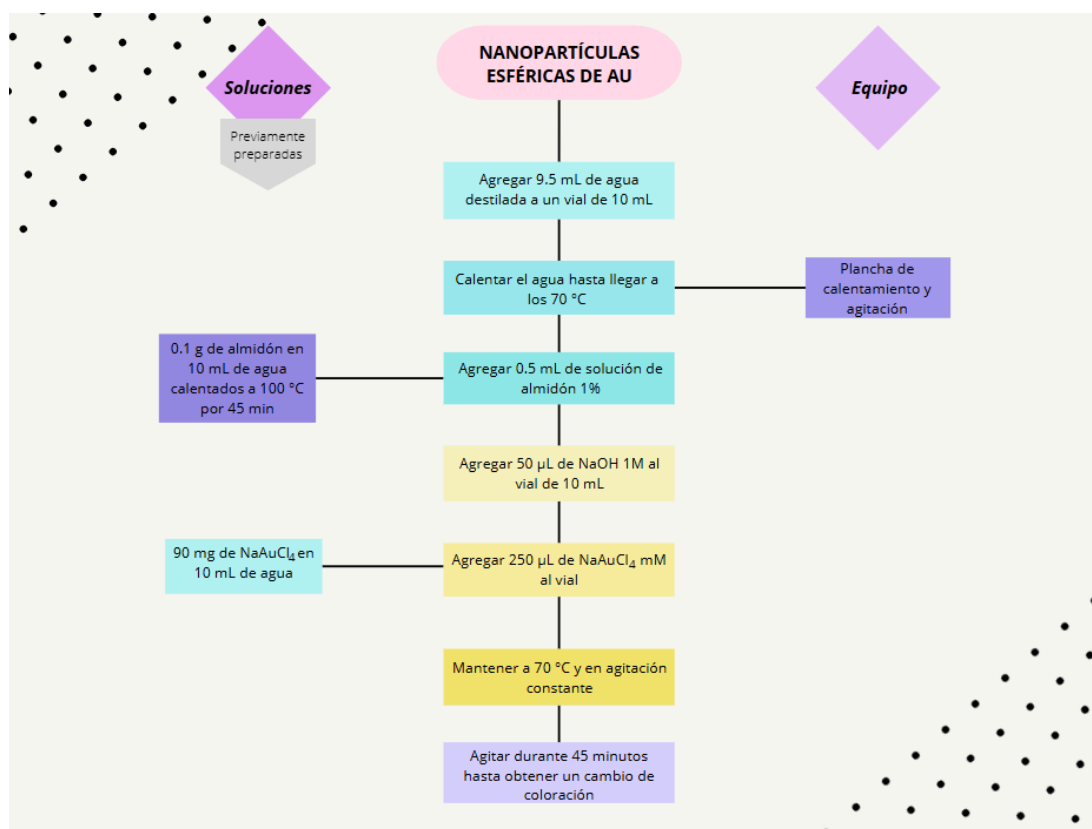


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología llevada a cabo para la síntesis de nanopartículas esféricas de Au

Síntesis de nanorods de Au

- Etapa semillas:

Para iniciar, se preparó una solución de CTAB 100 mM pesando 0.36445 g de CTAB en una balanza analítica y disolviéndolos en 10 mL de agua destilada con ayuda de un poco de calentamiento. Se preparó una solución de NaBH_4 26.43 mM usando 10 mg del reactivo disueltos en 10 mL de agua para uso grupal. A continuación, en un vial de 10 mL se agregaron los siguientes reactivos en el orden especificado: 1 mL de CTAB 100 mM, 25 μL de NaAuCl_4 10 mM, el precursor, y 60 μL de NaBH_4 26.43 mM. Se agitó el sistema vigorosamente durante 1 minuto y finalmente se dejó reposar durante 24 horas.

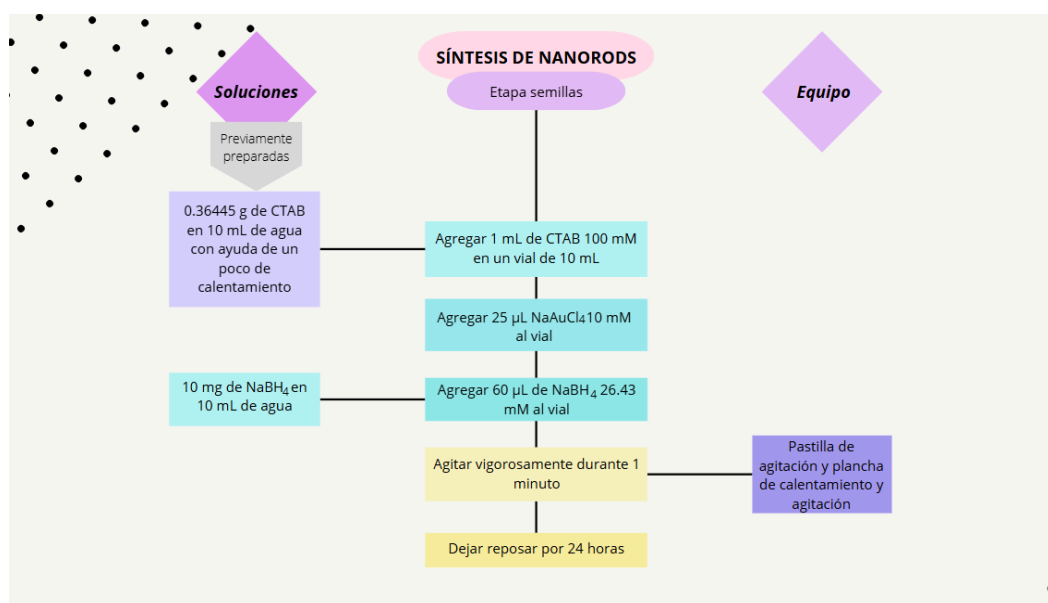


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología llevada a cabo para la síntesis de nanorods de Au en la etapa de las semillas

- Etapa crecimiento

Para la solución de crecimiento, se realizó una solución de ácido ascórbico 20 mM para uso grupal y en otro vial de 10 mL se agregaron los siguientes reactivos en el orden especificado: 5 mL de CTAB 100 mM, 250 μL de NaAuCl_4 10 mM, 48 μL de AgNO_3 10 mM y 100 μL de HCl 1 M, resultando en una solución de color amarillento debido al precursor NaAuCl_4 .

Se agregaron a la solución 120 μL de ácido ascórbico 20 mM gota por gota hasta que se volvió incolora y transparente y se agregaron 100 μL de la solución semilla a la solución de

crecimiento. Se agitó vigorosamente durante un minuto para finalmente calentar la solución a 60 °C durante una hora con ayuda de una plancha de agitación y calentamiento.

