

Síntesis de nanopartículas de plata como propuesta pedagógica para la enseñanza de la nanotecnología

VARGAS-SOLANO, Zaira*†, GRANADOS-OLVERA, Jorge Alberto y HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, Oscar

Universidad Tecnológica Fidel Velázquez Av. Emilizano Zapata S/N, El Tráfico, Nicolás Romero, Estado de México. C.P.54435

Recibido 24 Marzo, 2017; Aceptado 06 Junio, 2017

Resumen

Con el auge de la nanociencia y la nanotecnología la Universidad Tecnológica Fidel Velázquez inició cursos en la formación de T.S.U. en Nanotecnología en el 2011. Como parte del Mapa Curricular se presenta en el 4°cuatrimestre la asignatura de Síntesis de Materiales II en la cual, se pretende que los alumnos se involucren en la síntesis de materiales de utilidad nanotecnológica por vía seca y vía húmeda (CGUTyP, 2015). Derivado de lo anterior el presente trabajo propone una Síntesis de nanopartículas de plata diseñado con reactivos disponibles en cualquier laboratorio de docencia como una estrategia que dé significado al aprendizaje de la Síntesis por Vía Húmeda. La presente propuesta involucra la experiencia de laboratorio y los instrumentos de evaluación conforme al Modelo Educativo por Competencias.

Nanopartículas de Plata, Enseñanza, Nanotecnología, Competencias

Abstract

With the rise of nanoscience and nanotechnology the Technological University Fidel Velázquez began courses in the formation of T.S.U. In Nanotechnology in 2011. As part of the Curriculum Map, the subject of Materials Synthesis II is presented in the 4th semester, in which students are expected to become involved in the synthesis of materials of nanotechnology utility by dry and wet (CGUTyP, 2015). Derived from the above the present work proposes a Synthesis of silver nanoparticles designed with reagents available in any teaching laboratory as a strategy that gives meaning to the learning of the Humid Way Synthesis. The present proposal involves the laboratory experience and the evaluation instruments according to the Educational Model by Competencies.

Silver Nanoparticles, Teaching, Nanotechnology, Competences

Citación: VARGAS-SOLANO, Zaira, GRANADOS-OLVERA, Jorge Alberto y HERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, Oscar. Síntesis de nanopartículas de plata como propuesta pedagógica para la enseñanza de la nanotecnología. Revista de Simulación y Laboratorio. 2017, 4-11: 43-52.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: zairasolano@yahoo.com)

†Investigador contribuyendo como primer autor

1. Introducción

Este trabajo presenta una experiencia de laboratorio de docencia como un método sencillo de síntesis de nanopartículas de plata diseñado con reactivos disponibles en cualquier laboratorio. A partir de los resultados de este experimento el alumno puede reconocer que la plata en esta escala presenta diferente coloración a la conocida comúnmente en escala macroscópica, este cambio como consecuencia de un efecto de la resonancia del plasmón de superficie en nanopartículas metálicas (Martínez, 2013).

De esta manera, la enseñanza de la nanotecnología en el aula requiere de desarrollar estrategias didácticas que promuevan y faciliten el aprendizaje en los alumnos de educación superior. Ante esta problemática se plantea como alternativa, el uso de experiencias de laboratorio, para favorecer el aprendizaje basado en competencias, con este nuevo enfoque de enseñanza, así como el diseño de materiales que capacitan al alumno para que desarrolle capacidades, destrezas y proponga metodologías de síntesis e incorporación de nanomateriales para atender una necesidad de investigación o comercial y contribuir al desarrollo tecnológico (CGUTyP 2015).

Investigadores han propuesto prácticas de laboratorio que pueden ser llevadas a cabo por estudiantes de educación superior (Chhatre *et al.*, 2012; Frank *et al.*, 2010), sin embargo como lo menciona Martínez (2013), dichas prácticas se encuentran condicionadas al uso de equipo sofisticado que no siempre forman parte del equipamiento de instituciones de enseñanza. Las nanopartículas de plata han atraído la atención debido a que dependiendo del tamaño o forma presentan las propiedades diferenciadas.

En la antigüedad ya se empleaban las nanopartículas de plata y de algunos otros metales como oro, fungiendo éstas como pigmentos decorativos en artesanías, tiñendo vidrio o cerámica (Vankar y Shukla, 2011). En la actualidad, se ha logrado aprovechar en distintas áreas industriales y comerciales como bactericidas, sensores o incluso en la industria textil.

