



Transformación de plomo potencialmente tóxico a $Pb(NO_3)_2$ cristalino

Transformation of potentially toxic lead to crystalline $Pb(NO_3)_2$

Villalón López Ulises Alejandro ¹, Moreno Armenta María Guadalupe ², Barrera Rodríguez Arturo ³, Rogel Hernández Eduardo ¹, Quintana Melgoza Juan Manuel ¹

¹Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, UABC. Calzada Universidad, 14418, Parque Industrial Internacional Tijuana, 22390, Tijuana, Baja California, México.

²Centro de Nanociencias y Nanotecnología, UNAM. Km. 107 Carretera Tijuana-Ensenada, CP 22800, Ensenada, Baja California, México.

³Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Ciénega, Av. Universidad, Número 1115, Col. Linda Vista, Apdo. Postal 106, Ocotlán Jalisco, México.

Autor de correspondencia: Juan Manuel Quintana Melgoza, Profesor-Investigador de tiempo completo definitivo en la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, quintana@uabc.edu.mx. ORCID: 0000-0002-3738-0612.

Recibido: 07 de Mayo del 2019 **Aceptado:** 12 de Septiembre del 2019 **Publicado:** 25 de Septiembre del 2019

Resumen. - *La acumulación de plomo en el ambiente es una causa de problemas de salud en humanos. La dosis letal media reportada en mg/kg para Pb, $Pb(NO_3)_2$ y PbO es de 400, 2250 y 2000, respectivamente. Debido a la alta toxicidad del plomo metálico con respecto al nitrato de plomo se ha desarrollado una metodología para transformar el plomo residual a nitrato de plomo, cuya toxicidad es cinco veces menor que el plomo metálico. Por otra parte, el nitrato de plomo puede ser precursor para la síntesis de materiales con potencial aplicación industrial. La síntesis del $Pb(NO_3)_2$ se realiza mezclando el plomo metálico residual y ácido nítrico 15.7 molar en una proporción de reactivos [1:4]. Posteriormente, la mezcla se somete a agitación magnética hasta disolver el plomo y formar un precipitado blanco, se seca a 110 °C durante 1 h obteniendo un rendimiento experimental del 99 %. El material sintetizado se caracteriza por difracción de rayos-X, microscopía electrónica de barrido y espectroscopia por dispersión de energía. Así mismo, esta metodología tiene un impacto favorable en los ecosistemas, ya que la contaminación por plomo se verá disminuida.*

Palabras clave: Plomo residual tóxico; Síntesis química; Producto nitrato de plomo.

Abstract. - *The accumulation of lead in the environment is a cause of health problems in humans. The mean lethal dose reported in mg/kg for Pb, $Pb(NO_3)_2$ and PbO is 400, 2250 and 2000, respectively. Due to the high toxicity of metallic lead with respect to lead nitrate, a methodology has been developed to transform residual lead into lead nitrate, whose toxicity is five times lower than metallic lead. On the other hand, lead nitrate can be a precursor for the synthesis of materials with potential industrial application. The synthesis of $Pb(NO_3)_2$ is carried out by mixing the residual metallic lead and 15.7 molar nitric acid in a proportion of reagents [1:4]. Subsequently, the mixture is subjected to magnetic stirring to dissolve the lead and form a white precipitate, dried at 110 °C for 1 h obtaining an experimental yield of 99 %. The synthesized material is characterized by X-ray diffraction, scanning electron microscopy and energy dispersion spectroscopy. Likewise, this methodology has a favorable impact on ecosystems, since lead contamination will be diminished.*

Keywords: Toxic residual lead; Chemical synthesis; Lead nitrate product.



