

Articulation of synthesis methods and approach for nanosized materials: a literature review

Alexander Vega Anticona, Dr¹, Iván Vásquez Alfaro, Ing¹, Luis Alvarado Loyola, MSc², Danny Chávez Novoa, MSc¹

¹Departamento de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, avega@unitru.edu.pe;

ivasquez@unitru.edu.pe; dchavez@unitru.edu.pe

²Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, lalvarado@unitru.edu.pe

*corresponding author:

dchavez@unitru.edu.pe Phone 044 416167

Abstract– The technology of nanomaterials has reached the most majority of metals and non-metals, developing a wide variety of synthesis methods for its formation, reaching sizes and morphologies that have an impact on its extraordinary properties. The scientific literature includes a wide variety of information regarding synthesis methods and techniques for inorganic and organic materials. But there is little information where the classification of these methods is incorporated in an articulated way according to the synthesis approach and the nature of the method associated with the dimensionality of the nanostructure formed. In this work, scientific publications referring to the synthesis of nanostructured materials from the bottom-up and top-down approaches and from the nature of the chemical-physical-biological synthesis method were reviewed. The purpose of this review was to find out if there is a link between the approach and the nature of the method with the dimensionality of the nanostructuring of various materials. Information sources from ScienceDirect, PubMed, Scielo and Google Scholar were used. For the inclusion and exclusion criteria, original articles published between 2016 and 2021 in the specific area of nanotechnology applied to materials science were considered. From the analyzed literature it is verified that there is no structural morphology and its corresponding dimensionality that are exclusive to the synthesis method or approach.

Keywords: nanomaterials, top-down, bottom-up, morphology, nanostructured materials.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.480>

ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

Articulación de métodos y enfoque de síntesis para materiales nanodimensionados: Una revisión de literatura

Alexander Vega Anticona, Dr¹, Iván Vásquez Alfaro, Ing¹, Luis Alvarado Loyola, MSc², Danny Chávez Novoa, MSc¹

¹Departamento de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, avega@unitru.edu.pe; ivasquez@unitru.edu.pe; dchavez@unitru.edu.pe

²Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, lalvarado@unitru.edu.pe

*corresponding author:

dchavez@unitru.edu.pe Phone 044 416167

Resumen: La tecnología de los nanomateriales ha tenido alcance sobre la gran mayoría de metales y no metales, y con ello se han desarrollado una gran variedad de métodos de síntesis para su formación, alcanzando tamaños y morfologías que repercuten en sus extraordinarias propiedades. La literatura científica incluye una amplia variedad de información referida a los métodos y técnicas de síntesis para materiales inorgánicos y orgánicos, pero existe poca información donde se incorpore de manera articulada la clasificación de estos métodos según el enfoque de síntesis y la naturaleza del método asociadas con la dimensionalidad de la nanoestructura formada. En este trabajo se revisó publicaciones científicas referidas a la síntesis de materiales nanoestructurados desde los enfoques *bottom-up* y *top-down* y desde la naturaleza del método de síntesis químico-físico-biológico. El propósito de esta revisión fue buscar si existe enlazamiento del enfoque y la naturaleza del método con la dimensionalidad de la nanoestructuración de diversos materiales. Se utilizó fuentes de información de ScienceDirect, PubMed, Scielo y Google Académico. Para los criterios de inclusión y exclusión, se considerarán artículos originales publicadas entre el año 2016 y 2021 en el área específica de nanotecnología aplicada a la ciencia de materiales. De la literatura analizada se comprueba que no existe ninguna morfología estructural y su correspondiente dimensionalidad que sean exclusividad del enfoque ni de la naturaleza del método de síntesis.

Palabras clave: nanomateriales, *top-down*, *bottom-up*, morfología, materiales nanoestructurados.

I. INTRODUCCION

La nanotecnología permite desarrollar materiales nanoestructurados (MNs) con inigualables propiedades físicoquímicas en una amplia variedad de materiales inorgánicos y orgánicos permitiendo con ello obtener variedades de morfologías y tamaños nanométricos que son estables. Esto permite mejorar y optimizar las propiedades físicas, químicas, mecánicas, etc., de los materiales y sistemas para abrir un amplio abanico de posibilidades de aplicación en áreas de la biomedicina, química, industria electrónica, innovación y desarrollo de materiales, energía, ingeniería

ambiental, industrias alimentarias, etc. [1,2].

Estos MNs se pueden presentar como nanopartículas, nanoclúster y puntos cuánticos en la dimensión cero (0D), como nanovarillas y nanotubos en forma unidimensional (1D); como nanopelículas delgadas en forma bidimensional (2D), y como nanomateriales jerarquizados en forma tridimensional (3D) [3]. Además, los enfoques *top-down* y *bottom-up* son utilizados como enfoque y estrategia de síntesis destructiva en forma descendente a partir de la fragmentación de macropartículas y constructiva en forma ascendente desde átomos o moléculas, respectivamente, para obtener diferentes sistemas de MNs metálicos y no metálicos, etc. [4-13]. Desde otra perspectiva, la formación de MNs se puede obtener de acuerdo con la naturaleza del medio que impone el método en que se someten las partículas. En ese sentido se puede conseguir MNs, cuando las sustancias precursoras son sometidas a procedimientos o métodos químicos como las técnicas sol gel [14], microemulsión [15], precipitación química [16]. También, se puede obtener a partir de métodos físicos como las técnicas *sputtering* [17], plasma con descarga de arco [18], descomposición térmica [19], microondas [20], ultrasonido [21], etc. Finalmente, también es posible la formación de MNs siguiendo métodos verdes de origen biológico usando plantas, bacterias, hongos, microorganismos, etc., [22-26].

En este sentido, este trabajo de revisión de literatura tuvo como objetivo analizar diferentes publicaciones científicas de técnicas para la síntesis de MNs según los enfoques *bottom-up* y *top-down* articulándolo con la naturaleza del método químico, físico o biológico y buscar si existe vinculación con la dimensionalidad obtenida en la nanoestructuración de diversos materiales. En búsqueda de ello, se pretende responder a la pregunta: ¿La dimensionalidad en los MNs es exclusividad de alguna técnica de síntesis particular según el enfoque o la naturaleza del método?

II. METODOLOGÍA

Se realizó cuatro etapas del proceso de revisión de los artículos científicos, tal como se muestra en la Tabla I.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.480>

ISBN: 978-628-95207-0-5 ISSN: 2414-6390

Se usaron fuentes de información incorporadas en *ScienceDirect*, *PubMed*, *Scielo* y *Google Académico*.

Se excluyeron documentos científicos que no se encontraban indexados, que tengan un formato de revisión bibliográfica y que no abordaban el objetivo de la revisión.

El estudio siguió el modelo de la declaración PRISMA [27].

En total se identificaron 9273 publicaciones científicas. Luego de aplicar criterios de inclusión - exclusión, eliminando duplicados y considerando exclusivamente aquellas publicaciones relacionadas a la síntesis de nanomateriales según el enfoque *top-down* y *bottom-up*, y según la naturaleza química, física y biológica del método para producir nanoestructuración cero, uni, bi y tri dimensional se obtuvo un total de 211 documentos publicados relevantes para el estudio, tal como se muestra en la Fig. 1.

TABLA I
ETAPAS DE BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN CIENTÍFICA

Etapa	Descripción
1. Identificación de términos de búsqueda	Uso de palabras clave y operadores booleanos a ser utilizados.
2. Discriminación de fuentes de información	Separación de fuentes de información; para esto se emplearon <i>ScienceDirect</i> , <i>PubMed</i> , <i>Scielo</i> y <i>Google Académico</i> .
3. Selección de artículos publicados relevantes.	Los artículos publicados cumplen con criterios de inclusión y exclusión establecidos en el estudio.
4. Análisis de la información científica	Contribuye a la recopilación y síntesis de los resultados de la investigación.

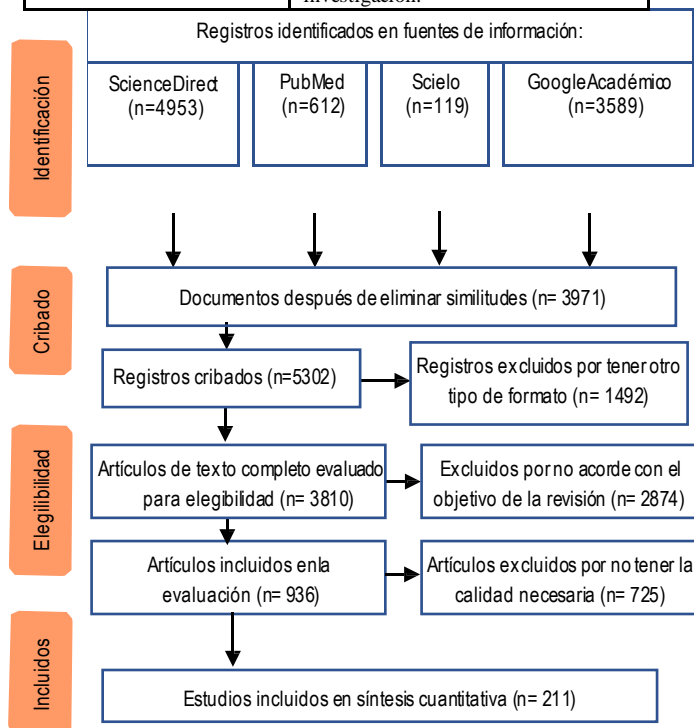


Fig. 1 Diagrama de flujo según la metodología PRISMA.