Las propiedades biomédicas de las nanopartículas de plata constituyen también un campo de investigación de gran relevancia. La mayoría de las publicaciones a este respecto se basan en las propiedades antimicrobianas de las nanopartículas de plata, aunque existen también estudios sobre sus propiedades antivirales, fungicidas o de cicatrización. Evidentemente, de manera paralela al estudio de estas propiedades se están desarrollando multitud de aplicaciones prácticas debido a las diferentes coloraciones que puede presentar la plata en función de su forma y tamaño nanométrico (Monge, 2009).

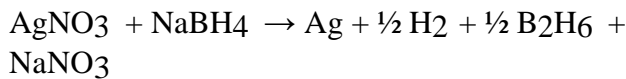
1.1 Justificación

La Síntesis por Vía Húmeda se destaca por ser considerada como un concepto crucial en la Nanotecnología, por lo que, su comprensión y aprendizaje resultan ser de gran importancia para que los estudiantes puedan entender las propiedades de los materiales a escala nanométrica.

Martínez y colaboradores (2013) han documentado la importancia de realizar demostraciones experimentales de evidencias macroscópicas para dar significado a propiedades en dicha escala con el fin de favorecer el aprendizaje de éstos conceptos, reconociéndolos como conocimientos abstractos con los cuales el alumno no puede interactuar directamente.

2. Materiales y métodos

La síntesis de nanopartículas plata se realiza por el método de reducción química tomando como base nitrato de plata como material de partida y borohidruro de sodio como agente reductor, de esta manera se obtienen dispersiones coloidales de plata color amarillas, estables y transparentes (Camacho 2013). Al colocar mayor cantidad del agente reductor (NaBH_4) se espera la reducción de los iones Ag^+ y con ello la estabilización de las nanopartículas de plata. Quedando la siguiente reacción química (Mulfinger, 2007):



La adsorción de NaBH_4 juega un papel clave como estabilizador durante el crecimiento de las nanopartículas de Ag proveyendo una carga superficial en la partícula. La cantidad de NaBH_4 debe ser suficiente para estabilizar las partículas cuando la reacción ocurre pero no demasiado alta como para aumentar la fuerza iónica total y hacer que ocurra la agregación (Reyes 2013).

La agregación también puede ser inducida por la adición de electrolitos, por ejemplo NaCl . Las nanopartículas son mantenidas en suspensión por fuerzas electrostáticas repulsivas entre las partículas debido al NaBH_4 adsorbido. La sal apantalla las cargas permitiendo que las partículas formen agregados. Entonces el sol de Ag cambia de color pasando de amarillo, a verde o violeta y continua hasta gris. En caso de agregación, el espectro visible presenta un nuevo pico a longitudes de onda mayores (~525 nm) con una disminución en la intensidad de la absorbancia del plasmón (Rubio, 2017).

Algunos polímeros pueden estabilizar a las nanopartículas modificando su superficie un ejemplo de ellos es el (PVP) polímero polivinilpirrolidona (Monge, 2014). Por lo tanto, se propone analizar la influencia de los distintos parámetros experimentales sobre las nanopartículas obtenidas en cuanto a su forma y tamaño. Además de estudiar el rol del modificador superficial en los procesos de formación de las partículas, concentración del AgNO_3 , reductor y modificador superficial.

El método propuesto se ha diseñado mediante la modificación de diversos métodos descritos en la literatura (Frank *et al.*, 2010) y se compone de los siguientes pasos:

Nanopartículas amarillas

1. Se ocuparan dos soluciones:
 - a. AgNO_3 : 10 ml-1mM
 - b. NaBH_4 : 30 ml- 2mM
2. Se titula el AgNO_3 sobre el NaBH_4 gota a gota (~ 1 gota/seg) y se mantiene en agitación constante
3. Se debe poner atención en el color de las partículas obtenidas

Nanopartículas moradas

1. Se titulara 0.5 ml de AgNO_3 sobre 1 ml de NaBH_4 y se mantiene en agitación constante

El desarrollo experimental para las nanopartículas amarillas esta basado en la técnica experimental (Solomon, 2007). La propuesta de práctica de laboratorio se presenta en el Anexo 1 la cual presenta un cuestionario breve a través del cual puede evaluarse el componente conceptual de la competencia a evaluar.

