

NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA:

Pesquisa e Aplicações

Juan Ramón Collet-Lacoste
(Organizador)



**EDITORA
ARTEMIS**

2022

NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA:

Pesquisa e Aplicações

Juan Ramón Collet-Lacoste
(Organizador)



**EDITORIA
ARTEMIS**

2022



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Editora Chefe	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Juan Ramón Collet-Lacoste
Imagem da Capa	Liuzishan/123RF
Bibliotecária	Janaina Ramos – CRB-8/9166

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”*, Cuba
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano, Peru*
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato, México*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, Universidade de Brasília-DF
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados
Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará
Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil



Prof.ª Dr.ª Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil
Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, Universidad Nacional Autónoma de México, México
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba
Prof.^a Dr.^a Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.^a Dr.^a Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof.^a Dr.^a Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.^a Dr.^a Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.^a Dr.^a Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.^a Dr.^a Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo (USP), Brasil
Prof.^a Dr.^a Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.^a Dr.^a Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N186 Nanociências e nanotecnologia: pesquisa e aplicações /
Organizador Juan Ramón Collet-Lacoste. – Curitiba-
PR: Artemis, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-87396-66-8

DOI 10.37572/EdArt_290822668

1. Nanociência. 2. Nanotecnologia. 3. Pesquisa. I.
Collet-Lacoste, Juan Ramón (Organizador). II. Título.

CDD 620.5

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166



PRÓLOGO

Las propiedades particulares de las Nps, muy diferentes en muchos aspectos a las de sus sólidos masivos, han abierto nuevos campos de estudio e investigación a todo nivel: teóricos y aplicados. Son más inestables que los sólidos masivos de los que se diferencian principalmente por su estructura electrónica que no suele ser continua. Esto es una ventaja a nivel de su reactividad y suelen presentar superficies específicas altas que son muy propicias para los procesos de catálisis, un ingrediente muy importante en los procesos cinéticos. Otra propiedad interesante es que no presentan defectos estructurales en su volumen como vacancias o dislocaciones, a diferencia de sus correspondientes sólidos masivos.

Las presentes monografías forman parte del título: “Nanociências e Nanotecnologia: Pesquisa e Aplicações”. Los artículos están ordenados de lo más general (e.g., producción y caracterización de las Nps) a los relacionados con aplicaciones prácticas (e.g., foto catálisis y a su relación principalmente con aplicaciones de origen biológico).

Estos muestran la potencialidad de las nanotecnologías en la comprensión de nuevas aplicaciones en campos tan variados como la catálisis, fotocatálisis, bio-remediación, contaminantes, ambientes acuáticos, antisépticos, bactericidas, virucidas, compuestos bio-activos, biosíntesis extracelular e intracelular, estudio de suelos, vegetales y probióticos, etc.

Juan Ramón Collet-Lacoste

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

THE FOLLOWING NEW CONSIDERATIONS ON THE FINKE CHEMICAL MECHANISM OF NANOPARTICLE SYNTHESIS FOR TRANSITION METALS

Juan Ramón Collet-Lacoste

Jorge Javier Acosta

Pablo César Favilla

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226681

CAPÍTULO 2.....28

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE NANOESTRUTURAS DE $Ce_{1-x}Pr_xO_2$

Ana Cristina Tolentino Cabral

Isabela Cristina Fernandes Vaz

Francisco Moura Filho

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226682

CAPÍTULO 3..... 39

SÍNTESE E SEPARAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA USANDO POLIVINILPIRROLIDONA EM DIMETILFORMAMIDA

Celly Mieko Shinohara Izumi

Beatriz Rocha de Moraes

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226683

CAPÍTULO 4..... 49

REDUÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO VIA RADIAÇÃO IONIZANTE

Solange Kazumi Sakata

Raynara Maria Silva Jacovone

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226684

CAPÍTULO 5..... 61

APLICAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS METÁLICAS E BIMETÁLICAS EM FOTOCATÁLISE

Luelc Souza da Costa

Rômulo Batista Vieira

Diego Rodrigues de Carvalho

Elayne Valério Carvalho

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226685

CAPÍTULO 6.....87

COMPLEX OXIDATION OF TMB CATALYZED WITH PEROXIDASE-LIKE AU NANOPARTICLES

Zhiming Liu

Wenjian Wu

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226686

CAPÍTULO 7..... 98

USE OF NANOPARTICLES IN THE DEGRADATION OF CONTAMINANTS IN AQUATIC ENVIRONMENTS

Janet Jan-Roblero

Juan A. Cruz-Maya

Axel A. Treviño-Trejo

Oliver Navarrete-Godínez

Hugo A. Álvarez-Hernández

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226687

CAPÍTULO 8..... 108

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE SULFURO DE CADMIO MEDIANTE UN SISTEMA ACUOSO DE BIOMASA FÚNGICA

Norma Gabriela Rojas Avelizapa

María Oliva Hernández Jiménez

Luz Irene Rojas Avelizapa

Héctor Paul Reyes Pool

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226688

CAPÍTULO 9..... 116

ESTUDIO DE LAS NANOPARTÍCULAS DE SULFURO DE CADMIO OBTENIDAS A PARTIR DE BIOMASA Y EXTRACTOS FÚNGICOS DE *Fusarium oxysporum*