Se realizó una estrategia de búsqueda para cada fuente de información, con palabras afines, de esta forma se consiguió una gran cantidad de documentos relacionados al objetivo propuesto.

ScienceDirect

(Synthesis) AND (bottomup OR top down)

PubMed

(nanopartículas OR nanoparticles) AND (síntesis OR synthesis OR síntese)

Scielo

(nanomateriales OR nanoparticulas OR nanoestructuras OR nanomaterials OR nanoparticles) AND (síntesis OR synthesis)

Google Académico

(síntesis OR synthesis OR síntese) AND (nanomaterials OR nanomaterials)

III. RESULTADOS

En la Fig. 2 se muestra las fuentes de información usadas de donde se extrajeron los artículos analizados en el presente trabajo. Como se puede observar la mayor cantidad de artículos analizados son aquellos que se encuentran incorporados en el sitio web *ScienceDirect* correspondiendo con un 42%.

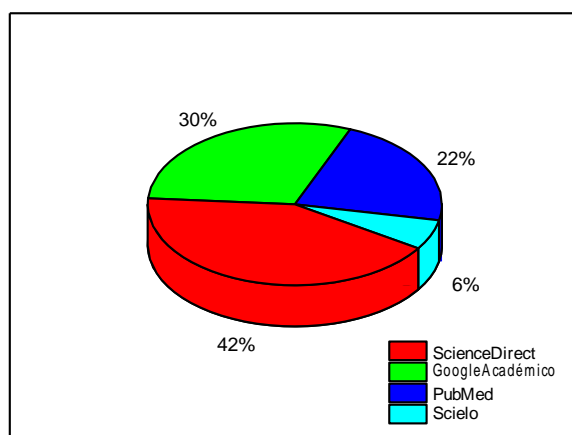


Fig. 2 Distribución de artículos analizados según base de datos consultada.

En la Fig. 3 se aprecia la distribución de las publicaciones según la naturaleza del método de síntesis de MNs. Se puede notar que la mayor cantidad de información analizada corresponde a métodos de síntesis química. Algunos investigadores han posicionado al método de síntesis mecánica dentro de métodos físicos, haciendo que los métodos de naturaleza física-mecánica sean lo que se usan principalmente en la síntesis de los MNs.

En la Fig. 4 se muestran las técnicas específicas de síntesis empleadas en los artículos estudiados. Como se puede observar, el ultrasonido (13%) y el sol gel (10%) son las técnicas, correspondientes a un método físico y químico respectivamente, que más se usan para la síntesis de MNs. Existen otras técnicas como las de evaporación-condensación, exfoliación y litografía que evidenciaron ser las de menor uso por los investigadores. Adicionalmente, se está considerando en la opción “otros” a técnicas como *sputtering*, electrohilado, solvotérmico, etc., que muy poco se emplean y de los cuales se encontraron apenas 1 artículo. En las últimas décadas se ha incrementado el empleo de técnicas de síntesis verdes principalmente las que usan plantas y/o extractos como síntesis biológicas. Todas estas técnicas han demostrado ser satisfactorias para conseguir nanoestructurar a diversos tipos de materiales y con ello han conseguido mejorar sus propiedades físico-químicas [28-34]. Es importante señalar que algunos artículos analizados reportan la síntesis de MNs empleando combinación de métodos y técnicas como reducción química – ultrasonido [35], sol gel – hidrotermal [36], descomposición térmica – ultrasonido [37], precipitación química - sol gel [14], microondas – hidrotermal [20], ablación láser – plasma [38], etc., que les permiten optimizar los procedimientos y con ello conseguir morfologías más controladas y con propiedades más satisfactorias en los MNs [39-43]. Estas combinaciones de técnicas no solo permite combinar naturaleza del método, sino también estrategias de síntesis. Por ejemplo reducción química (método químico y enfoque bottom-up) combinado con ultrasonido (método físico y enfoque top-down) [35, 44, 45].

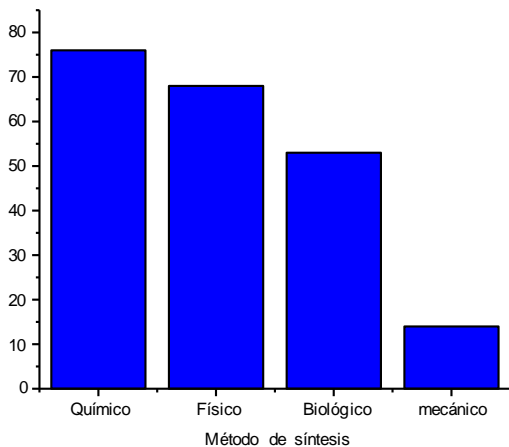


Fig. 3 Distribución de publicaciones según el método de síntesis empleado.

La literatura científica reporta principalmente dos enfoques de síntesis que son el enfoque *bottom-up* y el *top-down* [46, 47]. El primero de ellos fue diseñado para métodos de síntesis de naturaleza química, sin embargo, hay publicaciones de métodos de síntesis de naturaleza física como la litografía cuyo mecanismo se da según el enfoque *bottom-*

up. En la misma perspectiva, la estrategia de síntesis *top-down* fue propuesto para métodos físicos, no obstante, se reporta artículos de investigación que sintetizan MNs a partir de síntesis química como la hidrólisis trabajando bajo el enfoque *top-down*. En los últimos años se ha incrementado las publicaciones científicas acerca de síntesis de MNs mediante métodos biológicos que usan reductores a base de plantas y extractos de plantas, hongos y bacterias desarrollando principalmente la estrategia *bottom-up* para la síntesis de nanopartículas [48-52]. La Fig. 5 muestra algunas técnicas agrupadas según la estrategia de síntesis.

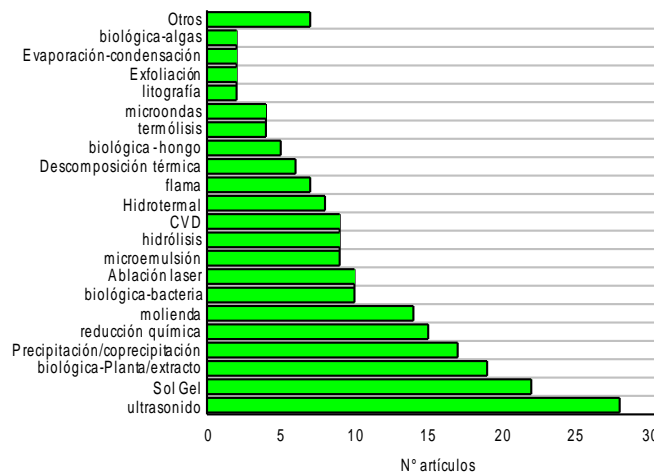


Fig. 4 Distribución de las técnicas usadas para formar los MNs.

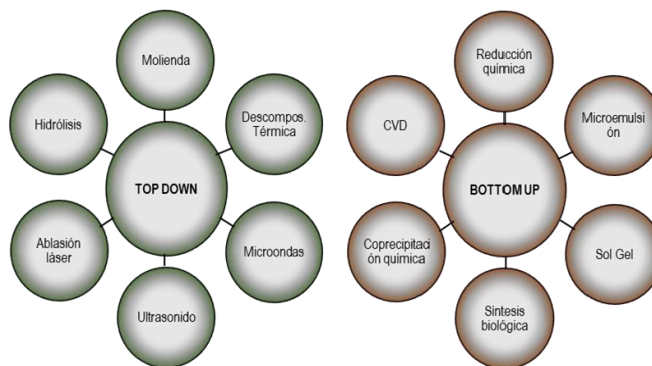


Fig. 5 Técnicas de síntesis de MNs según los enfoques *top-down* y *bottom-up*.

Los datos obtenidos de las publicaciones permiten registrar las principales morfologías y su dimensionalidad de acuerdo a la naturaleza del método de síntesis química, física y biológica, la misma que se muestra resumida en la Tabla II. Tal como se puede observar, una gran variedad de morfologías nanoestructuradas de materiales diversos son posible sintetizar por medio de diferentes técnicas. Según los artículos revisados, la plata y el oro son los más sintetizados como MNs

siguiendo rutas químicas, físicas y biológicas. Por otro lado, los diferentes métodos de naturaleza física, química y biológica permiten conseguir una variedad de morfologías, siendo las más habituales encontrar morfologías de nanopartículas en forma de nanoesferas y nanovarillas, siendo las primeras la más sintetizada.