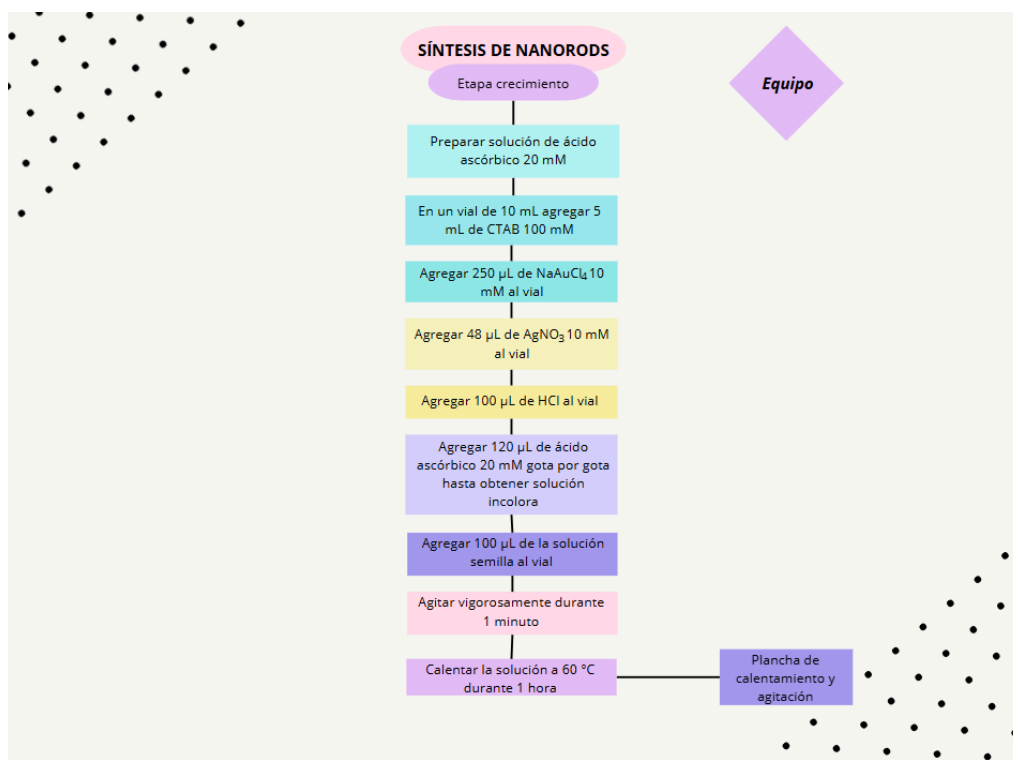


Figura 3. Diagrama de flujo de la metodología llevada a cabo para la síntesis de nanorods de Au en la etapa de crecimiento

Metodología de las caracterizaciones

Para la adquisición inicial del espectro, tanto de las nanopartículas esféricas y los nanorods después de su síntesis, se realizaron las mediciones del espectro de absorción usando un espectrofotómetro de Ultravioleta-Visible de la marca Perkin Elmer y el modelo Lambda 365 para las caracterizaciones de UV-Vis, y un analizador de tamaño de partículas por DLS modelo Zetasizer Advance Pro-Blue de la marca Malvern Panalytical para las caracterizaciones de DLS, registrando de esa manera la posición e intensidad de los máximos.

Para la preparación de la muestra, se colocó la solución en una cubeta de cuarzo según lo indicado en las prácticas. Y como tal las dispersiones se midieron tal cual salieron de la síntesis

en donde se identificó cada muestra con su código y se registró la fecha y hora de medición para la trazabilidad dentro del software del programa.

Primeramente se hizo una medición del tamaño hidrodinámico en una prueba de DLS directamente con una dilución de la muestra de 50% agua y 50% muestra en donde se guardó tanto el archivo bruto, el rango espectral completo y la posición de máximos asociados del plasmal. Se conservaron las condiciones instrumentales y se hizo un triplicado de la muestra. En la segunda medición se obtuvo un tamaño de 52 nm y se guardaron los archivos de salida con el mismo identificador que en espectroscopía.

Respecto al UV-Vis, Se adquirió el espectro de absorción de cada muestra directamente de la celda en donde se aseguró que la misma geometría óptica se mantuviera entre corridas. Para el análisis de los nanorods se especificó un rango de 300 a 1100 nm y una velocidad de escaneo de 300 nm/min. Se conservaron las condiciones instrumentales que emplearon el resto de equipos.

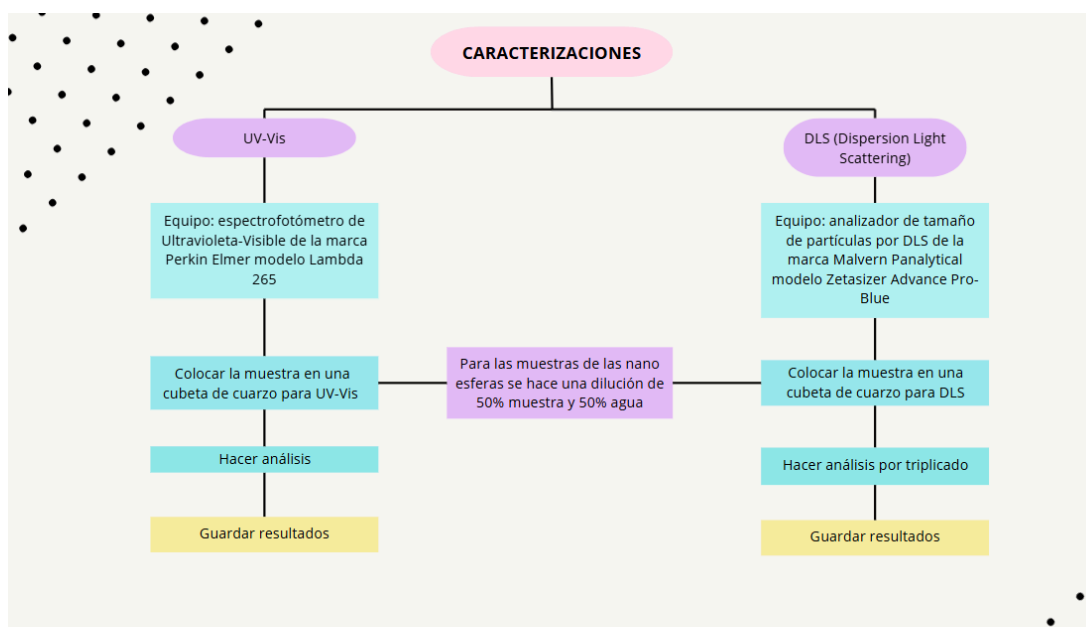


Figura 4. Diagrama de flujo de la metodología llevada a cabo para las caracterizaciones por UV-Vis y DLS

Centrifugación

Para la centrifugación de los nanorods, se dividió la solución de estos en dos tubos Falcon de 50 mL para después agregar agua destilada en cada uno de los tubos hasta llegar a la marca de los 30 mL. Después, se fue agregando agua destilada a los dos tubos hasta obtener un peso de 42.54 g en ambos. Se llevaron a la centrífuga de marca Eppendorf modelo 5804/R en donde se pusieron a centrifugar a 10000 rpm durante 20 minutos.