1. Introducción

El plomo tiene muchas aplicaciones industriales [1] debido a sus propiedades como alta densidad (11.34 g cm^{-3}), bajo punto de fusión ($327.4 \text{ }^\circ\text{C}$), alto punto de ebullición ($1740 \text{ }^\circ\text{C}$), alta maleabilidad, ductibilidad, solubilidad, resistente a la corrosión y reactividad química. Los compuestos de plomo son de interés en pinturas, pigmentos y fabricación de vidrio óptico, su uso principal es en baterías de almacenamiento de energía, mezclado con antimonio del 9.0 al 12 % [2]. La producción mundial de Pb es de $4.7 \times 10^6 \text{ t/año}$, donde el 90 % está contenido en las baterías ácidas de plomo [3]. La acumulación de plomo en el medio ambiente es una causa de problemas de salud debido a su alta toxicidad [4], las fuentes principales son la combustión de gasolina [5], industria minera [6], pinturas y grifos de agua [7]. Generalmente el plomo suele acumularse en alimentos, agua, aire y suelo [8]. Sus efectos tóxicos en los humanos son devastadores; alterando la salud de los neonatos y niños [9] y [10], problemas cardiovasculares [11], saturnismo [12], anemia [13], disminución de la capacidad cognitiva [14], daño al sistema renal y nervioso [15, 16]. Además, se ha reportado que pudo haber sido una de las posibles causas del declive del Imperio Romano debido a su ingesta [17]. Por su alta toxicidad algunas agencias federales de Estados Unidos como la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), Agencia de Protección Ambiental (EPA), Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) y Comisión de Seguridad del Producto para el Consumidor (CPSP) han emitido estándares [18] para establecer valores estándar en diferentes fuentes (ver tabla 1). La dosis letal (LD_{50}) expresada en mg/kg reportados para Pb, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ y PbO es de 400, 2250 y 2000,

respectivamente [19], [20] y [21]. El plomo metálico es cinco veces más tóxico que el nitrato de plomo, es por eso que en este trabajo se propone una metodología sencilla y viable para la obtención de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. El objetivo principal de este trabajo es sintetizar $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ a partir de Pb residual, asimismo, analizar el material por difracción de rayos X (XRD), microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia de dispersión de energía (EDS).

Tabla 1. Valores estándares establecidos para el plomo por algunas organizaciones en los Estados Unidos de América.

Agencia	Fuente	Valor
OSHA [18]	Aire libre	30 a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
EPA [18]	Aire en habitación	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
CDC [18, 1]	Sangre	$5 \mu\text{g}/\text{dL}$
CPSP [18]	Pinturas	90 ppm
EPA [18, 22]	Piso residencial	400 ppm
EPA [18, 1]	Agua potable	$15 \mu\text{g}/\text{dL}$
FDA [18, 22]	Comida	$0.5 \mu\text{g}/\text{dL}$

2. Metodología

2.1 Síntesis del nitrato de plomo

El nitrato de plomo se obtuvo a partir de plomo residual y ácido nítrico 15.7 M (Aldrich 225711) en una proporción [1:4] de los reactivos, en ese orden. La mezcla de reactivos se añadió a un matraz Erlenmeyer con agitación magnética hasta que se disolvió



el plomo y precipitó un sólido blanco. El producto se secó a 110 ° C durante 1 h.

2.2 Caracterización del material

El patrón por XRD de los materiales se obtuvo en un difractómetro de rayos-X para polvos Phillips, modelo X'pert MPD, con una fuente de radiación de la línea CuK α de $\lambda = 0.15406$ nm. El voltaje y la corriente de operación a 40 kV y 40 mA. La muestra en polvo se dispersó en un soporte de SiO₂ insertado en el difractómetro manteniendo una posición fija, mientras que el detector y la fuente de rayos-X se movieron desde de 10° a 80°, con una velocidad de 0.03 °/s. La composición elemental y la estructura morfológica del material se analizó en un microscopio electrónico JEOL modelo JSM-5300. La muestra se montó en una cinta de carbón en un soporte de muestra cilíndrico de 10 mm de diámetro y 10 mm de altura. El soporte de la muestra y su contenido se introdujeron en la cámara de vacío donde se llevó a cabo el análisis.