TABLA II
MORFOLOGÍA Y MÉTODOS EMPLEADOS EN LOS MNS

Material	Morfología	Referencia
MÉTODO QUÍMICO		
Au	Nanovarilla/Nanoesfera	[53-58]
Ag	Nanocapas/ Nanoesfera	[59-61]
Cu	Nanoesfera	[62-64]
Pd	Nanoesfera	[65-70]
Ni	Nanoesfera	[71-73]
ZnO	Nanoesfera/Nanovarilla	[74-79]
Fe ₃ O ₄ , Fe ₂ O ₃ ,	Nanoesfera	[80-87]
FeO	Nanooctaedro	
ZnS	Nanoesfera	[88-91]
FeS	Nanoesfera	[92, 93]
ZnSe	Nanoesfera	[94, 95]
Co ₃ O ₄	Nanoesfera	[96]
VO ₂	Nanovarilla	[97]
ZnSb ₂ O ₆	Nanovarilla	[35]
Celulosa	Nanovarilla	[98-103]
C	Nanotubo/nanofibra	[104-106]
MÉTODO FÍSICO		
Ag	Nanoesfera	[107, 108]
Cr	Nanoesfera	[109]
ZnO	Nanovarilla	[110-112]
TiO ₂	Nanoesfera	[113]
GaAs	Nanoesfera	[114]
CuO	Nanoesfera	[37, 115]
CuCo ₂ O ₄ /CuO	Nanoporosos (hollow)	
Eu ₂ O ₃	Nanodots	[116]
Er ₂ O ₃	Nanoesfera	[117]
BaSiF ₆	Nanovarilla	[118]
CoFe ₂ O ₄	Nanovarilla	[119]
ZnFe ₂ O ₄	Nanocubo	[120, 121]
Zn _{0.35} Fe _{2.65} O ₄	Nanoesfera	[122]
Hidroxiapatita	Nanoesfera/nanovarilla	[123]
Almidón	Nanoovoide	[124]
MÉTODO BIOLÓGICO		
Ag	Nanoesfera	[125-127]
Au	Nanoesfera	[128, 129]
Cu	Nanoglobular/Nanoesfera	[130]
Se	Nanoesfera	[131, 132]
Te	Nanovarilla-Nanoesfera	[133]
S	Nanoesfera	[134]
Al ₂ O ₃	Nanoesfera	[134]
NiO	Nanoesfera	[135, 136]
Fe ₂ O ₃	Nanoesfera/Nanocubos	[137-139]
CuO	Nanoesfera	[140, 141]
ZnO	Nanoesfera/nanoolambres	[142, 143]
ZrO ₂	Nanoesfera	[144]
RuO ₂	Nanoesfera	[145]

Se debe resaltar que una cierta morfología no corresponde exclusivamente a una dimensionalidad en particular, sino que el tamaño de MNS puede hacer establecer la dimensionalidad correspondiente. Existen morfologías que según la identificación que le dan algunos autores pueden estar mejores referidas dentro de una dimensionalidad específica. Por ejemplo, muchos estudios consideran a la morfología

nanoesférica como 0D, sin embargo, si esta morfología corresponde a nanopartículas mayores a 100 nm, no tendría que considerarse como nanoestructura 0D, más bien tendría que considerarse una dimensionalidad 3D, pudiendo ser incluso una estructura jerarquizada o nanobloque [146, 147]. Esto quiere decir quien define la dimensionalidad no solo es la morfología de los MNS, sino también las dimensiones que tiene esta nanoestructuración. En la Fig. 6 se muestran representaciones de morfologías de MNS encontradas en los artículos analizados.

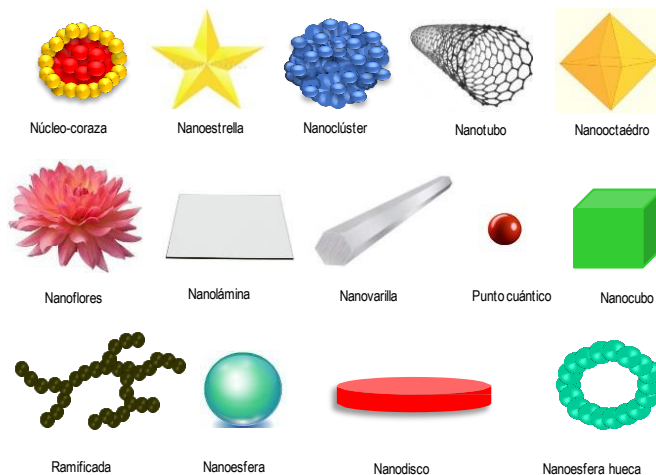


Fig. 6 Morfologías identificadas en MNS.

Las publicaciones evidencian que varias de las técnicas que recaen como método físico pueden nanoestructurar a un mismo material haciendo que desarrolle morfologías que corresponden a dimensionalidades 0D, 1D, 2D y 3D. Los parámetros de síntesis, propio de una determinada técnica de síntesis, son factores esenciales para que los MNS presenten ciertas morfologías y con ello recaiga en una cierta dimensionalidad [13, 44, 47]. En relación con las técnicas empleadas como método químico, son las condiciones de la síntesis las que afectan la nucleación y el crecimiento de las nanoestructuras y con ello su morfología. Estas morfologías pueden encontrarse dentro de una u otra dimensionalidad. Cuando se dan modificaciones en las condiciones de síntesis, como la temperatura, el medio, la concentración de las sustancias químicas, etc., los MNS pueden cambiar de morfología correspondiente a una misma dimensionalidad, así como mudar de una morfología de una dimensionalidad a una morfología de otra dimensionalidad. Finalmente, en cuanto a la síntesis biológica, se puede decir que también es posible producir morfologías variadas, aunque se resalta la morfología esférica como la principal nanoestructuración cuando se emplea plantas o sus extractos, bacterias, hongos y otros microorganismos. Aún con todo esto, es importante resaltar también que las condiciones de la síntesis biológica como el pH, el medio, el agente reductor, la incubación de los microorganismos, etc., son factores cruciales para el tamaño,

la distribución y posiblemente la morfología de las nanopartículas.

Los estudios también evidencian que la formación de nanopartículas puede vincular a más de una técnica de síntesis, dentro de un mismo método o diferentes métodos (físico, químico o biológico) conduciendo consigo a la obtención de morfologías deseadas, las mismas que podrían resultar muy difíciles de desarrollar cuando se empleen de manera independiente algunas técnicas de síntesis.

Según lo observado, se considera que una determinada morfología y dimensionalidad no es exclusivo de la técnica, ni del método (físico/químico/biológico), ni tampoco de la estrategia de síntesis, *bottom-up/top-down*, sino más bien de las condiciones y parámetros en la que se desarrolla la síntesis de los MNs. Esto quiere decir que un material se puede nanoestructurar en una diversidad de morfologías y dimensionalidades, desde 0D hasta 3D si se manipula y controla adecuadamente las condiciones y los parámetros de síntesis. Esto podría representar en algunos casos una labor muy complicada de conseguir teniendo en cuenta los múltiples factores relacionado a la nanoestructuración.

IV. CONCLUSIONES

Para este estudio se usó la declaración del modelo PRISMA para la recopilación y análisis de los artículos. Se encontró diversos artículos de investigación científica referente a la síntesis de materiales nanoestructurados en base a métodos químicos, físicos y biológicos, de acuerdo con los enfoques de síntesis *top-down* y *bottom-up*.

Los métodos de síntesis existentes para producir MNs generan morfologías que pueden corresponder a una determinada dimensionalidad. Un mismo material se puede nanoestructurar en más de una morfología pudiendo abarcar desde la cero-dimensionalidad hasta la tridimensionalidad en función al control de los parámetros de síntesis.

No hay ninguna morfología estructural y con ella su dimensionalidad que sea estrictamente exclusivo de las estrategias *bottom-up* y *top-down* o de la técnica utilizada en los métodos físico, químico y biológico. Es posible que una determinada nanoestructuración se desarrolle tanto con el enfoque *bottom-up*, así como el *top-down* y con métodos físico, químico y biológico siempre y cuando se permita el control adecuado de los parámetros de síntesis. El control de estos parámetros es función de la técnica empleada y de la naturaleza propia de la síntesis, por ello es por lo que hay morfologías tanto más difíciles o tanto más fáciles de conseguir.

Una determinada morfología no es estrictamente exclusiva de una dimensionalidad en particular. El tamaño de la nanoestructuración debe ser complementada con la morfología para definir la dimensionalidad de los MNs.

El desarrollo de esta revisión contribuye a la comunidad académica al tener una visión general sobre la nanoestructuración en base a su dimensionalidad conseguida por los métodos y enfoques de síntesis existentes.