Para las caracterizaciones de los nanorods centrifugados primero se tuvieron que colocar los tubos Falcon en un baño de ultrasonido por 10 minutos para redispersión. Se usaron los mismos equipos mencionados anteriormente y se siguieron en su mayoría los mismos pasos y parámetros también mencionados anteriormente en la sección de caracterizaciones, teniendo como cambios la muestra usada para DLS, se colocó directamente y sin una dilución en agua, y para la caracterización de UV-Vis el rango fue de 300 - 800 nm con la misma velocidad de escaneo de la sección de caracterizaciones.

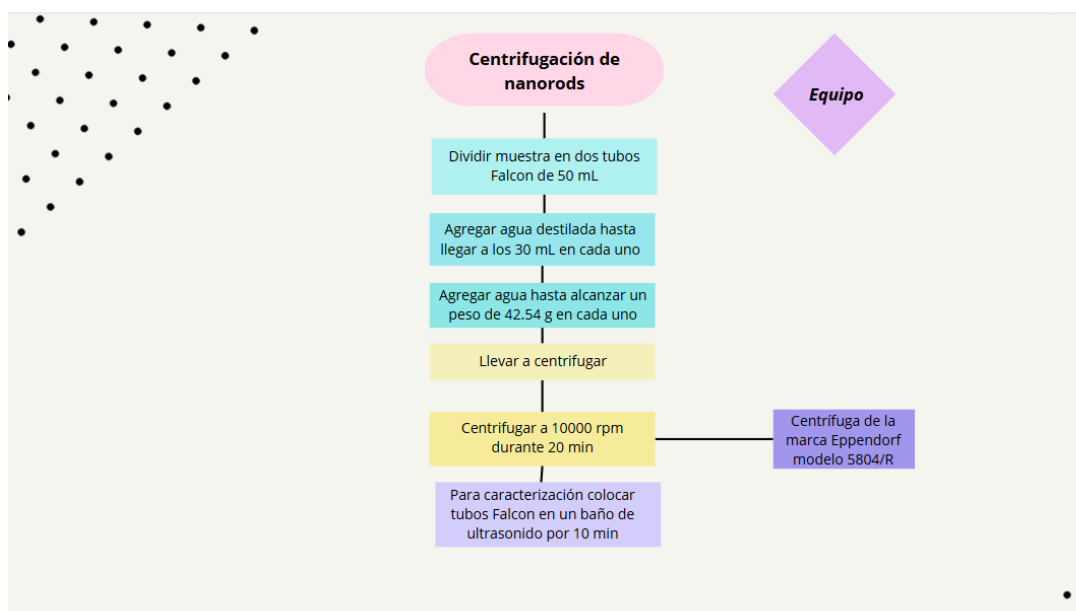


Figura 5. Diagrama de flujo de la metodología llevada a cabo para la centrifugación de los nanorods

Resultados y discusión

DLS

La técnica de Dispersión Dinámica de Luz fue empleada para la caracterización de nanomateriales en suspensión de forma en la que se obtiene el tamaño promedio y la distribución de tamaños de partícula a partir de las fluctuaciones en la intensidad de la luz dispersada. En nuestro análisis nos ayuda para conocer el grado de agregación y la homogeneidad del sistema, ya que esto nos ayuda a conocer cómo es que influyen directamente en sus propiedades ópticas y en el comportamiento del plasmón de resonancia localizado.

Nanopartículas esféricas de oro

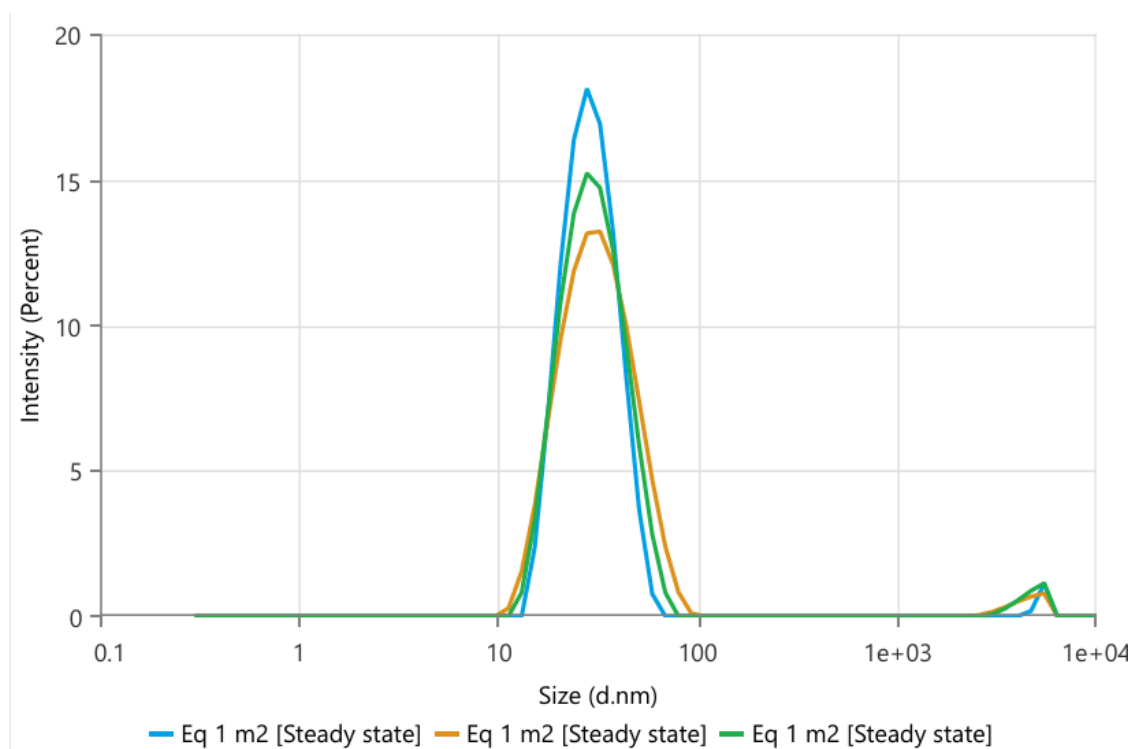


Figura 6. Distribución de tamaño hidrodinámico obtenida por DLS para las nanopartículas esféricas de oro.

En la *Figura 6* se observa la distribución principal del tamaño de las nanopartículas de oro sintetizadas con almidón como agente reductor y estabilizante. En esta se puede encontrar un pico alrededor de los 52 nm, indicando de esa forma la formación de nanopartículas en la gráfica. Importante mencionar que existe una posible formación de residuos coloidales al final que indica presencia de cierta parte de nuestra distribución. Esta distribución sugiere que las partículas se

encuentran en suspensión estable, aunque con cierto grado de polidispersidad, lo que puede deberse a diferencias durante la síntesis.