Se sugiere que a través del reporte de experiencia de laboratorio se realice la evaluación del componente experimental de la competencia y en el Anexo 2 se presenta una propuesta de evaluación actitudinal del desempeño del alumno durante la práctica de laboratorio.

3. Resultados

Para la síntesis de nanopartículas de plata se colocan 10 mL de AgNO_3 1.0 mM que son sumados gota a gota (~ 1 gota/seg) a 30 mL de NaBH_4 2.0 mM colocados en un baño de hielo, bajo agitación vigorosa. La solución toma un color amarillo intenso al finalizar la adición de AgNO_3 , proceso que lleva un total de ~ 3 min, después del cual la agitación es concluida. La dispersión coloidal permanece estable a temperatura ambiente durante semanas o meses. La reacción se realiza en medio acuoso (agua destilada) (Solomon, 2007).



Figura 1 Nanopartículas de plata recién sintetizadas

El tiempo de agitación y cantidades relativas de reactivos deben ser controladas cuidadosamente para obtener soles de plata estables.

Al momento de adicionar la sal de plata debe garantizarse una agitación continua pues al finalizar este proceso comenzara la formación de agregados de partículas, las cuales presentan una coloración amarillo claro y conforme transcurre el tiempo se agrupan derivando en coloraciones marron, moradas, verdes y grises, después de lo cual ocurre la precipitación.



Figura 2 Nanopartículas de plata precipitadas en color violeta y gris

Para la evaluación de la experiencia aquí descrita, se propone la aplicación de un cuestionario que determine el componente conceptual (Saber) a partir del cual se explore sobre el nivel de comprensión de conceptos que el alumno presenta tras realizar la experimentación, se proponen las preguntas planteadas en la secuencia experimental explícita en el Anexo 1.

Para la evaluación del componente procedimental de la competencia se propone la evaluación del trabajo en el laboratorio a partir del reporte del experimento realizado y finalmente como instrumento de evaluación del componente actitudinal se plantea una lista de cotejo (Anexo 2) misma que puede ser utilizada para diversas secuencias experimentales.

5. Conclusiones

A partir de una práctica de laboratorio en la que se desarrolla una síntesis de nanopartículas de plata se estableció una propuesta pedagógica para el reforzamiento de las competencias de Producir materiales nanotecnológicos, mediante procedimientos de síntesis e incorporación de nanomateriales establecidos, para atender una necesidad de investigación o comercial y contribuir al desarrollo tecnológico.

Se ha propuesto una estrategia de síntesis nueva adaptada a partir de diversas fuentes bibliográficas. La obtención de las nanopartículas de plata fue exitosa por este método y permitió observar el color amarillo de la plata que es una diferencia contrastante con el color conocido en tamaño macrométrico. El método es sencillo y fácilmente puede ser desarrollado en cualquier laboratorio de enseñanza media y superior orientado al área de nanociencias ya que se utilizan reactivos de fácil acceso, baja toxicidad y de bajo costo.

A pesar de esta sencillez, los fundamentos técnicos y científicos que explican el comportamiento tan complejo de los materiales a escala nanométrica son novedosos y extensos. La demostración del efecto de resonancia del plasmón de superficie es uno de ellos y puede motivar a los estudiantes a profundizar en el estudio del comportamiento de la materia en escala nanométrica.

A partir de los instrumentos de evaluación sugeridos para los diversos componentes de la competencia (conceptual, procedimental y actitudinal) puede establecerse de forma clara la evaluación del alumno, favoreciendo su autoregulación en el desarrollo de las actividades de aprendizaje haciéndolas significativas para él. Se invita a los lectores interesados a reproducir este método variando más parámetros como pH y concentraciones.

Precisiones sobre el trabajo experimental

Utilizar material de vidrio limpio para evitar contaminación con algún otro reactivo. Al tratarse de un reactivo de altas propiedades reductoras la solución de NaBH_4 deben prepararse en el momento de la síntesis. Si lo que se busca es obtener diferentes tamaños de partícula debe modificarse las concentraciones de reactivos, temperatura de reacción y duración de la reacción de polímeros estabilizantes. Cuidado en el manejo de reactivos, revise sus hojas de seguridad, descártelos en los recipientes adecuados.