- [1] A. Gupta, B. Eral, A. Hattona y P. S. Doyle, «Nanoemulsions: formation, properties and applications,» *Soft Matter*, vol. 12, pp. 2826--2841, 2016.
- [2] T. Singh, S. Shukl, P. Kumar, V. Wahla, V. K. Bajpai y I. A. Rather, «Application of Nanotechnology in Food Science: Perception and Overview,» *Frontiers in Microbiology*, vol. 8, pp. 1-7, 2017.
- [3] K. Pathakoti, M. Manubolu y H.-M. Hwang, «Nanostructures: Current uses and future applications in food science,» *Journal of food and drug analysis*, pp. 1-9, 2017.
- [4] X. Jia, W. Khan, Z. Wu, J. Choi y A. C. Yip, «Modern synthesis strategies for hierarchical zeolites: Bottom-up versus top-down strategies,» *Advanced Powder Technology*, n° 30, pp. 467-484, 2019.
- [5] L. Yang, D. Chu, L. Wang, G. Ge y H. Sun, «Facile synthesis of porous flower-like SrCO₃ nanostructures by integrating bottom-up and top-down routes,» *Materials Letters*, vol. 167, pp. 4-8, 2016.
- [6] H. Jia, P. Gao, H. Ma, D. Wu, B. Du y Q. Wei, «Preparation of Au-Pt nanostructures by combining top-down with bottom-up strategies and application in label-free electrochemical immunosensor for detection of NMP22,» *Bioelectrochemistry*, vol. 101, pp. 22-27, 2016.
- [7] G. P. Papageorgiou, A. G. Karydas, G. Papageorgiou, V. Kantarelou y E. Makarona, «Controlled synthesis of periodic arrays of ZnO nanostructures combining e-beam lithography and solution-based processes leveraged by micro X-ray fluorescence spectroscopy,» *Micro and Nano Engineering*, vol. 8, pp. 1-9, 2020.
- [8] R. Armstrong, P.-M. Coulon, P. Bozinakis, R. W. Martin y P. A. Shields, «Creation of regular arrays of faceted AlN nanostructures via a combined top-down, bottom-up approach,» *Journal of Crystal Growth*, vol. 548, pp. 1-10, 2020.
- [9] T.-J. Wang, Y.-T. Huang, Z.-Y. Liu y N. R. Barveen, «Photochemical synthesis of ZnO/Ag heterogeneous nanostructure on chemically patterned ferroelectric crystals for high performance SERS detection,» *Journal of Alloys and Compounds*, pp. 1-43, 2020.
- [10] N. N. Skvortsova, O. N. Shishilov, N. Akhmadulina, E. M. Konchekov, A. A. Letunov, D. V. Malakhov, E. Obratsova y V. D. Stepakhin, «Synthesis of micro- and nanostructured materials via oscillating reactions initiated by high-power microwave pulses,» *Ceramics International*, pp. 1-24, 2020.
- [11] B. Nidetzky y C. Zhong, «Phosphorylase-catalyzed bottom-up synthesis of short-chain soluble cello- oligosaccharides and property-tunable cellulosic materials,» *Biotechnology Advances*, pp. 1-22, 2020.
- [12] T. Han, E. Liu, J. Li, N. Zhao y C. He, «A bottom-up strategy to ward metal nano-particles modified graphene nanoplates for fabricating aluminum matrix composites and interface study,» *Journal of Materials Science & Technology*, vol. 46, pp. 21-32, 2020.
- [13] J. Lee, S. Noh, N. D. Pham y J. H. Shim, «Top-down synthesis of S-doped graphene nanosheets by electrochemical exfoliation of graphite: Metal-free bifunctional catalysts for oxygen reduction and evolution reactions,» *Electrochimica Acta*, vol. 313, pp. 1-9, 2019.
- [14] M. C. Uribe-López, M. C. Hidalgo-López, R. López-González, D. M. Frías-Márquez, G. Núñez-Nogueira, D. Hernández-Castillo y M. A. Alvarez-Lemus, «Photocatalytic activity of ZnO nanoparticles and the role of the synthesis method on their physical and chemical properties,» *Journal of Photochemistry & Photobiology. A: Chemistry*, vol. 404, pp. 1-10, 2021.
- [15] B. Ahmad, R. Raissat, S. Mumtaz, Z. Ahmad, I. Sadiq, M. N. Ashiq y M. Najam-ul-Haq, «Multi-ferroic BiMn_{1-x}Al_xO₃ nanoparticles: Synthesis, characterization and evaluation of various structural, physical, electrical and dielectric parameters,» *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 433, n° 1, pp. 71-75, 2017.
- [16] Y. Ramos-Reynoso, A. Martínez-Ayala, M. Pal, F. Paraguay-Delgado y N. R. Mathews, «Bi₂S₃ nanoparticles by facile chemical synthesis: Role of pH on growth and physical properties,» *Advanced Powder Technology*, vol. 29, n° 12, pp. 3561-3568, 2018.
- [17] I. Y. Cha, H. T. Kim, M. Ahn, J. H. Jang, Y. G. Kim, Y.-E. Sung y S. J. Yoo, «Synthesis and growth mechanism of carbon-supported nanoparticle catalysts by physical vapor deposition onto a liquid medium substrate,» *Applied Surface Science*, vol. 471, n° 31, pp. 1083-1087, 2019.