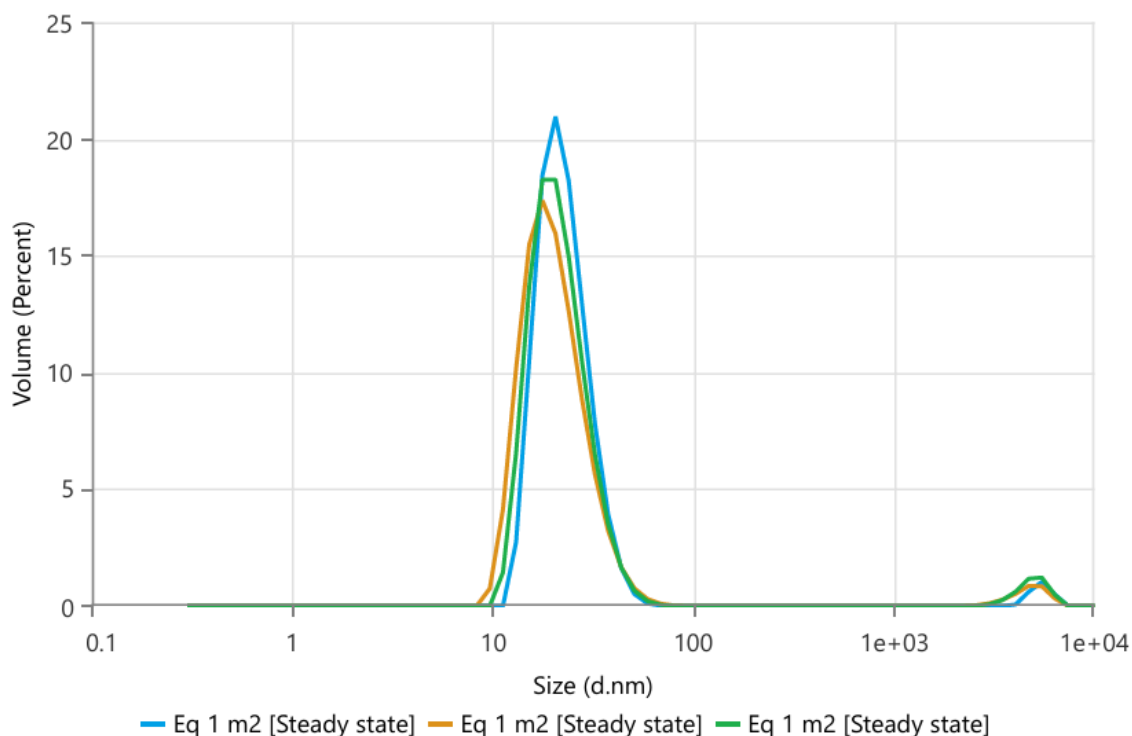


Figura 7. Distribución de tamaño de partícula en volumen porcentual obtenida por DLS para diferentes condiciones, Se observa un pico principal en el rango de 10-50 nm y una menor contribución en la región de 10^3 - 10^4 nm.

En la *Figura 7* se observa la distribución del tamaño de partícula en función del volumen porcentual, mostrando un pico principal alrededor de 10-20 nm y una ligera señal secundaria en la región de 10^3 - 10^4 nm, el cual se puede asociar a la formación de agregados o partículas secundarias. El análisis del gráfico sugiere una sola distribución dominante con una dispersión relativamente baja, indicando una buena homogeneidad en el tamaño de partícula.

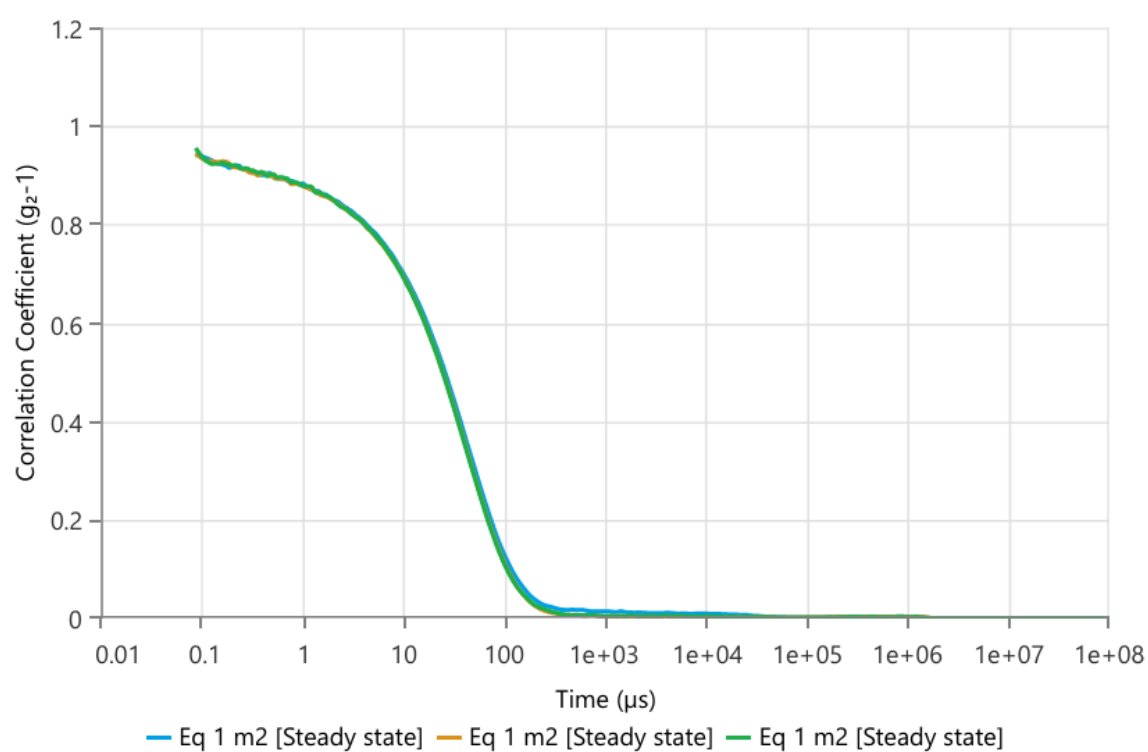


Figura 8. Distribución por número de partículas del análisis DLS de las nanopartículas de oro. La *Figura 8* corresponde a la función de autocorrelación de segundo orden o, de manera equivalente, al coeficiente de correlación en función del retardo. A partir de esta información, el instrumento estima el coeficiente de difusión traslacional y por medio de la relación de Stokes–Einstein, el diámetro hidrodinámico medio. El decaimiento observado es monomodal y suave, lo cual es coherente con una población mayoritaria única en difusión, ya que la ausencia de oscilaciones o de múltiples escalas de tiempo de relajación sugiere que las subpoblaciones secundarias, si existen, tienen un peso pequeño en la correlación. Esta figura no representa una “distribución por número”, sino el dato intermedio del que se derivan los tamaños reportados en las figuras de distribución.