Diana Alexandra Calvo Olvera

José Daniel Aguilar Loa

Norma Gabriela Rojas Avelizapa

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2908226689

CAPÍTULO 10.....126

ELABORATION OF AN ANTISEPTIC GEL BASED ON BIOACTIVE COMPOUNDS OF *ORIGANUM VULGARE* AND *ALOE VERA* ENCAPSULATED IN SiO₂ Y ZnO-SnO₂ NANOPARTICLES FOR CONTROLLED RELEASE

Guadalupe Luna Cedillo

Francisco Javier Tzompantzi Morales

Sandra Luz Hernández Valladolid

Juan Manuel Padilla Flores

 https://doi.org/10.37572/EdArt_29082266810

CAPÍTULO 11.....135

Bacillus thuringiensis AND *Micromonospora echinospora* IN *Lactuca sativa* OPTIMIZE NITROGENOUS FERTILIZER WITH A CRUDE EXTRACT OF CARBON NANOPARTICLES

Juan Luis Ignacio-De la Cruz

Juan Manuel Sánchez-Yañez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_29082266811

SOBRE EL ORGANIZADOR.....143

ÍNDICE REMISSIVO 144

CAPÍTULO 9

ESTUDIO DE LAS NANOPARTÍCULAS DE SULFURO DE CADMIO OBTENIDAS A PARTIR DE BIOMASA Y EXTRACTOS FÚNGICOS DE *Fusarium oxysporum*¹

Data de submissão: 24/05/2022

Data de aceite: 14/06/2022

Diana Alexandra Calvo Olvera

Instituto Politécnico Nacional
Centro de Investigación en
Ciencia Aplicada y
Tecnología Avanzada
Unidad Querétaro, Qro., México
<https://orcid.org/0000-0003-4481-0729>

José Daniel Aguilar Loa

Instituto Politécnico Nacional
Centro de Investigación en
Ciencia Aplicada y
Tecnología Avanzada
Unidad Querétaro, Qro., México
<https://orcid.org/0000-0002-5686-7856>

Norma Gabriela Rojas Avelizapa

Instituto Politécnico Nacional
Centro de Investigación en
Ciencia Aplicada y
Tecnología Avanzada
Unidad Querétaro, Qro., México
<https://orcid.org/0000-0001-5349-4612>

RESUMEN: Las nanopartículas de sulfuro de cadmio (CdSNPs) sintetizadas por vía fúngica presentan propiedades fisicoquímicas

¹ El proyecto A1-S-31777 fue financiado por el Fondo Sectorial de Investigación para la Educación, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

que pueden ser aplicadas en diversas áreas, por lo que actualmente se estudian los diferentes métodos de síntesis biogénica de nanopartículas (NPs) para lograr ciertas características de interés. El hongo *Fusarium oxysporum* es un microorganismo ampliamente estudiado en la síntesis de diversas NPs, debido a la amplia variedad de moléculas con capacidad reductora que produce, mismas que posiblemente participan en el proceso de síntesis y recubrimiento de los nanomateriales. Por ello, este capítulo pretende evidenciar las diferencias entre el uso de la biomasa fúngica y el filtrado libre de células de *F. oxysporum* para la síntesis de CdSNPs.

PALABRAS CLAVE: Biosíntesis extracelular. Biosíntesis intracelular. Filtrado de células extracelular. Filtrado libre de células.

STUDY OF CADMIUM SULFIDE NANOPARTICLES OBTAINED FROM *Fusarium oxysporum* BIOMASS AND FUNGAL EXTRACTS

ABSTRACT: Cadmium sulfide nanoparticles (CdSNPs) synthesized by fungal pathway present physicochemical properties that can be applied in different areas, so different methods of biogenic synthesis of nanoparticles (NPs) are currently being studied to achieve certain characteristics of interest. The fungus *Fusarium oxysporum* is a microorganism widely studied in the synthesis of diverse NPs, due to the wide variety of molecules with reducing capacity that it produces, which

possibly participate in the process of synthesis and coating of nanomaterials. Therefore, this chapter aims to evidence the differences between the use of fungal biomass and cell-free filtrate of *F. oxysporum* for the synthesis of CdSNPs.