- [18] Y. Xu, B. Yao, E. Wang, Y. Guo, Y. Fao y Q. Cui, «Synthesis and physical property of GaN:Mn nanoparticles,» *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, vol. 126, pp. 1-5, 2021.
- [19] M. B. Mensah, J. A. Awudza, N. Revaprasadu y P. O'Brien, «Synthesis of CdS and PbS nanoparticles by the thermal decomposition of ethyl xanthate complexes in castor oil using the heat-up technique,» *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 122, pp. 1-10, 2021.
- [20] S. A. Abd El Aal, A. M. Abdelhady, N. A. Mansour, N. M. Hassan, F. Elbaz y E. Elmaghraby, «Physical and chemical characteristics of hematite nanoparticles prepared using microwave-assisted synthesis and its application as adsorbent for Cu, Ni, Co, Cd and Pb from aqueous solution,» *Materials Chemistry and Physics*, vol. 235, pp. 1-13, 2019.
- [21] R. Singh Yadav, I. Kuritka, J. Vilcakova, T. Jamatia, M. Machovsky, D. Skoda, P. Urbánek, M. Masar, M. Urbánek, L. Kalina y J. Havlica, «Impact of sonochemical synthesis condition on the structural and physical properties of MnFe₂O₄ spinel ferrite nanoparticles,» *Ultrasonics - Sonochemistry*, pp. 1-15, 2020.
- [22] P. Kumari y A. Meena, «Green synthesis of gold nanoparticles from Lawsonia inermis and its catalytic activities following the Langmuir-Hinshelwood mechanism,» *Colloids and Surfaces A*, vol. 606, pp. 1-11, 2020.
- [23] M. Zarei, N. Seyedi, S. Maghsoudi, M. Shahabi y H. Sheibani, «Green synthesis of Ag nanoparticles on the modified graphene oxide using Capparis spinosa fruit extract for catalytic reduction of organic dyes,» *Inorganic Chemistry Communications*, pp. 1-28, 2020.
- [24] P. Clarence, B. Luvankar, J. Sales, A. Khusro, P. Agastian, J.-C. Tack, M. M. Al Khulaifi, H. A. Al-Shwaiman, A. Elgorban, A. Syed y J.-H. Kim, «Green synthesis and characterization of gold nanoparticles using endophytic fungi *Fusarium solani* and its in-vitro anticancer and biomedical applications,» *Saudi Journal of Biological Sciences*, vol. 27, pp. 706-712, 2020.
- [25] G. Tailor, B. L. Yadav, J. Chaudhary, M. Joshi y C. Sulvalka, «Green synthesis of silver nanoparticles using *Ocimum canum* and their antibacterial activity,» *Biochemistry and Biophysics Reports*, vol. 24, pp. 1-5, 2020.
- [26] R. Merugu, R. Goyalwal, P. K. Deshpande, S. De Mandal, G. Padala y K. L. Chitturi, «Synthesis of Ag/Cu and Cu/Zn bimetallic nanoparticles using toddy palm: Investigations of their antitumor, antioxidant and antibacterial activities,» *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-7, 2020.
- [27] G. Urrútia, X. Bonfill. Prisma declaration: a proposal to improve the publication of systematic reviews and meta-analyses. *Med Clin (Barc)*. 135(11):507-511. 2010.
- [28] M. S. Aguilar, R. Esparza y G. Rosas, «Synthesis of Cu nanoparticles by chemical reduction method,» *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, n° 29, pp. 1510-1515, 2019.
- [29] S. Ahmed y H. Imam, «Characterization and photocatalytic activity of Eu:ZnO & Au/Eu:ZnO nanoparticles prepared by laser ablation in water,» *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 115, pp. 1-10, 2020.
- [30] R. Al-Bahrani, J. Raman, H. Lakshmanan, A. Hassan y V. Sabaratnam, «Green synthesis of silver nanoparticles using tree oyster mushroom *Pleurotus ostreatus* and its inhibitory activity against pathogenic bacteria,» *Materials letters*, pp. 1-17, 2016.
- [31] M. Whinton y M. Brook, «Nanodomains within bicontinuous silicone/water microemulsions retard TiO₂ nanoparticle aggregation,» *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, pp. 1-23, 2016.
- [32] T. Wang, C. Zhou, Z. Zhang, M. Liao y C. Sun, «The impacts of operating pressure on the structural and magnetic properties of HfCo₇ nanoparticles synthesized by inert gas condensation,» *Chemical Physics Letters*, vol. 721, pp. 18-21, 2019.
- [33] S. Tanimoghdam y A. Salabat, «A microemulsion method for preparation of thiol-functionalized gold nanoparticles,» *Particuology*, vol. 37, pp. 33-36, 2017.
- [34] M. Shaalan, M. Saleh y M. El-Mahdy, «Recent progress in applications of nanoparticles in fish medicine: A Review,» *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, vol. 12, pp. 701-710, 2016.
- [35] M. Balasubramaniam y S. Balakumar, «Nanostructuring of silver nanoparticles anchored 1D zinc antimonate electrode material by ultrasonication assisted chemical reduction approach for supercapacitors,» *Materials Chemistry and Physics*, vol. 224, n° 15, pp. 334-348, 2019.
- [36] L. Guz, L. Fama, R. Candal y S. Goyanes, «Size effect of ZnO nanorods on physicochemical properties of plasticized starch composites,» *Carbohydrate Polymers*, vol. 157, pp. 1611-1619, 2017.
- [37] M. Goudarzi, M. Salavati-Niasari, F. Yazdian y M. Amiri, «Sonochemical assisted thermal decomposition method for green synthesis of CuCo₂O₄/CuO ceramic nanocomposite using *Dactylopius Coccus* for anti-tumor investigations,» *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 788, pp. 944-953, 2019.
- [38] T. Krishnapriya y M. Jayaraj, «Clean synthesis of Er, Yb doped fluorapatite upconversion luminescent nanoparticles through liquid phase pulsed laser ablation,» *Optics and Laser Technology*, vol. 131, pp. 1-5, 2020.
- [39] M. J. Burger, B. J. Robinson y L. F. Pease III, «Sol-Gel-Derived Nanoscale Materials,» de *Handbook of Nanoparticles*, Salt Lake City, Springer International Publishing, 2016, pp. 691-712.
- [40] T. Carvalho, A. d. S. Pereira, R. C. Bonomo, M. Franco, P. Finotelli y P. F. Amaral, «Simple physical adsorption technique to immobilize *Yarrowia lipolytica* lipase purified by different methods on magnetic nanoparticles: Adsorption isotherms and thermodynamic approach,» *International Journal of Biological Macromolecules*, pp. 1-61, 2020.
- [41] C. Daruich De Souza, B. Ribeiro Nogueira y M. E. C. Rostelato, «Review of the methodologies used in the synthesis gold nanoparticles by chemical reduction,» *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 798, pp. 714-740, 2019.
- [42] K. J. De France, M. Badv, J. Dorogin, E. Siebers, V. Panchal, M. Babi, J. Moran-Mirabal, M. Lawlor y E. D. Cranston, «Tissue Response and Biodistribution of Injectable Cellulose Nanocrystal Composite Hydrogels,» *ACS Biomaterials Science & Engineering*, vol. 5, p. 2235-2246, 2019.
- [43] P. Shrivastava, S. Nasimul Alam, D. Panda, S. Kumar Sahoo, T. Maity y K. Biswas, «Effect of addition of multiwalled carbon nanotube/graphite nanoplatelets hybrid on the mechanical properties of aluminium,» *Diamond & Related Materials*, vol. 104, pp. 1-16, 2020.
- [44] A. B. Patil y B. Bhanage, «Sonochemistry: A Greener Protocol for Nanoparticles Synthesis,» de *Handbook of nanoparticles*, Mumbai-India, Springer International Publishing Switzerland, 2016, pp. 143-166.
- [45] Y. Jiang, X. Liu, S. Yang, X. Song y S. Wang, «Combining organosolv pretreatment with mechanical grinding of sugarcane bagasse for the preparation of nanofibrillated cellulose in a novel green approach,» *BioResources*, vol. 14, n° 1, pp. 313-335, 2019.
- [46] A. Hassani, M. Karaca, S. Karaka, A. Khataee, Ö. Açışlı y B. Yilmaz, «Preparation of magnetite nanoparticles by high-energy planetary ball mill and its application for ciprofloxacin degradation through heterogeneous Fenton process,» *Journal of Environmental Management*, vol. 211, pp. 53-62, 2018.
- [47] D. Needham, A. Arslanagic, K. Glud, P. Hervella, L. Karimi, P. F. Høiland-Carlsen, K. Kinoshita, J. Mollenhauer, E. Parra, A. Utofi y P. W. MPharm, «Bottom Up Design of Nanoparticles for Anti-Cancer Diagnostics: "Put the drug in the Cancer's food,» *Journal of Drug Targeting*, p. 63, 2016.
- [48] F. Ameen, S. AlYahia, M. Govarathanan, N. Aljhdali, N. Al-Enazi, K. Alsamhari, W. Alshehri, S. Alwakeel y S. Alharbi, «Soil bacteria *Cupriavidus* sp. Mediates the extracellular synthesis of antibacterial silver nanoparticles,» *Journal of Molecular Structure*, pp. 1-25, 2019.
- [49] M. A. Asghar y M. A. Asghar, «Green synthesized and characterized copper nanoparticles using various new plants extracts aggravate microbial cell membrane damage after interaction with lipopolysaccharide,» *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 160, n° 1, pp. 1168-1176, 2020.
- [50] S. Bharathi, S. Kumaran, G. Suresh, M. Ramesh, V. Thangamani, S. Pugazhendian y K. Sathiyamurthy, «Extracellular synthesis of nanoselenium from fresh water bacteria *Bacillus* sp., and its validation of antibacterial and cytotoxic potential,» *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, vol. 27, pp. 1-8, 2020.
- [51] M. Kumaresan, K. Vijai Anand, K. Govindaraju, S. Tamilselvan y V. G. Kumar, «Seaweed *Sargassum wightii* mediated preparation of zirconia (ZrO₂) nanoparticles and their antibacterial activity against gram