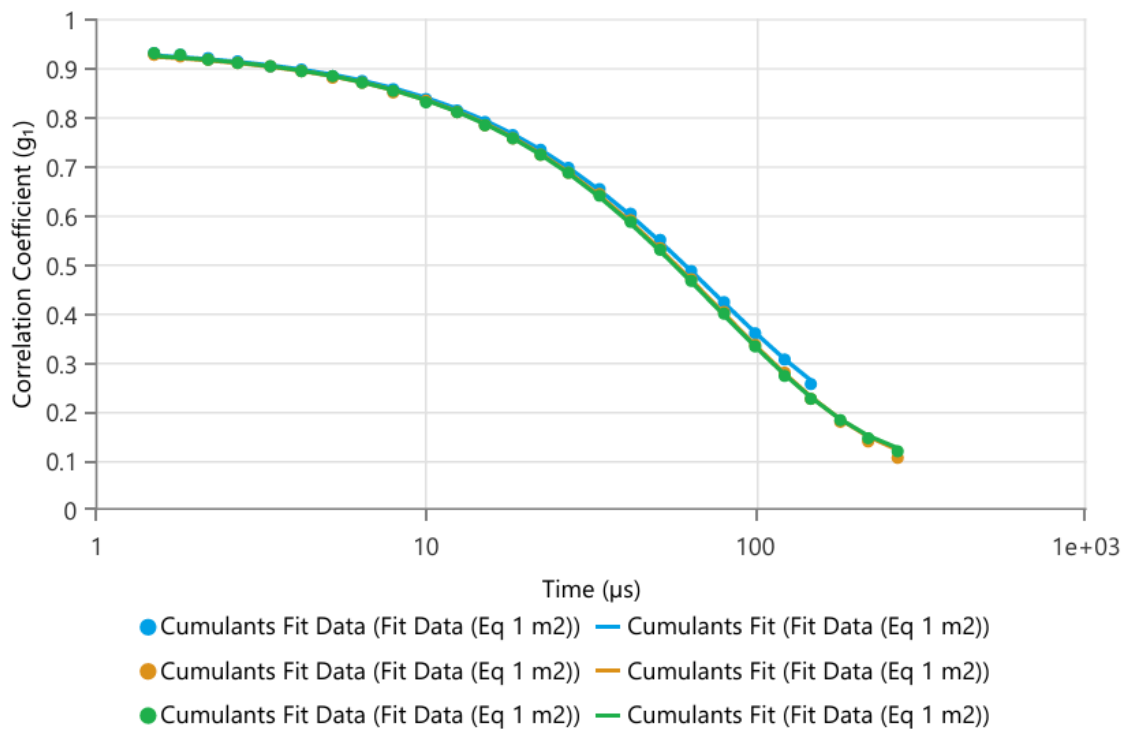


Figura 9. Distribución por volumen del análisis DLS de las nanopartículas de oro.

En la *Figura 9* se presentan los datos obtenidos por DLS, mostrando la función de correlación $g_1(t)$ en función del tiempo, donde se aprecia claramente un decaimiento progresivo de la correlación conforme aumenta el tiempo, comportamiento característico de sistemas coloidales estables. El análisis del ajuste por cumulantes permite observar que las muestras presentan una única población predominante, con un comportamiento de difusión relativamente lento, esto ocasionado por posibles formaciones de agregados o la presencia de la capa estabilizante gruesa de surfactante (almidón) alrededor de las partículas.

Espectroscopía UV-Vis

Nanopartículas esféricas de oro

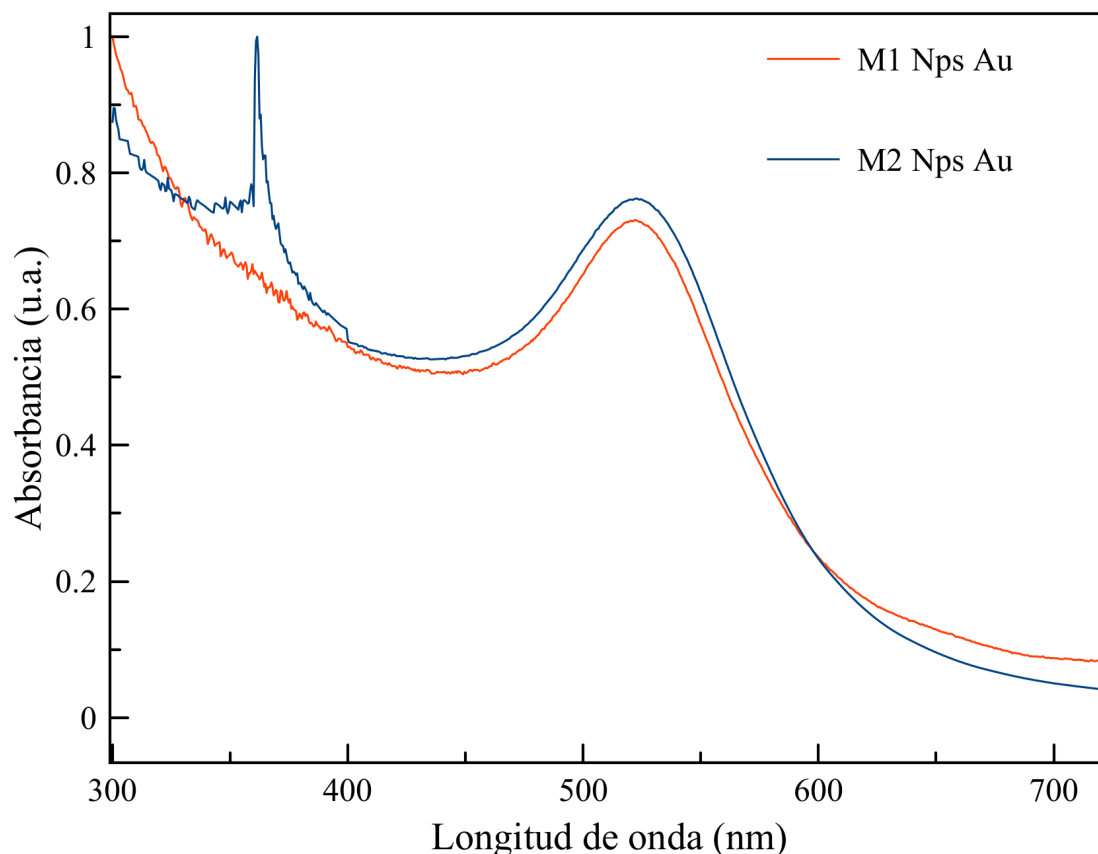


Figura 10. Espectros UV-Vis de nanopartículas esféricas de oro sintetizadas a partir de dos precursores distintos (M1 y M2).

En la *Figura 10* se presentan los espectros de absorbancia en el rango de 300–700 nm correspondientes a las muestras M1 y M2 de nanopartículas de oro (Nps Au). Ambas curvas muestran una banda de absorción característica alrededor de los 520–530 nm, atribuida a la resonancia de plasmones superficiales localizada (LSPR) de nanopartículas esféricas de oro. La presencia de esta banda confirma la formación de nanopartículas metálicas bien definidas.

Se observa una ligera diferencia en la intensidad y posición máxima del pico entre M1 y M2, lo que sugiere variaciones en el tamaño o grado de dispersión de las nanopartículas derivadas de los diferentes precursores utilizados. La muestra M2 presenta una absorbancia más alta y un leve corrimiento hacia longitudes de onda mayores, lo que indica un tamaño promedio ligeramente mayor o una distribución más heterogénea. El hombro observado cerca de 380–400 nm podría

asociarse con transiciones electrónicas interbanda características del oro o con la presencia de subproductos coloidales menores.