KEYWORDS: Cell-free filtrate. Extracellular filtrate. Intracellular biosynthesis. Extracellular biosynthesis.

1 INTRODUCCIÓN

Las nanopartículas semiconductoras son un material compuesto por diversos elementos no metálicos que incluyen los grupos II-VI, III-V y IV-VI de la tabla periódica, así como diferentes iones metálicos (Kumar, 2019). Dentro de estos grupos de elementos se incluyen los cationes de Zn, Cd y Hg en combinación con los aniones de S, O, Te, y Se para formar nanomateriales como los de ZnO, ZnS, CdTe, CdS por mencionar algunos. Estos materiales presentan propiedades ópticas, eléctricas y térmicas únicas debido a la naturaleza conductora y aislante de los elementos que la conforman (Kumar, 2019).

Las CdSNPs son nanoestructuras semiconductoras que han ganado importancia en diversos campos a causa de las propiedades ópticas, eléctricas y químicas que exhiben. Dichas propiedades están dadas por la energía de banda prohibida, la cual se incrementa de 2.42 electronvoltios (eV) hasta 3 – 4 eV cuando el material de CdS a granel llega a tamaños inferiores a 100 nm. Lo anterior les confiere características de interés para una amplia variedad de aplicaciones en el campo de la biomedicina, óptica y electrónica (Kozhevnikova et al., 2015).

2 SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE SULFURO DE CADMIO

Las CdSNPs pueden ser sintetizadas por métodos físicos, químicos y biológicos. En los métodos biológicos se utilizan organismos vivos como plantas, bacterias y hongos, así como materia orgánica como biomásas para llevar a cabo el proceso de reducción y nucleación de las nanopartículas; estos métodos tienen como ventaja que los procesos requieren materiales menos tóxicos, de menor costo y generan menor daño a la salud y al ambiente, pues hacen uso de procesos enzimáticos, moléculas y compuestos propios de los organismos que las generan (Jacob et al., 2016). Por lo anterior, se ha reportado que las nanopartículas sintetizadas por éstos métodos presentan una alta estabilidad coloidal y biocompatibilidad, debido posiblemente a que las nanopartículas presentan un recubrimiento con biomoléculas. No obstante, en la mayoría de las ocasiones la obtención y purificación de nanopartículas biogénicas suele ser complicada dependiendo del tipo de organismo que se utilice para su producción (Jacob et al., 2016). En el caso de la síntesis y recubrimiento de nanopartículas por vía fúngica, las proteínas, enzimas y moléculas

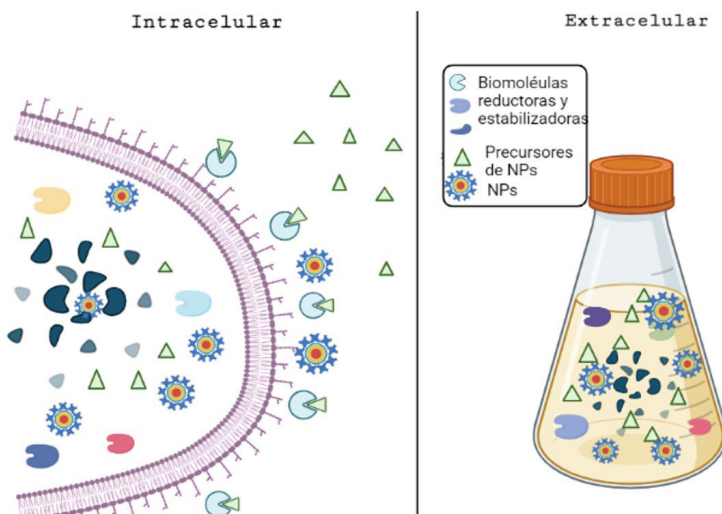
implicadas se encuentran en la pared celular de los hongos o son secretadas al medio, lo que facilita el uso de la biomasa, el filtrado extracelular o el filtrado libre de células de los hongos (Siddiqi & Husen, 2016).

3 SÍNTESIS DE CdSNPs A PARTIR DE HONGOS

Los hongos son microorganismos con alto potencial para sintetizar nanopartículas de diferentes materiales, debido a que secretan o pueden tener en su pared celular una gran cantidad de enzimas, proteínas, y moléculas implicadas en la reducción y estabilización de las NPs, por lo que la síntesis puede llevarse a cabo intra y extracelularmente utilizando la biomasa o el filtrado libre de células (Jacob et al., 2016), además de generar menos residuos tóxicos y presentar recubrimientos biogénicos derivados del hongo que les confieren mayor estabilidad y biocompatibilidad (Siddiqi & Husen, 2016).