Por otra parte, el tamaño promedio de cristal de los materiales sintetizados fue calculado usando la ecuación de Scherrer [23] y [24]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (1)$$

donde D es el tamaño promedio de cristal, λ es la longitud de onda de la línea Cu K α (1.5406 Å), β es el ancho medio de la intensidad máxima (FWHM) y θ es el ángulo de difracción de Bragg (en radianes). En la Tabla 2 se muestra el tamaño de cristal y el tamaño de partícula de los materiales sintetizados.

3. Resultados

3.1. Análisis por difracción de rayos-X

En la Fig. 1 se observa los patrones de difracción que corresponden al plomo residual utilizado como precursor y al nitrato de plomo sintetizado en este trabajo, así como sus respectivas referencias JCPDS No. 65-2873 y 36-1462 [25].

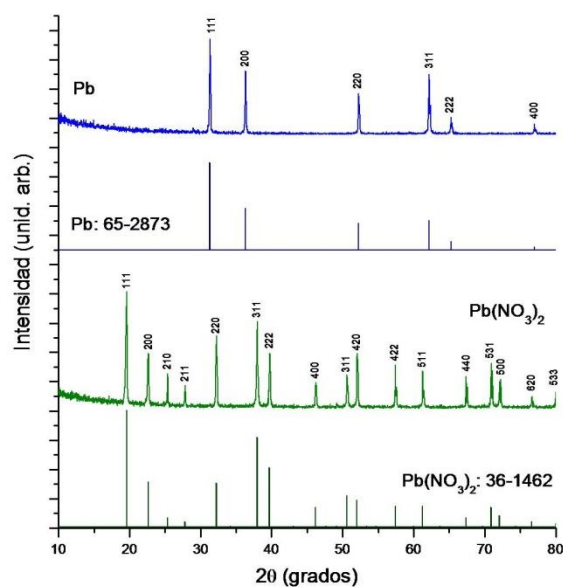
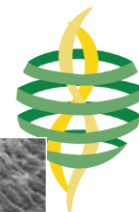


Figura 1. Patrones de XRD del plomo metálico usado como precursor en la síntesis y del nitrato de plomo sintetizado, ambos con sus tarjetas de referencia JCPDS No. 65-2873 y JCPDS No 36-1462 respectivamente.

Los picos localizados en los grados de 2θ a 31.33, 36.31, 52.24, 62.17, 65.33 y 76.98 son asignados a los planos (111), (200), (210), (211), (220), (311) y (222) de plomo por su semejanza con la referencia JCPDS No.65-2873 [25]. Por su parte, el patrón de difracción que corresponde al nitrato de plomo sintetizado presenta señales en 2θ a (19.56, 22.64, 25.35, 27.84, 32.23, 37.95, 39.79, 46.22, 50.61, 52.06, 57.44, 61.24, 67.35, 70.90, 72.28, 76.67 y 79.96)° que, por



su semejanza con la referencia JCPDS No.36-1462 [25], se pueden atribuir a los planos (111), (200), (210), (211), (220), (311), (222), (400), (311), (420), (422), (511), (440), (531), (500), (620) y (533) de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ cristalino. El tamaño de cristal de los materiales se calculó a partir de la señal en el plano (111) en los patrones por XRD, utilizando la ecuación de Scherrer [23] y [24].

Tabla 2. Tamaños de cristal (D) y de partícula (P) del Pb utilizado como precursor y nitrato de plomo sintetizado en la reacción. Donde T: temperatura de reacción, σ : desviación estándar, L: largo y W: ancho.

Fase	T °C	D nm	P (μm)	
			L ($\pm \sigma$)	W ($\pm \sigma$)
Pb	25	112.5	Superficie laminar	
$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	100	70.2	30 (2.8)	29 (3.4)

3.2. Micrografías por SEM

En las Fig. 2 y 3 se muestran las micrografías por SEM del material utilizado como precursor y del material sintetizado en la parte experimental. En la Fig. 2 se observa una superficie rugosa laminar que corresponde al plomo metálico que se utilizó para la síntesis química del nitrato de plomo. En la Fig. 3 se observan partículas semiesféricas con un tamaño promedio de $35 \mu\text{m}$ de largo \times $29 \mu\text{m}$ de ancho.