NanoRods de oro (después del lavado)

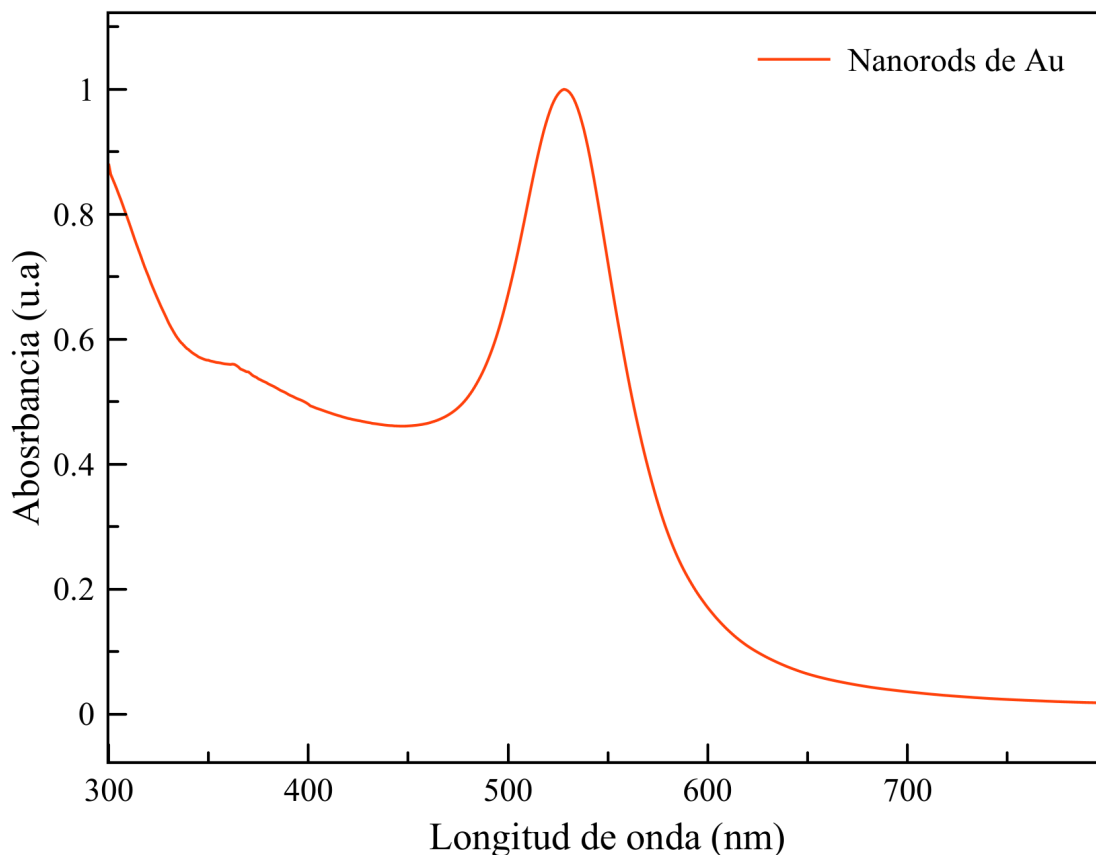


Figura 11. Espectro UV-Vis de nanorods de oro.

La *Figura 11* muestra el espectro UV-Vis del intento de síntesis de nanorods por el método de semillas en CTAB/ Ag^+ . Antes de la inoculación, la solución de crecimiento, la cual inicialmente es amarilla por el precursor de NaAuCl_4 , se torna incolora y transparente al añadir ácido ascórbico gota a gota. Tras la incorporación de semillas y el tratamiento térmico, el espectro resultante exhibe una única banda intensa en torno a 520–530 nm y carece de una segunda banda desplazada al rojo (600–900 nm) que identificaría la resonancia longitudinal propia de barras con relación de aspecto mayor que dos. En consecuencia, el conjunto de evidencias espectroscópicas nos da a conocer que no se formaron nanorods en la síntesis. El resultado puede explicarse por la

prevalencia de crecimiento isotrópico (esferas) o, en su defecto, por barras de muy baja anisotropía cuya banda longitudinal se solapa con la transversal. Dado que en sistemas CTAB/ Ag^+ la anisotropía depende de manera crítica de la frescura del NaBH_4 , la concentración de Ag^+ , el pH y cloruros que son del orden de adición y la temperatura/tiempo de crecimiento, debido a pequeñas desviaciones en estas variables se comprometió la separación de bandas. En futuras síntesis se podría recomendar hacer un duplicado / triplicado bajo un registro de barridos extendidos hasta ~ 1100 nm a fin de descartar eventuales bandas longitudinales muy corridas al rojo.

SEM

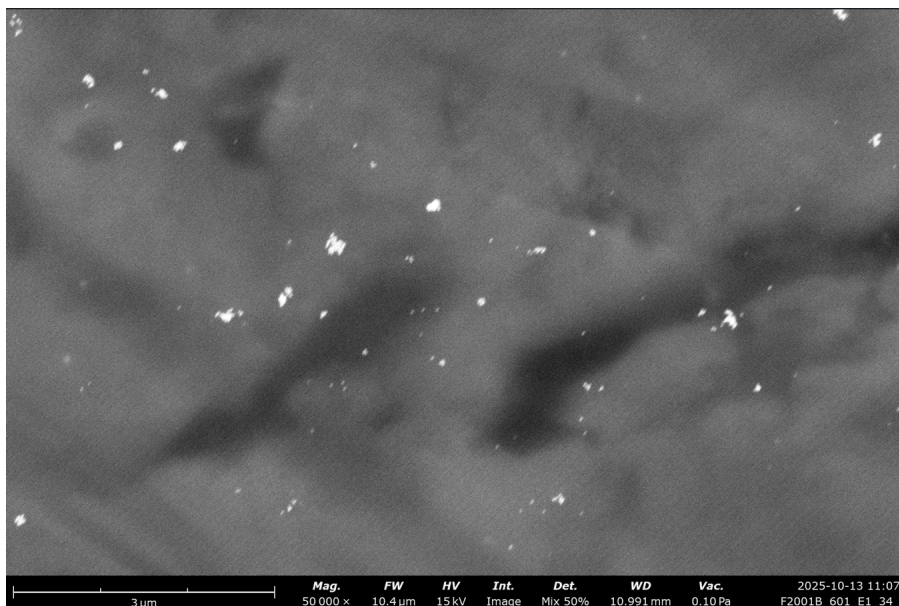


Figura 12. Micrografía SEM de nanorods de oro sintetizados por el método de semillas en CTAB (voltaje de aceleración: 15 kV, mezcla 50 %).

En la *Figura 12* se aprecia una población de nanopartículas con morfología predominantemente esférica y sub esférica, junto con un número reducido de partículas alargadas que sugieren el inicio de un crecimiento direccional. Las dimensiones promedio se estiman entre 40 y 70 nm, coherentes con el tamaño hidrodinámico determinado por DLS. La presencia limitada de estructuras anisotrópicas indica que las condiciones de síntesis no favorecieron plenamente la formación de nanorods bien definidos.