Caracterización sugerida:

En el presente desarrollo experimental el alumno solo sintetiza las nanopartículas de plata y puede percibir características macroscópicas de las mismas. Para que el alumno amplíe sus conocimientos es necesario diversificar las técnicas experimentales de caracterización entre las cuales se encuentran:

Espectroscopía UV-Vis, que permite identificar algunos grupos funcionales de moléculas, y además, para determinar el contenido y fuerza de una sustancia.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) determina la morfología de los materiales y permite saber el diámetro de los mismos.

6. Referencias

Camacho Polo, J. D., Deschamps Mercado, L. A., & Herrera Barros, A. D. (2013). Síntesis de nanopartículas de plata y modificación con pulpa de papel para aplicación antimicrobial (Doctoral dissertation, Universidad de Cartagena).

Coordinación General de Universidades Tecnológicas y Politécnicas (2015) Programa de la Asignatura de Síntesis de Materiales II del Técnico Superior Universitario en Nanotecnología Área Materiales. SEP .México: Autor

Cruz, D. A., Rodríguez, M. C., López, J. M., Herrera, V. M., Orive, A. G., & Creus, A. H. (2012). Nanopartículas metálicas y plasmones de superficie: una relación profunda. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 3(2).

Frank, A. J.; Cathcart, N.; Maly, K. E. y Kitaev, V. (2010) "Synthesis of silver nanoprisms with variable size and investigation of their optical properties: a first-year undergradua108 Mundo Nano | Artículos | Vol. 6, No. 10, enero-junio, 2013 | www.mundonano.unam.mx te experiment exploring plasmonic nanoparticles". *Journal of Chemical Education* 87(10), 1098–1101. doi:10.1021/ed100166g.

Chhatre, A.; Solasa, P.; Sakle, S.; Thaokar, R. & Mehra, A. (2012) "Color and surface plasmon effects in nanoparticle systems: Case of silver nanoparticles prepared by microemulsion route". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 404, 83–92. doi:10.1016/j.colsurfa.2012.04.016

Martinez, F. M., Zuñiga, E., & Sanchez Lafarga, A. K. (2013) Método de síntesis de nanopartículas de plata adaptable a laboratorios de docencia relacionado con la nanotecnología. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 6(10).

Monge, M. (2014). Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. In *Anales de Química* (Vol. 105, No. 1).

Mulfinger, L., Solomon, S. D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A. V., Rutkowsky, S. A., & Boritz, C. (2007). Synthesis and study of silver nanoparticles. *J. Chem. Educ*, 84(2), 322.

Reyes, G., Carmina, S., Morales Luckie, R. A., & Robles Bermeo, N. L. (2013) Efecto antibacteriano de las nanopartículas de plata versus clorhexidina sobre streptococcus mutans y lactobacillus casei Tesis de maestria, UAEM, Mexico.

Rubio Camacho, M. (2017). Nanopartículas multifuncionales basadas en polielectrolitos conjugados.

Saenz, G., Hernández, M. C., & Martínez, L. A. (2011). Síntesis Acuosa de Nanopartículas de Plata. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 34-35.

Solomon, S. D., Bahadory, M., Jeyarajasingam, A. V., Rutkowsky, S. A., Boritz, C., & Mulfinger, L. (2007). Synthesis and Study of Silver Nanoparticles W. *Journal of Chemical Education*, 84(2).

Anexo 1**Síntesis Humeda de Nanopartículas De Ag**

La siguiente práctica es una adaptación de la secuencia experimental

Nanopartículas de plata disponible en: <https://es.scribd.com/document/117040767/qui mica>

Carrera: tsu nanotecnología

Cuatrimestre: cuarto

Asignatura: síntesis de materiales ii

Unidad: unidad ii: síntesis por vía húmeda

Tema: obtención de partículas nanoestructuradas por vía húmeda

Competencias

Saber	Saber hacer	Ser
-Identificar los tipos de partículas de acuerdo a: su morfología y tamaño.	-Clasificar los tipos de partículas de acuerdo a: su morfología y tamaño.	-Ordenado -Limpio -Analítico -Hábil para el trabajo en equipo

Objetivo

- Sintetizar y caracterizar nano partículas de plata, para implícitamente estimar su tamaño y estudiar la influencia de los diferentes parámetros de síntesis en la morfología de las mismas.