- positive and gram negative bacteria.» *Microbial Pathogenesis*, pp. 1-19, 2018.
- [52] A. Patel, J. Enman, A. Gulkova, P. I. Guntoro, A. Dutkiewicz, Y. Ghorbani, U. Rova, P. Christakopoulos y L. Matsakas, «Integrating biometallurgical recovery of metals with biogenic synthesis of nanoparticles.» *Chemosphere*, vol. 263, pp. 1-23, 2021.
- [53] K. Alaqad y T. Saleh, «Gold and Silver Nanoparticles: Synthesis Methods, Characterization Routes and Applications towards Drugs.» *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, vol. 6, n° 4, pp. 1-10, 2016.
- [54] M. Nakamura, A. Oyane, K. Kuroiwa y H. Kosuge, «Fabrication of gold-calcium phosphate composite nanoparticles through coprecipitation mediated by amino-terminated polyethylene glycol.» *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, vol. 194, pp. 1-8, 2020.
- [55] A. Salabat y F. Mirhoseini, «A novel and simple microemulsion method for synthesis of biocompatible functionalized gold nanoparticles.» *Journal of Molecular Liquids*, vol. 268, p. 849-853, 2018.
- [56] H. Almukhlifi y R. C. Burns, «The effects of gold nanoparticles obtained from the thermolysis of n-hexanethiolate-stabilized gold nanoparticles on isobutane oxidation over metal oxide catalysts.» *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 411, pp. 349-363, 2016.
- [57] I. Ozcicek, N. Aysit, C. Cakici y A. Aydeger «The effects of surface functionality and size of gold nanoparticles on neuronal toxicity, apoptosis, ROS production and cellular/ suborgan biodistribution» *Materials Science & Engineering C*, vol. 128, 2021.
- [58] M. Rahimzadegan, Q. MiladRahimzadegan, M. Shafeian, O. Sabzevari y Z. Hassannejad, «Influence of reducing agents on in situ synthesis of gold nanoparticles and scaffold conductivity with emphasis on neural differentiation» *Materials Science and Engineering: C*, vol. 30, 112634, 2021.
- [59] L. Somlyai-Sipos, P. Baumli, A. Sycheva, G. Kaptay, E. Szöri-Dorogházi, F. Kristály, T. Mikó y D. Janovszky, «Development of Ag nanoparticles on the surface of Ti powders by chemical reduction method and investigation of their antibacterial properties.» *Applied Surface Science*, vol. 533, pp. 1-9, 2020.
- [60] X. Liu, W. Liu, L. Fang, S. Ye, H. Shen y B. Yang, «Highly sensitive deep-silver-nanowell arrays (d-AgNWAs) for refractometric sensing.» *Nano Research*, pp. 1-34, 2016.
- [61] M. Rafique, I. Sadaf, M. S. Rafique y M. B. Tahir, «A review on green synthesis of silver nanoparticles and their applications.» *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, vol. 45, n° 7, pp. 1272-1291, 2017.
- [62] L. Q. Pham, J. H. Sohn, J. H. Park, H. S. Kang, B. C. Lee y Y. S. Kang, «Comparative study on the preparation of conductive copper pastes with copper nanoparticles prepared by electron beam irradiation and chemical reduction.» *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 80, p. 638-642, 2015.
- [63] V. Jalal, O. G. Abdullah y S. Abdulkareem, «Numerical analysis of heat removal from gas phase clusters during condensation of Cu nanoparticles under Ar atmosphere.» *Results in Physics*, vol. 13, p. 5 p, 2019.
- [64] P. G. Jamkhandea, N. W. Ghule, A. H. Bamer y M. G. Kalaskar, «Metal nanoparticles synthesis: An overview on methods of preparation, advantages and disadvantages, and applications.» *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, vol. 53, pp. 1-11, 2019.
- [65] M. Harada, M. Yamamoto y M. Sakata, «Temperature dependence on the size control of palladium nanoparticles by chemical reduction in nonionic surfactant/ionic liquid hybrid systems.» *Journal of Molecular Liquids*, vol. 311, 2020.
- [66] I. Khan, K. Saeed y I. Khan, «Nanoparticles: Properties, applications and toxicities.» *Arabian Journal of Chemistry*, 2017.
- [67] R. Mangaiyarkarasi, M. Priyanga, N. Santhiya y S. Umadevi, «In situ preparation of palladium nanoparticles in ionic liquid crystal microemulsion and their application in Heck reaction.» *Journal of Molecular Liquids*, vol. 310, pp. 1-9, 2020.
- [68] M. Çalışkan, T. Baran, «Facile synthesis of biaryls by palladium nanoparticles adomed on kaolin/ NiFe₂O₄ composite as a magnetically retrievable nanocatalyst.» *Colloid and Interface Science Communications*, vol. 43, 100445, 2021.
- [69] T. Montsch, M. Heuchel, Y. Traa, E. Klemm y C. Stubenrauch, «Selective hydrogenation of 3-Hexyn-1-ol with Pd nanoparticles synthesized via microemulsions.» *Applied Catalysis A: General*, pp. 1-26, 2017.
- [70] A. M. Pérez-Coronado, O. S. Soares, L. Calvo, J. Rodríguez, M. Gilarranz y M. F. Pereira, «Catalytic reduction of bromate over catalysts based on Pd nanoparticles synthesized via water-in-oil microemulsion.» *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 237, p. 206-213, 2018.
- [71] P. Srimara, T. Chevapruck, P. Kumnorakaw, T. Muangnapoh y P. Vas-Umnuay, «Synthesis of Ni Nanoparticles for Solar Selective Absorber by Chemical Reduction Method.» *Materials Today: Proceedings*, vol. 23, p. 720-725, 2020.
- [72] M. Sankar, M. Jothibas, A. Muthuvel, A. Rajeshwari y S. J. Jeyakumar, «Structural, optical and Photocatalytic degradation of organic dyes by sol gel prepared Ni doped CdS nanoparticles.» *Surfaces and Interfaces*, p. p30, 2020.
- [73] V. Bartůnek, P. Ulbrich, I. Paterová, «Facile synthesis of the magnetic Ni-Cr-Fe alloy nanoparticles and its catalytic properties.» *Materials Science & Engineering B*, vol. 267, 115117, 2021.
- [74] P. Shunmuga Sundaram, T. Sangeetha, S. Rajakarthishan, R. Vijayalaksmi, A. Elangovan y G. Arivazhagan, «XRD structural studies on cobalt doped zinc oxide nanoparticles synthesized by coprecipitation method: Williamson-Hall and size-strain.» *Physica B: Physics of Condensed Matter*, vol. 595, pp. 1-10, 2020.
- [75] S. Mohammad, N. M. Abd-Alghafour, Z. Hassan, N. M. Ahmed, A. M. Ahmed Ali, R. Abdalrheem y M. Abdullah, «Fabrication and Characterization of Light Emitting Diode Based on n-ZnO Nanorods Grown Via a Low-Temperature.» *Journal of Physics: Conference Series*, pp. 1-6, 2020.
- [76] S. Mohammad, Z. Hassan, N. M. Abd-Alghafour, A. M. Ahmed Ali, N. M. Ahmed, R. Abdalrheem, F. K. Yam y N. Afzal, «Ultraviolet electroluminescence from flowers-like n-ZnO nanorods/p-GaN lightemitting diode fabricated by modified chemical bath deposition.» *Journal of Luminescence*, p. 21, 2020.
- [77] H. Barrak, T. Saied, P. Chevallier, G. Laroche, A. Mnif y A. Hamzaoui, «Synthesis, characterization, and functionalization of ZnO nanoparticles by N- (trimethoxysilylpropyl) ethylenediamine triacetic acid (TMSEDTA): Investigation of the interactions between Phloroglucinol and ZnO@TMSEDTA.» *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 12, n° 8, pp. 1-8, 2016.
- [78] S. Castro-Lopes, Y. Guerra, A. Silva-Sousa, D. Oliveira, L. Goncalves, A. Franco, E. Padrón-Hernández y R. Peña-García, «Influence of pH on the structural and magnetic properties of Fe-doped ZnO nanoparticles synthesized by sol gel method.» *Solid State Sciences*, vol. 109, p. p. 8, 2020.
- [79] A. M. Pineda-Reyes y M. Olvera, «Synthesis of ZnO nanoparticles from water-in-oil (w/o) microemulsions.» *Materials Chemistry and Physics*, pp. 1-15, 2017.
- [80] M. T. Alula, P. Lemmens, L. Bo, D. Wulferding, J. Yang y H. Spende, «Preparation of silver nanoparticles coated ZnO/Fe₃O₄ composites using chemical reduction method for sensitive detection of uric acid via surface-enhanced Raman spectroscopy.» *Analytica Chimica Acta*, vol. 1073, pp. 62-71, 2019.
- [81] I. Nkurikiyimfura, Y. Wang, B. Safari y E. Nshingabigwi, «Temperature-dependent magnetic properties of magnetite nanoparticles synthesized via coprecipitation method.» *Journal of Alloys and Compounds*, pp. 1-30, 2020.
- [82] A. Saritha, D. Narayana Rao, A. Roychowdhury, D. Das y K. Hussain, «Facile green synthesis of iron oxide nanoparticles via solid-state thermolysis of a chiral, 3D anhydrous potassium tris(oxalato)ferrate(III) precursor.» *Advanced Powder Technology*, vol. 26, n° 2, pp. 349-354, 2015.
- [83] A. M. Escobaro, L. R. Pizzioa y G. P. Romanelli, «Catalizadores magnéticos basados en Óxidos de Hierro: Síntesis, Propiedades y Aplicaciones.» *Ciencia en Desarrollo*, vol. 10, n° 1, pp. 79-101, 2019.
- [84] I. Flores-Urquiza, P. García-Casillas y C. Chapa-González, «Development of magnetic nanoparticles Fe₂₋₃X²⁺O₄ coated by amino silane.» *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, vol. 38, n° 1, pp. 402-411, 2017.
- [85] A. A. Rodríguez-Rodríguez, M. B. Moreno-Trejo, M. J. Meléndez-Zaragoza, V. Collins-Martínez, A. López-Ortiz, E. Martínez-Guerra y M. Sánchez-Domínguez, «Spinel-type ferrite nanoparticles: Synthesis by