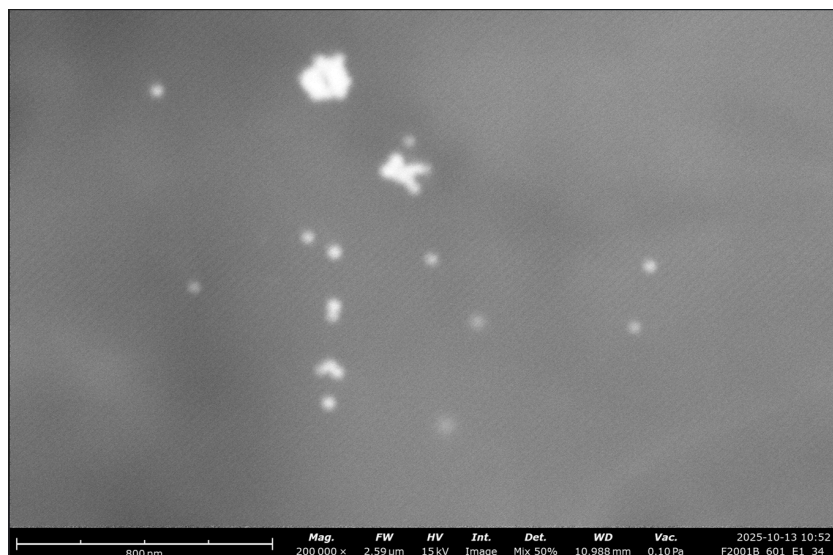


Figura 13. Micrografía SEM de nanorods de oro obtenidos bajo las mismas condiciones de síntesis (voltaje de aceleración: 15 kV, mezcla 50 %).

En la *Figura 13* se revela un ensamblaje irregular de partículas parcialmente elongadas, distribuidas en aglomerados poco compactos. La mayoría de las estructuras conservan una forma cercana a la esférica, aunque se identifican algunas partículas con relaciones de aspecto ligeramente superiores a 1.5, lo que sugiere un crecimiento anisotrópico incipiente. La falta de uniformidad morfológica y la coexistencia de geometrías diversas explican la ausencia de una segunda banda plasmónica longitudinal en el espectro UV–Vis, observándose únicamente el modo transversal característico en torno a 520–530 nm.

Análisis de resultados

Los resultados obtenidos a partir de las síntesis y caracterizaciones realizadas confirman la formación exitosa de nanopartículas esféricas de oro y permiten establecer una relación coherente entre parámetros de síntesis y respuesta óptica. Por otro lado, es importante destacar que no se obtuvo evidencia espectroscópica suficiente para afirmar la formación de nanorods bajo las condiciones empleadas.

En el caso de las nanopartículas esféricas de oro, el análisis por DLS exhibe una distribución de tamaño principal que está alrededor de los 52 nm en el canal ponderado por intensidad. De esta forma, se puede ver que concuerda con un sistema coloidal estable en donde una población

mayoritaria domina la dispersión de luz. La presencia de una cola hacia tamaños mayores se atribuye a una fracción minoritaria de agregados o a ligeras variaciones de nucleación y temperatura durante la síntesis, efecto esperado dado que la señal por intensidad sobrerrepresenta especies de mayor diámetro. Las representaciones por intensidad acumulada y por volumen son consistentes con una población dominante única y con un perfil más estrecho al convertir a volumen, lo cual sugiere una fracción principal relativamente homogénea. A partir de aquí se puede interpretar que la mayor parte de las partículas se encuentra en el rango nanométrico reportado y que las contribuciones de especies grandes al sistema son minoritarias.

En el espectro UV–Vis de las suspensiones esféricas, se presenta una banda de LSPR bien definida entre 520 y 530 nm [14] [13], característica de nanopartículas de oro aproximadamente esféricas en medio acuoso. La posición de la banda coincide con lo esperado para tamaños en el rango observado por DLS [13], y las diferencias sutiles de intensidad y corrimiento entre muestras pueden asociarse a variaciones moderadas de tamaño efectivo, polidispersidad o entorno dieléctrico derivadas de los precursores o de pequeñas diferencias de preparación [14] [15]. Este comportamiento refuerza la interpretación morfológica basada en DLS y respalda la estabilidad coloidal del sistema. [14] [13].

Para el sistema preparado por el método de semillas en CTAB/Ag⁺ orientado a generar nanorods, el análisis UV–Vis no muestra la banda longitudinal desplazada al rojo (600–900 nm) que, junto con la banda transversal cercana a 510–525 nm, define el patrón de doble resonancia plasmónica típico de estructuras anisotrópicas. Lo que el espectro registra es una sola banda intensa en torno a 520–530 nm la cual es compatible con partículas mayormente esféricas o con barras de muy baja anisotropía cuya resonancia longitudinal se solapa con la transversal y por ende no se separa espectralmente. Es importante mencionar que en la preparación de la solución de crecimiento se documentó el cambio de color amarillo a incoloro/transparente tras la adición de ácido ascórbico previa a la inoculación de semillas, lo cual es consistente con la reducción del precursor; sin embargo, este hecho por sí mismo no constituye evidencia de anisotropía. En consecuencia, y de acuerdo con la figura corregida, eso no afirma la formación de nanorods.

Los pasos de centrifugación y redispersión aplicados al material de crecimiento resultan adecuados para remover exceso de CTAB y otras impurezas que pueden interferir con las mediciones ópticas y de dispersión, de esa forma eso mejora la lectura intrínseca del sistema coloidal, aunque en este caso no cambia la conclusión morfológica derivada del UV-Vis. Considerando la sensibilidad del crecimiento anisotrópico a variables como frescura del NaBH_4 , concentración de Ag^+ y de cloruros, pH, orden de adición, temperatura y tiempo del proceso, se recomienda la repetición en duplicado/triplicado con control estricto de estas condiciones y, de ser posible, un barrido espectral extendido hacia el infrarrojo cercano para descartar resonancias longitudinales muy corridas al rojo en relaciones de aspecto extremas.

De una forma general, se podría destacar que la ruta con almidón produjo nanopartículas esféricas de oro con respuesta óptica y tamaños hidrodinámicos acordes entre DLS y UV-Vis, mientras que por el otro lado el intento por semillas en CTAB no evidenció la banda longitudinal requerida para confirmar nanorods. Los resultados validan la efectividad del protocolo para generar esferas y señalan la necesidad de optimización y replicación para inducir anisotropía de manera reproducible.

Los análisis morfológicos obtenidos mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) (Figuras 12 y 13) complementan y confirman las observaciones espectroscópicas. En las micrografías se observa una población heterogénea de nanopartículas mayormente esféricas y subesféricas, junto con un número reducido de partículas con elongación leve, lo que sugiere un crecimiento anisotrópico incipiente. La ausencia de estructuras claramente alargadas o de relación de aspecto superior a dos respalda la conclusión obtenida por UV-Vis, donde no se detectó la banda plasmónica longitudinal característica de nanorods bien formados.