Para la síntesis de nanopartículas mediante hongos es necesario cultivar el hongo en agar nutritivo y transferirlo a un medio líquido rico en nutrientes para producir la biomasa fúngica, posteriormente los metabolitos fúngicos producidos entrarán en contacto con el precursor inorgánico formando las NPs (Siddiqi & Husen, 2016). La síntesis de las NPs mediante hongos puede realizarse de dos maneras; síntesis intracelular mediante la biomasa fúngica, donde las NPs se sintetizan dentro de la célula y síntesis extracelular mediante el filtrado libre de células, donde las NPs se sintetizan en el medio, como se observa en la siguiente figura (Fig.1) (Patil et al., 2021r).

Fig. 1 Esquema de los mecanismos de síntesis intracelular y extracelular en hongos.



4 SÍNTESIS DE CdSNPs A PARTIR DE LA BIOMASA FÚNGICA

En la síntesis intracelular, las NPs son producidas dentro de la célula, los iones metálicos se unen a la pared celular mediante interacciones electrostáticas y son reducidos por las biomoléculas presentes en la pared celular formando las NPs (Kashyap et al. 2013). Se han postulado algunos mecanismos y moléculas implicadas en los procesos de biosíntesis, sin embargo, aún no se han dilucidado por completo. En el caso de *F. oxysporum* se ha reportado que es capaz de producir NPs de diversos materiales como la plata, oro, circonio, silicio, titanio, platino, titanio de bario y sulfuro de cadmio mediante la secreción de enzimas y biomoléculas (Bansal et al., 2006; Priyabrata Mukherjee, et al., 2002; Riddin et al., 2006).

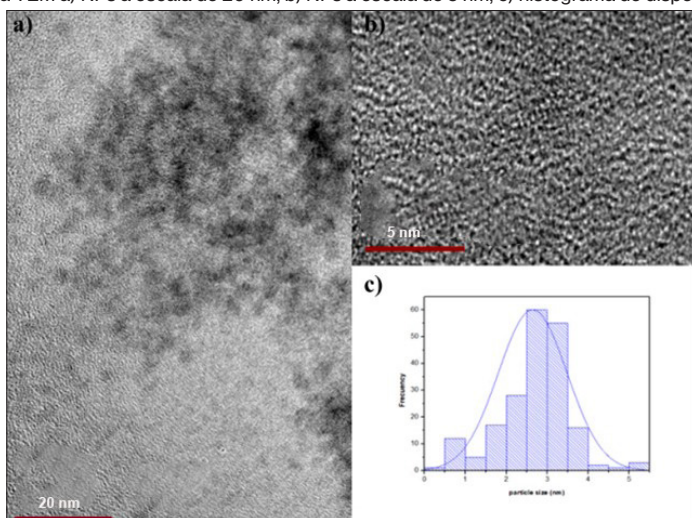
Los hongos son capaces de producir una amplia gama de moléculas proteicas y enzimas, sin embargo estas varían de acuerdo a la especie y a las condiciones de crecimiento; se ha observado que el tipo de biomolécula y la cantidad producida son diferentes entre el filtrado extracelular y la biomasa, ya que en el filtrado extracelular, el hongo se somete a estrés al no tener los nutrientes necesarios para su crecimiento por lo que secretan una gran cantidad de biomoléculas, las cuales son las responsables de la reducción y recubrimiento de las NPs, por lo que dependiendo del tipo de síntesis utilizado las características finales de las NPs pueden ser diferentes (Hamedi et al., 2017).

Vetchinkina y col. (2018) evaluaron la síntesis intracelular y extracelular de NPs de HAuCl₄ con 4 diferentes hongos *Pleurotus ostreatus*, *Lentinus edodes*, *Ganoderma lucidum*, y *Grifola frondosa* y observaron que dependiendo del tipo de síntesis, la forma y tamaño de las NPs se ve afectada; mediante síntesis intracelular se formaron NPs de 50 -100 nm de diámetro y de diferentes formas (hexagonal, tetragonal y triangular) mientras que con el filtrado extracelular se obtuvieron NPs más homogéneas, esféricas y de menor tamaño 2- 20 nm de diámetro, así mismo evaluaron la actividad de los siguientes compuestos Mn-peroxidasa, lacasas y tirosinasas encontrando que la cantidad variaba de acuerdo al tipo de hongo, no obstante había una mayor producción de todos los compuestos en el filtrado extracelular en comparación con el de la biomasa, por lo que la reducción de iones y formación de partículas está directamente relacionada con el metabolismo de los hongos.