Identificación de conceptos previos

1. ¿Qué es una partícula coloidal?
2. Explica el cambio de color las nanopartículas de plata
3. ¿Qué es un agente estabilizador?
4. ¿Qué función tiene pvp?

5. Menciona 5 propiedades de las nanopartículas de plata y describe cada una de ellas

Relevancia del tema

1. Comprender los métodos por vía húmeda para síntesis de materiales nanoestructurados
2. Relacionar las operaciones unitarias para la síntesis por vía húmeda de materiales nanoestructurados
3. Identificar las condiciones y parámetros para el proceso de síntesis e incorporación de materiales nanoestructurados
4. Identificar la morfología y tamaño de los materiales obtenidos a partir del método de síntesis utilizado
5. Identificar las ventajas, desventajas y aplicaciones de los métodos de síntesis por vía húmeda

Introducción

La preparación de nano partículas metálicas tiene gran interés debido a sus propiedades ópticas, eléctricas, catalíticas, etc. Estas propiedades dependen del tamaño, forma y dispersión de las partículas, que pueden ser controladas a partir del método de síntesis. Dentro de los parámetros que influyen en la morfología de las nanopartículas se encuentran la elección del agente reductor, cantidades relativas y concentraciones de reactivos, temperatura y duración de la reacción (camacho, 2013).

Las nanopartículas metálicas presentan propiedades diferentes a las de los materiales *bulk* sintetizados a partir de los mismos átomos. Por ejemplo, el color amarillo de las dispersiones de nanopartículas de plata comparado con la solución incolora de nitrato de plata o la apariencia metálica de la plata *bulk* (cruz,2012).

La interacción entre las nanopartículas de plata y la luz visible es una consecuencia de la gran densidad de electrones de conducción, de las dimensiones de confinamiento menores al camino libre medio, y de la dependencia de la parte real e imaginaria de la función dieléctrica del metal con la frecuencia, resultando en la existencia de la resonancia del plasmón de superficie. En particular, el campo eléctrico oscilante de la luz incidente origina la oscilación coherente de los electrones de conducción, resultando en una oscilación de la nube electrónica que rodea al núcleo metálico. El tamaño y forma de las partículas, como también la función dieléctrica del medio circundante determina la frecuencia y fuerza de dicha resonancia.

Según Mulfinger (2007) la síntesis de nanopartículas de plata se realiza por el método de reducción química empleando nitrato de plata como material de partida y borohidruro de sodio como agente reductor, así se obtienen dispersiones coloidales de plata amarilla, estable y transparente. Un gran exceso de NaBH_4 es necesario para reducir los iones Ag^+ y para estabilizar las nanopartículas de plata que se forman. La reacción química correspondiente es: $\text{AgNO}_3 + \text{NaBH}_4 \rightarrow \text{Ag} + \frac{1}{2} \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{B}_2\text{H}_6 + \text{NaNO}_3$

La adsorción de NaBH_4 juega un papel clave como estabilizador durante el crecimiento de las nanopartículas de Ag proveyendo una carga superficial en la partícula. La cantidad de NaBH_4 debe ser suficiente para estabilizar las partículas cuando la reacción ocurre pero no demasiado alta como para aumentar la fuerza iónica total y hacer que ocurra la agregación (Reyes, 2013). La agregación también puede ser inducida por la adición de electrolitos, por ejemplo NaCl . Las nanopartículas son mantenidas en suspensión por fuerzas electrostáticas repulsivas entre las partículas debido al NaBH_4 adsorbido.

La sal apantalla las cargas permitiendo que las partículas formen agregados. Entonces el sol de Ag cambia de color pasando de amarillo, a verde o violeta y continúa hasta gris. En caso de agregación, el espectro visible presenta un nuevo pico a longitudes de onda mayores ($\sim 525 \text{ nm}$) con una disminución en la intensidad de la absorbancia del plasmón (Rubio, 2017). Las nanopartículas coloidales se pueden estabilizar empleando un modificador superficial, por ejemplo el (PVP) polímero polivinilpirrolidona (Solomon, 2007). Por lo tanto, se propone analizar la influencia de los distintos parámetros experimentales sobre las nanopartículas obtenidas en cuanto a su forma y tamaño. Además de estudiar el rol del modificador superficial en los procesos de formación de las partículas, concentración del AgNO_3 , reductor y modificador superficial.