Asimismo, la distribución irregular y los pequeños agregados observados en el SEM coinciden con los resultados de DLS, que muestran una ligera polidispersidad y presencia de agregados secundarios en las distribuciones de intensidad y volumen. Esto indica que, aunque la nucleación fue efectiva, el control del crecimiento direccional no fue suficiente para mantener una morfología anisotrópica estable. En conjunto, los datos de DLS, UV-Vis y SEM permiten establecer una interpretación coherente: las condiciones experimentales favorecieron el

crecimiento isotrópico y la formación de nanopartículas esféricas, sin desarrollo significativo de nanorods.

Sugerencias

Durante la síntesis de nanopartículas esféricas de oro conviene estandarizar con mayor rigor el control de temperatura y los tiempos de cada etapa. El registro continuo, el cual es con bitácora con cronómetro y termómetro calibrado, puede permitir relacionar la evolución del precursor y la cinética de reducción con la posición del LSPR, la cual se espera entre 520–530 nm, bajo condiciones reales de cada corrida. También es recomendable mantener invariable el orden de adición de reactivos y el tipo de vidrio del vial, a fin de minimizar variaciones no intencionales en la nucleación.

Para futuras síntesis de nanorods por método de semillas en CTAB, se sugiere:

Reactivos:

- Usar NaBH_4 recién preparado (máximo 10-15 min antes de usar).
- Controlar cuidadosamente la concentración de Ag^+ y CTAB, evitando impurezas.
- Asegurar que el NaAuCl_4 y el ácido ascórbico estén en proporciones adecuadas.

Control del proceso:

- Mantener la temperatura estrictamente constante al momento de calentar (60 °C)
- Regular la temperatura de crecimiento (25 °C) y el tiempo de incubación para evitar crecimientos isotrópicos.
- Ajustar la relación semilla:oro, ya que una cantidad excesiva de semillas podría generar esferas.

Monitoreo y caracterización:

- Extender el barrido espectral UV-Vis hasta 1100 nm para detectar posibles bandas longitudinales muy desplazadas al rojo.
- Realizar replicados para verificar reproducibilidad y descartar resultados aislados.
- Registrar cuidadosamente los cambios de color durante cada etapa y correlacionarlos con los espectros obtenidos.

Otros aspectos:

- Considerar el uso de otros surfactantes o aditivos.

- Implementar centrifugaciones y redisoluciones controladas para eliminar el exceso de CTAB sin alterar la morfología.

En la caracterización de Uv-Vis y DLS se siguió el procedimiento establecido en las prácticas, analizando los nanorods de oro después de su síntesis. Posteriormente, se realizó un proceso de centrifugación y redispersión durante 10 minutos, tras el cual se volvió a medir el espectro de absorción. Este procedimiento permitió observar las diferencias entre los nanorods recién sintetizados y los redispersados, eliminando las interferencias por el CTAB u otros reactivos.

Se sugiere replicar la síntesis de nanopartículas esféricas de oro, debido a la pérdida de material lo que limita futuros análisis. Una vez obtenidas, se sugiere el mismo procedimiento de lavado empleado para los nanorods, al igual que con los nanorods, centrifugación y redispersión, con el fin de caracterizarlos en Uv-Vis y DLS. Al obtener estos resultados se podrá, de igual forma que con los nanorods, hacer esa comparación y analizar el cambio obtenido.

Referencias

- [1] Kelly, K. L., Coronado, E., Zhao, L. L., & Schatz, G. C. (2003). *The Optical Properties of Metal Nanoparticles: The Influence of Size, Shape, and Dielectric Environment*. J. Phys. Chem. B, 107(3), 668–677.
- [2] Link, S., & El-Sayed, M. A. (1999). *Spectral Properties and Relaxation Dynamics of Surface Plasmon Electronic Oscillations in Gold and Silver Nanodots and Nanorods*. J. Phys. Chem. B, 103(40), 8410–8426.
- [3] Haiss, W., Thanh, N. T. K., Aveyard, J., & Fernig, D. G. (2007). *Determination of Size and Concentration of Gold Nanoparticles from UV–Vis Spectra*. Anal. Chem., 79(11), 4215–4221.
- [4] Gul, M.; Kashif, M.; Muhammad, S.; Azizi, S.; Sun, H. Various Methods of Synthesis and Applications of Gold-Based Nanomaterials: A Detailed Review. *Crystal Growth & Design* 2025, 25 (7), 2227–2266. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.4c01687>.

- [5] Duman, H.; Akdaşci, E.; Eker, F.; Bechelany, M.; Karav, S. Gold Nanoparticles: Multifunctional Properties, Synthesis, and Future Prospects. *Nanomaterials* 2024, 14 (22), 1805. <https://doi.org/10.3390/nano14221805>.
- [6] Nikoobakht, B., & El-Sayed, M. A. (2003). *Preparation and Growth Mechanism of Gold Nanorods Using Seed-Mediated Growth Method*. *Chem. Mater.*, 15(10), 1957–1962.
- [7] Khlebtsov, N. G., & Dykman, L. A. (2011). *Optical Properties and Biomedical Applications of Plasmonic Nanoparticles*. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 111(1), 1–35.
- [8] Mulvaney, P. (1996). *Surface Plasmon Spectroscopy of Nanosized Metal Particles*. *Langmuir*, 12(3), 788–800.
- [9] Bohren, C. F., & Huffman, D. R. (1983). *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*. Wiley-VCH.
- [10] Murphy, C. J. et al. (2005). *Anisotropic Metal Nanoparticles: Synthesis, Assembly, and Optical Applications*. *J. Phys. Chem. B*, 109(29), 13857–13870.
- [11] Jain, P. K., Huang, X., El-Sayed, I. H., & El-Sayed, M. A. (2008). *Noble Metals on the Nanoscale: Optical and Photothermal Properties and Some Applications in Imaging, Sensing, Biology, and Medicine*. *Acc. Chem. Res.*, 41(12), 1578–1586.
- [12] Kong, C.; Ma, B.; Liu, K.; Zhang, W.; Yang, Z. Continuous UV Irradiation Synthesis of Ultra-Small Au Nanoparticles Decorated Cu₂O with Enhanced Photocatalytic Activity. *Composites Communications* 2018, 9, 27–32. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2018.04.003>.
- [13] Haiss, W.; Thanh, N. T. K.; Aveyard, J.; Fernig, D. G. (2007) Determination of Size and Concentration of Gold Nanoparticles from UV–Vis Spectra. *Anal. Chem.*, 79 (11), 4215–4221. <https://doi.org/10.1021/ac0702084>

- [14] Kelly, K. L.; Coronado, E.; Zhao, L. L.; Schatz, G. C. (2003) The Optical Properties of Metal Nanoparticles: The Influence of Size, Shape, and Dielectric Environment. *J. Phys. Chem. B*, 107 (3), 668–677. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jp026731y>
- [15] Link, S.; El-Sayed, M. A. (1999) Spectral Properties and Relaxation Dynamics of Surface Plasmon Electronic Oscillations in Gold and Silver Nanodots and Nanorods. *J. Phys. Chem. B*, 103 (40), 8410–8426. <https://doi.org/10.1021/jp9917648>