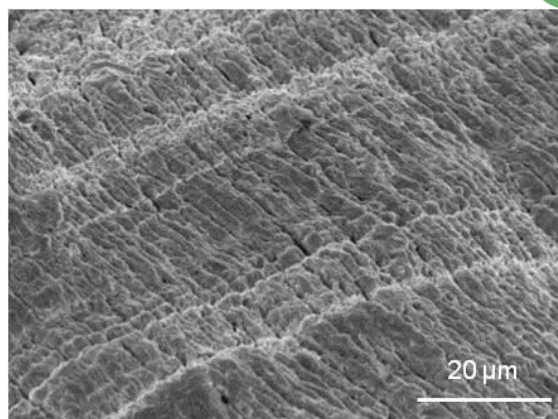


Figura 2. Micrografía por SEM de Pb metálico utilizado como precursor en la síntesis

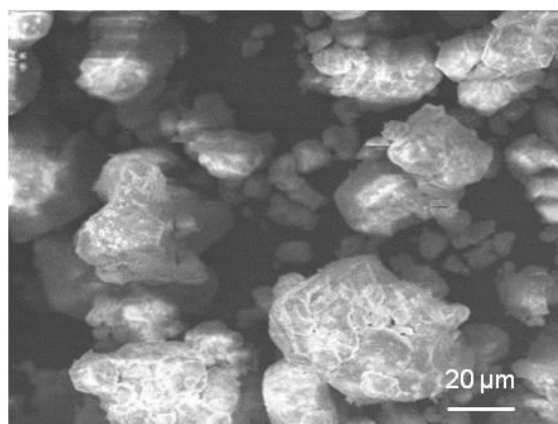


Figura 3. Micrografía por SEM del $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sintetizado a partir del plomo metálico.

3.3. Análisis por EDS

En la Fig.4 se presentan los espectros por EDS del plomo utilizado como precursor y de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ sintetizado. En el espectro que corresponde a Pb, únicamente se aprecian las señales reportadas [26] para las transiciones en la línea M de plomo (Pb); M_ξ a 1.85 keV y M_α a 2.37 keV. En el espectro de $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ además de observarse las señales correspondientes a Pb, también se observa la señal a 0.52 keV de la transición M_α del oxígeno (O).

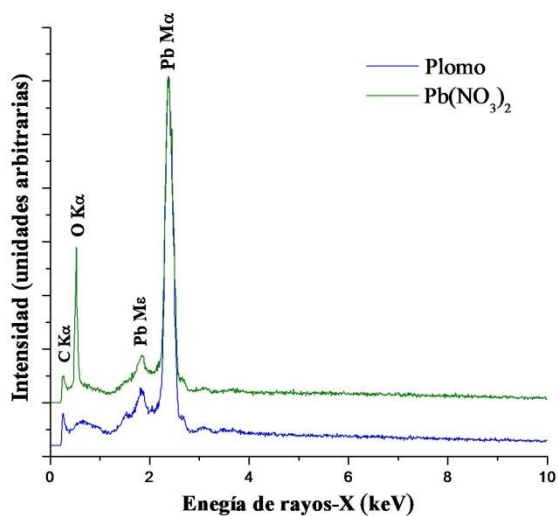


Figura 4. Espectros por EDS del plomo metálico utilizado como precursor y el nitrato de plomo sintetizado.

4. Conclusiones

Se confirmó por XRD la síntesis del nitrato de plomo utilizando plomo residual como material de partida. Este método se recomienda para la síntesis $PbNO_3$ porque es un proceso barato, fácil de realizar, producto de alta pureza y un rendimiento del 99 %.

Agradecimientos

Los autores agradecen al apoyo de beca de CONACYT al estudiante U.A.V.L., al programa de posgrado MYDCI y a la FCQI-UABC. Al proyecto 300/6/N/84/19. Estamos muy agradecidos con E. Aparicio e I. Gradilla, por su asistencia técnica.