El desarrollo experimental para las nanopartículas amarillas está basado en la técnica experimental (Solomon, 2007)

Parte experimental: síntesis de coloides de plata

Material	Reactivos
Vasos pp 250 ml	AgNO_3
Vaso pp 1 l	NaBH_4
Bureta 50 ml	
Pinzas mariposa	
Soporte universal	
Agitador	
Vidrio de reloj	
Espátula	
Piceta	
Embudo	
Pipeta 10 ml	
Perilla	

Desarrollo

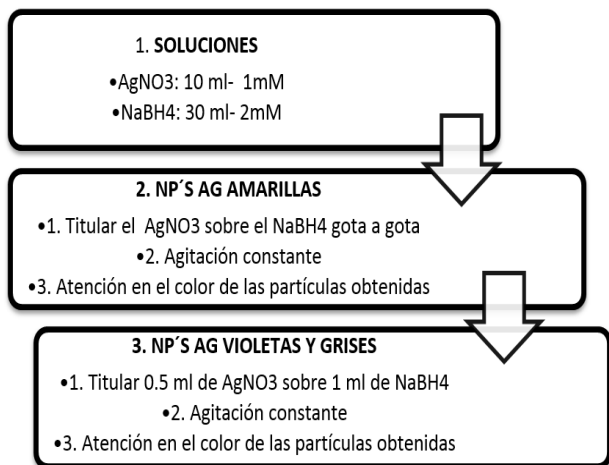
Nanopartículas amarillas

- Se ocuparan dos soluciones:
 - AgNO_3 : 10 ml-1mm
 - NaBH_4 : 30 ml- 2mm
- Se titula el AgNO_3 sobre el NaBH_4 gota a gota (~ 1 gota/seg) y se mantiene en agitación constante
- Se debe poner atención en el color de las partículas obtenidas

Nanopartículas moradas

- Se titulara 0.5 ml de AgNO_3 sobre 1 ml de NaBH_4 y se mantiene en agitación constante.

Diagrama de flujo



Nota: se debe tener paciencia y observar muy bien el color de las partículas. Si se llegase a pasar de gotas, cambiara a color gris.

Referencias

J.a. creighton, c.h.g. blatchford, m.g. albrecht. Trans. Faraday soc. 75 (1979) 790.

S.d. solomon, m. Bahadory, a.v. jeyarajasingam, s.a. rutkowsky, c. Borito, l. Mulfinger. *J. Chem. Ed.* 84(2) (2007) 322.

Anexo 2

Lista de cotejo para evaluar el componente actitudinal de la competencia.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA FIDEL
VELÁZQUEZ
DIVISION ACADÉMICA DE TECNOLOGÍA
AMBIENTAL Y NANOTECNOLOGÍA

Nombre _____ del _____ Alumno

Asignatura: _____

Periodo: _____ Grupo: _____

Nombre _____ del _____ Docente:

Instrucciones: Coloque en la lista de cotejo SI o NO según lo observado en las habilidades del alumno durante la secuencia experimental a desarrollada.

	Criterio	1° Experiencia		2° Experiencia		3° Experiencia	
		SI	NO	SI	NO	SI	NO
1.	Participa y colabora de manera efectiva en las actividades que debe realizar el equipo como parte de la experiencia de laboratorio	20	0	20	0	20	0
2.	Aporta puntos de vista con respeto y considera los de otros integrantes	10	0	10	0	10	0

	del equipo de trabajo en el laboratorio.						
3.	Si el equipo de trabajo enfrenta dificultades propone maneras de superarlas.	10	0	10	0	10	0
4.	Sigue instrucciones y procedimientos de manera reflexiva comprendiendo como cada paso contribuye al cumplimiento del objetivo de la experiencia de laboratorio.	20	0	20	0	20	0
5.	Utiliza bien el tiempo durante todo el desarrollo del trabajo en el laboratorio.	10	0	10	0	10	0
6.	Contribuye a mantener un ambiente limpio y ordenado en el sitio en el que se desarrolla la experiencia de laboratorio.	20	0	20	0	20	0
7.	Muestra responsabilidad sobre su seguridad personal y la seguridad de sus compañeros en el desarrollo de la experiencia de laboratorio.	10	0	10	0	10	0
Total							

No. de Experiencia	Título de la Experiencia de Laboratorio
1° Experiencia	
2° Experiencia	
3° Experiencia	