- the oil-in-water microemulsion reaction method and photocatalytic water-splitting evaluation.» *international journal of hydrogen energy*, vol. 44, n° 24, pp. 12421-12429, 2018.
- [86] Y. Dong, F. Xue, Y. Wei, «Magnetic nanoparticles supported N-heterocyclic palladium complex: Synthesis and catalytic evaluations in Suzuki cross-coupling reaction,» *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 153, 110007, pp. 1-9, 2021.
- [87] C. H. Pérez-Beltrán, J. J. García-Guzmán, B. Ferreira, O. Estévez-Hernández, D. López-Iglesias, L. Cubillana-Aguilera, W. Link, N. Stănică, «One-minute and green synthesis of magnetic iron oxide nanoparticles assisted by design of experiments and high energy ultrasound: Application to biosensing and immunoprecipitation,» *Materials Science & Engineering C*, vol. 123, 112023, 2021.
- [88] V. Kumar, I. Rawal, V. Kumar y P. Goyal, «Efficient UV photodetectors based on Ni-doped ZnS nanoparticles prepared by facial chemical reduction method,» *Physica B: Physics of Condensed Matter*, n° 575, pp. 1-11, 2019.
- [89] R. Dhir, «Synthesis, characterization and applications of Gadolinium doped ZnS nanoparticles as photocatalysts for the degradation of dyes (Malachite Green and Rhodamine B) and as antioxidants» *Chemical Physics Impact*, vol. 3, 100027, 2021.
- [90] N. Manivannan, B. Chandar Shekar, C.K. Senthil Kumaran, P. Matheswaran, B. Gokul, M. Ibrahim, «Room temperature synthesis and Structural, opto- Luminescence, magnetic behavioral variations of Mn doping on ZnS hybrid nanoparticles by chemical precipitation method», *Materials Today: Proceedings*, vol.47, part. 9, pp. 1741-1746, 2021.
- [91] P. Dwivedi, P. Chauhan, R. Rawat, «Effect of thermal treatment on synthesized Cu doped ZnS nanoparticles», *Materials Today: Proceedings*, vol. 44, pp. 3138-3143, 2021.
- [92] T. J. Malek, S. H. Chaki y M. Deshpande, «Structural, morphological, optical, thermal and magnetic study of mackinawite FeS nanoparticles synthesized by wet chemical reduction technique,» *Physica B: Physics of Condensed Matter*, pp. 1-29, 2018.
- [93] W. Wang, W. Wang, Y. Xu, X. Ren, X. Liu, Z. Li, «Synthesis of Ni₃S₄/NiS₂/FeS₂ nanoparticles for hydrogen and oxygen evolution reaction», *Applied Surface Science*, vol. 560, 149985, 2021.
- [94] A. Sanchez-Martinez, J. Ortiz-Beas, A. Huerta-Flores, E. R. López-Mena, J. Pérez-Álvarez y O. Ceballos-Sanchez, «ZnSe nanoparticles prepared by coprecipitation method for photocatalytic applications,» *Materials Letters*, vol. 282, pp. 1-4, 2021.
- [95] D.V. Sridevi, V. Ramesh, E. Sundaravadeivel, «Ultraviolet light induced dye degradation of methylene blue in the presence of photocatalytic CdSe and ZnSe nanoparticles», *Materials Today: Proceedings*, vol. 42, pp. 1244-1250, 2021.
- [96] S. Nallusamy y K. Sujatha, «Experimental analysis of nanoparticles with cobalt oxide synthesized by coprecipitation method on electrochemical biosensor using FTIR and TEM,» *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-5, 2020.
- [97] C. Xu, G. Liu, M. Li, K. Li, Y. Luo, L. Yi y G. Li, «Optical switching and nanothermochromic studies of VO₂(M) nanoparticles prepared by mild thermolysis method,» *Materials & Design*, pp. 1-27, 2019.
- [98] A. Campos, A. De Sena Neto, V. Rodrigues, B. Luchesi, F. Moreira, A. C. Correa, L. Mattoso y J. Marconcini, «Bionanocomposites produced from cassava starch and oil palm mesocarp cellulose nanowhiskers,» *Carbohydrate Polymers*, vol. 175, pp. 330-336, 2017.
- [99] E. Csizsár y S. Nagy, «A comparative study on cellulose nanocrystals extracted from bleached cotton and flax and used for casting films with glycerol and sorbitol plasticisers,» *Carbohydrate Polymers*, vol. 174, pp. 740-749, 2017.
- [100] E. J. Foster, R. J. Moon, U. P. Agarwal, M. J. Bortner, J. Bras., S. Camarero-Espinosa, K. J. Chan, M. J. D. Clifft, E. D. Cranston, S. J. Eichhorn, D. M. Fox, W. Y. Hamad, L. Heux, B. Jean., M. Korey, W. Nieh, K. J. Ong, M. S. Reid, S. Renneckar, R. Roberts, J. A. Shatkin, J. Simonsen, K. Stinson-Bagby, N. Wanasekara y J. Youngblood, «Current characterization methods for cellulose nanomaterials,» *Chemical Society Review*, vol. 47, n° 8, pp. 2609–2679, 2018.
- [101] M. J. Lundahl, A. G. Cunha, E. Rojo, A. C. Papageorgiou, L. Rautkari, J. C. Arboleda y O. J. Rojas, «Strength and Water Interactions of Cellulose I Filaments Wet-Spun from Cellulose Nanofibril Hydrogels,» *Scientific Reports*, pp. 1-13, 2016.
- [102] M. J. Lundahl, V. Klar, L. Wang, M. Ago y O. J. Rojas, «Spinning of cellulose nanofibrils into filaments: a review,» *Industrial & Engineering Chemistry Research*, pp. 1-44, 2016.
- [103] E. Niinivaara y E. D. Cranston, «Bottom-up Assembly of Nanocellulose Structures,» *Carbohydrate Polymers*, p. 69, 2020.
- [104] F. Abdulrazzak, A. Abbas y F. Hussein, «Synthesis of few-wall carbon nanotubes using methanol/propanol mixture by chemical vapour deposition,» *Frontiers in Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 3, n° 3, pp. 1-7, 2017.
- [105] Z. Ali, M. Mehmood, J. Ahmed y M. N. Nizam, «Synthesis of graphitic nanofibers and carbon nanotubes by catalytic chemical vapor deposition method on nickel chloride alcogel for high oxygen evolution reaction activity in alkaline media,» *Nano-Structures & Nano-Objects*, vol. 24, pp. 0-90, 2020.
- [106] M. Jassim, Yassin S.A., F. Abdulrazzak, T. Al Mgheer, I. Alwan, A. Al khazraji y A. Alkaim, «Converted Graphite to Carbon Nanotubes by Flame Method,» *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering - IOP Publishing-The First International Conference of Pure and Engineering Sciences*, vol. 871, pp. 1-6, 2020.
- [107] A. Menazea, «Femtosecond Laser Ablation-Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles in Organic and Inorganic Liquids Medium and Their Antibacterial Efficiency,» *Radiation Physics and Chemistry*, p. 26, 2019.
- [108] J. Rivera, M. Valverde y C. Aldama, «Síntesis y modificación de coloides con nanopartículas de plata por ablación,» *Revista de Física*, vol. 59, pp. 35-48, 2019.
- [109] J. Chaudhary, G. Tailor y D. Kumar, «Synthesis and Characterization of Chromium nanoparticles by thermal decomposition method,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 29, pp. 321-326, 2020.
- [110] M. Rajaram, S. Subramanian, S. Subramanian, J. Krishnamoorthy, S. Ganapathy y J. Ramasamy, «Microwave-assisted synthesis of ZnO nanostructures for organic solar cell applications,» *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-4, 2020.
- [111] J. Singh, S. Sharma, S. Soni, S. Sharma y R. C. Singh, «Influence of different milling media on structural, morphological and optical properties of the ZnO nanoparticles synthesized by ball milling process,» *Materials Science in Semiconductor Processing*, vol. 98, p. 29–38, 2019.
- [112] M. Arellano-Cortaza, E. Ramírez-Morales, U. Pal, G. Pérez-Hernandez, L. Rojas-Blanco, «pH dependent morphology and texture evolution of ZnO nanoparticles fabricated by microwave-assisted chemical synthesis and their photocatalytic dye degradation activities», *Ceramics International*, vol. 47, pp. 27469-27478, 2021.
- [113] V. Madurai Ramakrishnan, S. Pitchaiya, N. Muthukumarasamy, K. Kvamme, G. Rajesh, S. Agilan, A. Pugazhendhi y D. Velauthapillai, «Performance of TiO₂ nanoparticles synthesized by microwave and solvothermal methods as photoanode in dye-sensitized solar cells (DSSC),» *international journal of hydrogen energy*, vol. 45, n° 51, pp. 27036-27046, 2020.
- [114] A. Mangababu, G. Sarang Dev, B. Chandu, M. Bharati, P. Debashish, S. Venugopal Rao y S. Nageswara Rao, «Fabrication and characterization of GaAs nanoparticles achieved using femtosecond laser ablation,» *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-5, 2020.
- [115] G. Theophil Anand, S. J. Sundaram, K. Kanimozhi, R. Nithiyavathi y K. Kaviyarasu, «Microwave assisted green synthesis of CuO nanoparticles for environmental applications,» *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-8, 2020.
- [116] J. Lai, T. Wang, H. Zhang, L. Ye, C. Yan y W. Gu, «Modulating the photoluminescence of europium oxide nanoparticles by controlling thermal decomposition conditions,» *Journal of Luminescence*, vol. 214, pp. 1-6, 2019.
- [117] U. Rajaji, S. Manavalan, S.-M. Chen, S. Chinnapaiyan, T.-W. Chen y J. Ramalingam, «Facile synthesis and characterization of erbium oxide (Er₂O₃) nanospheres embellished on reduced graphene oxide nanomatrix for trace-level detection of a hazardous pollutant causing Methemoglobinemia,» *Ultrasonics - Sonochemistry*, vol. 56, p. 422–429, 2019.
- [118] V. Kumar, A. Potdevin, P. Boutinaud y D. Boyer, «HF-free synthesis of K₂SiF₆ and BaSiF₆ nanoparticles by thermal decomposition,» *Materials Letters*, pp. 1-11, 2019.