Referencias

- [1] S. Tiwari, I. P. Tripathi, and H. L. Tiwari. "Effects of lead on Environment." International Journal of Emerging Research in Management & Technology vol. 2 no. 6, pp 1-5, 2013. <http://scholar.google.com/citations?user=oNsCI8QAAAAJ&hl=en>
- [2] D. Pavlov, Lead-Acid Batteries: Science and Technology, Great Britain, Elsevier, pp. 643, 2011. <https://www.elsevier.com/books/lead-acid-batteries-science-and-technology/pavlov/978-0-444-59552-2>
- [3] U.S. Geological Survey, Mineral commodity summaries 2016: U.S. Geological Survey, 2016. <https://www.usgs.gov/centers/nmic/mineral-commodity-summaries>
- [4] R. Zhang, V. L. Wilson, A. Hou and G. Meng, "Source of lead pollution, its influence on public health and the countermeasures", Int. J. of Health, Animal science and Food safety, vol. 2, no. 1, 18-31, 2015. <https://doi.org/10.13130/2283-3927/4785>
- [5] Q. Li, H. Cheng, T. Zhou, C. Lin and S. Guo, "The estimated atmospheric lead emissions in China, 1990-2009", Atmospheric Environment, vol. 60, pp. 1-8, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.025>
- [6] S. Lin, X. Wang, I. T. S Yu, W. Tang, J. Miao, J. Li, S. Wu and X. Lin, "Environmental Lead Pollution and Elevated Blood Lead Levels Among Children in a Rural Area of China", Am J Public Health, vol. 101 no. 5, pp. 834-841, 2011. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2010.193656>
- [7] J.-P. Lucas, B. L. Bot, P. Gloennec, A. Etchevers, P. Bretine, F. Douay, V. Sébille, L. Bellanger, C. Mandin, "Lead contamination in French children's homes and environment", Environmental Research, vol. 116, pp. 58-65, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2012.04.005>
- [8] S. Chao, J. LiQin and Z. WenJun. "A review on heavy metal contamination in the soil worldwide: Situation, impact and remediation techniques", Environmental Skeptics and Critics, vol. 3, no. 2, pp. 24-35, 2014. <http://www.iaees.org/publications/journals/environs/c/articles/2014-3%282%29/a-review-on-heavy-metal-contamination-in-the-soil-worldwide.pdf>
- [9] K. Neeti and T. Prakash, "Effects of heavy metal poisoning during pregnancy." Int Res J Environment Sci, vol. 2 no. 1, pp. 88-92, 2013. <https://www.karunaflame.com/karunaflame/wp-content/uploads/2016/11/Effects-of-Heavy-Metal-Poisoning-during-Pregnancy.pdf>
- [10] H. Dapul and D. Laraque, "Lead poisoning in children." Advances in pediatrics, vol 61, no. 1, pp. 313-333, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.yapd.2014.04.004>
- [11] M. P. Iqbal, "Lead pollution-a risk factor for cardiovascular disease in Asian developing countries." Pakistan journal of pharmaceutical sciences, vol. 25, no. 1, pp. 289-294, 2012. <https://pdfs.semanticscholar.org/bfbe/e3af44f7be9cee8941612a356d4fc9c1d7d6.pdf>
- [12] Wani, Ab Latif, Anjum Ara, and Jawed Ahmad Usmani. "Lead toxicity: a review." Interdisciplinary toxicology 8.2 (2015): 55-64 <https://doi.org/10.1515/intox-2015-0009>
- [13] A.A. Hegazy, M.M. Zaher, M.A. Abd El-Hafez, A.A. Morsy, R.A. Saleh, "Relation between anemia and blood levels of lead, copper, zinc and iron among children", BMC Res. Notes, vol. 3, pp. 133-141, 2010 <https://doi.org/10.1186/1756-0500-3-133>
- [14] A. Reuben, A. Caspi, D. W. Belsky, J. Broadbent, H. Harrington, K. Sugden and T. E. Moffitt, "Association of childhood blood lead levels with cognitive function and socioeconomic status at age 38 years and with IQ change and socioeconomic mobility between childhood and adulthood." Jama, vol. 317, no.12, pp. 1244-1251, 2017. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.1712>
- [15] N. H. Kim, Y. Y. Hyun, K. B. Lee, Y. Chang, S. Rhu, K Oh and C. Ahn. "Environmental heavy metal exposure and chronic kidney disease in the general population." Journal of Korean medical science, vol. 30, no. 3, pp. 272-277, 2015. <https://doi.org/10.3346/jkms.2015.30.3.272>



- [16] J. P. Harp, and D. Y. Han. "Pb neurotoxicity: neuropsychological effects of lead toxicity." *BioMed research international*, vol. 2014, pp. 1-8, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/840547>
- [17] H. Delile, J. Blichert-Toft, J. P. Goiran, S. Keay and F. Albarède, "Lead in ancient Rome's city waters." *Proceedings of the National Academy of Sciences* vol. 111, no. 18, pp. 6594-6599, 2014. <https://doi.org/10.1073/pnas.1400097111>
- [18] O. Tarragó, M. J. Brown. "Case Studies in Environmental Medicine: Lead Toxicity". Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Course: WB2832. CE Original Date: June 12, (2017). CE Expiration Date: June 2019. pp. 185, 2017. https://www.atsdr.cdc.gov/csem/lead/docs/CSEM-Lead_toxicity_508.pdf
- [19] O. C. Eneh, P. A. Akah. "Acute toxicity assessment of crude lead-extract from electronic waste materials in Nigeria" *Afr. J. Biotechnol.*, vol. 11, no. 88, pp. 15430-15437, 2012. <https://doi.org/10.5897/AJB12.2476>
- [20] F. K. Apaydin, S. Kalender, H. Bas, F. Demir and Y. Kalender, "Lead Nitrate Induced Testicular Toxicity in Diabetic and Non-Diabetic Rats: Protective Role of Sodium Selenite", *Yusuf. Braz. Arch. Biol. Technol.*, vol. 58, no. 1, pp. 68-74, 2015. <https://doi.org/10.1590/S1516-8913201400025>
- [21] Oxido de plomo, Efectos sobre la salud humana. Red de datos toxicológicos de la Biblioteca Nacional de Medicina de EE. UU., sitio: <https://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search2/r?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+638> consultada en junio de 2019.
- [22] Y. Oulhote, A. Le Tertre, A. Etchevers, B. Le Bot, J. P. Lucas, C. Mandin and P. Gloennec, "Implications of different residential lead standards on children's blood lead levels in France: predictions based on a national cross-sectional survey." *International journal of hygiene and environmental health*, vol. 216, no. 6, pp. 743-750, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2013.02.007>
- [23] P. Scherrer. "Bestimmung der Grosse und der Inneren Struktur von Kolloidteilchen Mittels Rontgenstrahlen, Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften, Gottingen", *Mathematisch-Physikalische Klasse*, vol. 2, pp. 98-100, 1918. [https://www.scirp.org/\(S\(i43dyn45teexjx455qlt3d2q\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1547275](https://www.scirp.org/(S(i43dyn45teexjx455qlt3d2q))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1547275)
- [24] A. L. Patterson, "The Scherrer Formula for X-Ray Particle Size Determination", *Physical Review*, vol. 56, pp. 978-982, 1939. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.56.978>
- [25] Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS®)-International Centre for Diffraction Data (ICDD®). Powder Diffraction File TM No.: 65-2873 (Pb), 36-1462 (Pb(NO₃)₂), 05-0561 (α-PbO), 88-1589 (β-PbO) and 19-0697 (Pb₁₂O₁₉). Newtown Square, PA, USA. (2018). <https://www.icdd.com/pdfsearch/>
- [26] G. Zschornack, *Handbook of X-Ray Data*, Springer Berlin Heidelberg New York, pp. 969, 2007. https://www.springer.com/productFlyer_978-3-540-28618-9.pdf?SGWID=0-0-1297-72038922-0



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para Compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y Adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)