- [119]D. Tomar y P. Jeevanandam, «Synthesis of cobalt ferrite nanoparticles with different morphologies via thermal decomposition approach and studies on their magnetic properties,» *Journal of Alloys and Compounds*, pp. 1-58, 2020.
- [120]T.-W. Chen, U. Rajaji, S.-M. Chen, M. M. Al Mogren, M. Hochlaf, S. D. A. Al Harbi y R. J. Ramalingam, «A novel nanocomposite with superior electrocatalytic activity: A magnetic property based ZnFe₂O₄ nanocubes embellished with reduced graphene oxide by facile ultrasonic approach,» *Ultrasonics - Sonochemistry*, vol. 57, pp. 116-124, 2019.
- [121]X. Zhang, Z. Chen, J. Liu y S. Cui, «Synthesis and Characterization of ZnFe₂O₄ nanoparticles on infrared radiation by xerogel with sol-gel method,» *Chemical Physics Letters*, p. p.18, 2021.
- [122]S. R. Yousefi, O. Amiri y M. Salavati-Niasari, «Control sonochemical parameter to prepare pure Zn_{0.35}Fe_{2.65}O₄ nanostructures and study their photocatalytic activity,» *Ultrasonics - Sonochemistry*, vol. 58, pp. 1-14, 2019.
- [123]D. Gopi, L. Kavitha y D. Rajeswari, «Synthesis of Pure and Substituted Hydroxyapatite Nanoparticles by Cost Effective Facile Methods,» de *Handbook of Nanoparticles*, India, Springer International Publishing Switzerland, 2016, pp. 167-190.
- [124]M. Ahmad, A. Gani, F. Masoodi y S. Rizvi, «Influence of ballmilling on the production of starch nanoparticles and its effect on structural, thermal and functional properties,» *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 151, pp. 85-91, 2020
- [125]E. Kambale, C. Nkanga, B. P. Mutonkole, A. M. Bapolisi, D. O. Tassa, J. M. Liesse, R. W. Krause y P. B. Memvanga, «Green synthesis of antimicrobial silver nanoparticles using aqueous leaf extracts from three Congolese plant species (*Brillantaisia patula*, *Crossoteryx febrifuga* and *Senna siamea*),» *Heliyon*, vol. 6, pp. 1-9, 2020.
- [126]E.-Y. Ahn, H. Jin y Y. Park, «Assessing the antioxidant, cytotoxic, apoptotic and wound healing properties of silver nanoparticles green-synthesized by plant extracts,» *Materials Science & Engineering C*, vol. 101, pp. 204-216, 2019.
- [127]R. Sathishkumar, A. Sundaramanickam, R. Srinath, R. K. Saranya, M. Meena y P. Surya, «Green synthesis of silver nanoparticles by bloom forming marine microalgae *Trichodesmium erythraeum* and its applications in antioxidant, drug-resistant bacteria, and cytotoxicity activity,» *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 23, n° 8, pp. 1180-1191, 2019.
- [128]A. Bhargava, N. Jain, M. A. Khan, V. Pareek, R. Venkataramana Dilip y J. Panwar, «Utilizing metal tolerance potential of soil fungus for efficient synthesis of gold nanoparticles with superior catalytic activity for degradation of rhodamine B,» *Journal of Environmental Management*, pp. 1-11, 2016.
- [129]N. Gonzalez-Ballesteros, L. Diego-Gonzalez, M. Lastra-Valdor, M. Grimaldi, A. Cavazza, F. Bigi, M.C. Rodríguez-Argüelles, R. Simon-Vazquez, «*Saccorhiza polyschides* used to synthesize gold and silver nanoparticles with enhanced antiproliferative and immunostimulant activity,» *Materials Science & Engineering C*, vol. 123, 111960, 2021.
- [130]E. Benassai, M. Del Bubba, C. Ancillotti, I. Colzi, C. Gonnelli, N. Calisi, M. C. Salvatici, E. Casalone y S. Ristori, «Green and cost-effective synthesis of copper nanoparticles by extracts of non-edible and waste plant materials from *Vaccinium* species: Characterization and antimicrobial activity,» *Materials Science & Engineering C*, vol. 119, pp. 1-12, 2021.
- [131]A. Tugarova, P. Mamchenkova, Y. Dyatlova y A. Kamnev, «Bacteria as cell factories for producing selenium nanoparticles: their synthesis by the rhizobacterium *Azospirillum brasilense* and characterisation,» *New Biotechnology*, p. 1, 2018.
- [132]F. M. Mosallam, G. S. El-Sayyad, R. Fathy y A. I. El-Batal, «Biomolecules-mediated synthesis of selenium nanoparticles using *Aspergillus oryzae* fermented Lupin extract and gamma radiation for hindering the growth of some multidrug-resistant bacteria and pathogenic fungi,» *Microbial Pathogenesis*, pp. 1-28, 2018.
- [133]L. Castro, J. Li, F. González, J. A. Muñoz y M. L. Blázquez, «Green synthesis of tellurium nanoparticles by tellurate and tellurite reduction using *Aeromonas hydrophila* under different aeration conditions,» *Hydrometallurgy*, vol. 196, pp. 1-9, 2020.
- [134]P. Suryavanshi, R. Pandit, A. Gade, M. Derita, S. Zachino y M. Rai, «Colletotrichum sp. mediated synthesis of sulphur and aluminium oxide nanoparticles and its in vitro activity against selected food-borne pathogens,» *LWT - Food Science and Technology*, pp. 1-30, 2017.
- [135]H. Gebretinsae, M. Tsegay y Z. Nuru, «Biosynthesis of nickel oxide (NiO) nanoparticles from cactus plant extract,» *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-5, 2020.
- [136]M. Boudiaf, Y. Messai, E. Bentouhami, M. Schmutz, C. Blanck, L. Ruhlmann, «Green synthesis of NiO nanoparticles using *Nigella sativa* extract and their enhanced electro-catalytic activity for the 4-nitrophenol degradation,» *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 153, 110020, 2021.
- [137]P. N. V. Pallela, S. Ummey, L. K. Ruddaraju, S. Gadi, C. S. Cherukuri, S. Barla y S. Pammi, «Springer International Publishing Switzerland cordifolia plant extract,» *Heliyon*, vol. 5, pp. 1-7, 2019.
- [138]J. Yoonus, R. Resmi, B. Beena, «Evaluation of antibacterial and anticancer activity of green synthesized iron oxide (α-Fe₂O₃) nanoparticles,» *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, pp. 2969-2974, 2021.
- [139]K. M. Navada, G.K. Nagaraja, J. N. D'Souza, S. Kouser, C. R. Ravikumar, D. J. Manasa, «Bio-fabrication of multifunctional quasi-spherical green α-Fe₂O₃ nanostructures for paracetamol sensing and biomedical applications,» *Ceramics International*, vol. 47, pp. 33651-33666, 2021.
- [140]H. Liu, S. Zheng, H. Xiong, M. S. Alwahibi y X. Niu, «Biosynthesis of copperoxide nanoparticles using *Abies spectabilis* plant extract and analyzing its antinociceptive and anti-inflammatory potency in various mice models,» *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 13, p. 6995-7006, 2020.
- [141]K. Velsankar, R. M. Aswin Kumar y R. Preethi, «Green synthesis of CuO nanoparticles via *Allium sativum* extract and its characterizations on antimicrobial, antioxidant, antilarvicidal activities,» *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, pp. 1-13, 2020.
- [142]Y. Lv, J. Liu, Z. Zhang, W. Zhang, A. Wang, F. Tian, W. Zhao, J. Yan, «Green synthesis of CuO nanoparticles-loaded ZnO nanowires arrays with enhanced photocatalytic activity,» *Materials Chemistry and Physics*, vol. 267, 124703, 2021.
- [143]S. Ambika y M. Sundrajan, «Plant-extract mediated synthesis of ZnO nanoparticles using *Pongamia pinnata* and their activity against pathogenic bacteria,» *Advanced Powder Technology*, vol. 26, n° 5, pp. 1294-1299, 2016.
- [144]A. Annu, C. Sivasankari y U. Krupasankar, «Synthesis and characterization of ZrO₂ nanoparticle by leaf extract bioreduction process for its biological studies,» *Materials Today: Proceedings*, pp. 1-7, 2020.
- [145]P. Nithya, M. Balaji, A. Mayakrishnan, S. Jegatheeswaran, S. Selvam y M. Sundrarajan, «Biogenic approach for the synthesis of Ag-Au doped RuO₂ nanoparticles in BMIM-PF6 ionic liquid medium: Structural characterization and its biocidal activity against pathogenic bacteria and HeLa cancerous cells,» *Journal of Molecular Liquids*, pp. 1-13, 2020.
- [146]S. Qiao, N. Huang, Y. Zhang, J. Zhang, Z. Gao, S. Zhou, «One-step synthesis of nanoblocks@nanoballs NiMnO₃/Ni₃MnO₈ nanocomposites as electrode material for supercapacitors,» *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 44, pp. 18351-18359, 2019.
- [147]S. Qiao, N. Huang, Y. Sun, J. Zhang, Y. Zhang, Z. Gao, «Microwave-assisted synthesis of novel 3D flower-like NiMnO₃ nanoballs as electrode material for high-performance supercapacitors,» *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 775, pp. 1109-1116, 2019.