A causa de la gran variedad de componentes biológicos que presenta la biomasa y aquellos excretados al medio acuoso; los nanomateriales que son sintetizadas utilizando la biomasa pueden dar como resultado nanopartículas heterogéneas en tamaño, estructura y composición, con baja pureza, y con un excedente de materia orgánica que puede interferir para su correcta caracterización y con sus potenciales aplicaciones (Reyes et

al., 2009). En nuestro grupo de trabajo se sintetizaron CdSNPs utilizando un residuo de azufre y la biomasa de *F. oxysporum f. sp. lycopersici*; el hongo se creció en 30 ml de MGY (g/L) (6 g extracto de malta, 10 g glucosa, 3 g extracto de levadura, 5 g peptona) en agitación constante por 4 días a 30°C, la biomasa resultante se recuperó por filtración al vacío y se incubó 6 g de biomasa con 62.5 mL de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 0.1 mM y 0.62 g del residuo de azufre por 12 h a 30°C, obteniendo CdSNPs esféricas de 2.64 ± 0.84 nm de diámetro, sin embargo en la micrografía de TEM (Fig. 2), las NPs se observan aglomeradas y rodeadas de un excedente de material orgánica, lo cual concuerda con el diámetro hidrodinámico determinado mediante DLS (Dispersión de luz dinámica) de $195.61.94 \pm 4.04$ nm.

Fig. 2 Micrografía TEM a) NPs a escala de 20 nm, b) NPs a escala de 5 nm, c) histograma de dispersión de tamaños.



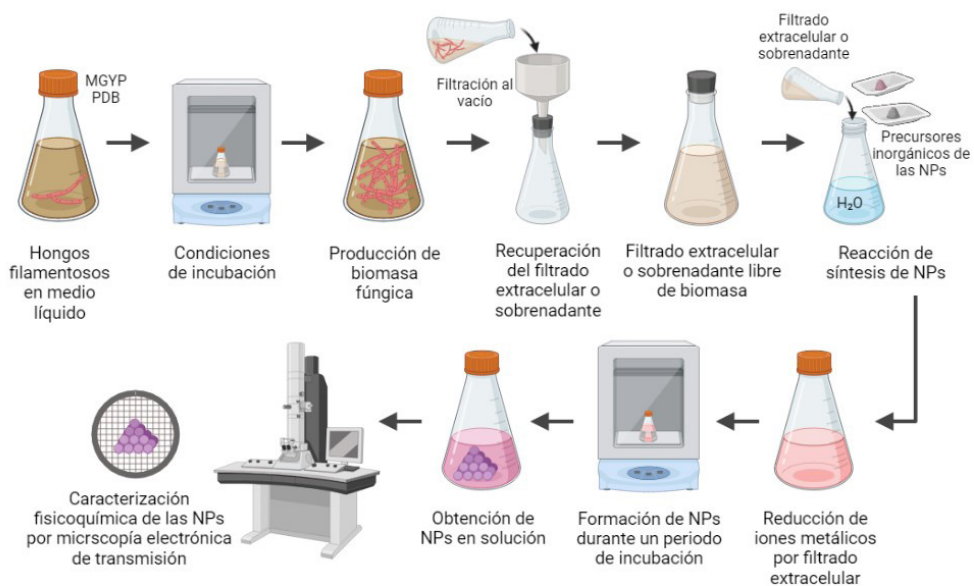
Actualmente se explora nuevas metodologías de síntesis de nanomateriales a partir de extractos acuosos a partir de la biomasa de hongos filamentosos con la finalidad de eliminar la mayor parte de impurezas y componentes biológicos no esenciales para su síntesis y así optimizar la producción de NPs y conseguir NPs más puras. No obstante, algunos autores han reportado que no se logró sintetizar NPs a partir del filtrado extracelular de *F. oxysporum f. sp. lycopersici* y que fue necesario el uso de su biomasa para lograr la síntesis (Sandoval-Cárdenas, 2017).

5 SÍNTESIS DE CdSNPs A PARTIR DEL FILTRADO EXTRACELULAR Y FILTRADO LIBRE DE CÉLULAS

La síntesis fúngica de CdSNPs a partir del filtrado extracelular es el proceso en el cual se obtienen nanomateriales que son sintetizados y recubiertos mediante biomoléculas presentes en el medio de cultivo o sobrenadante donde fue crecido

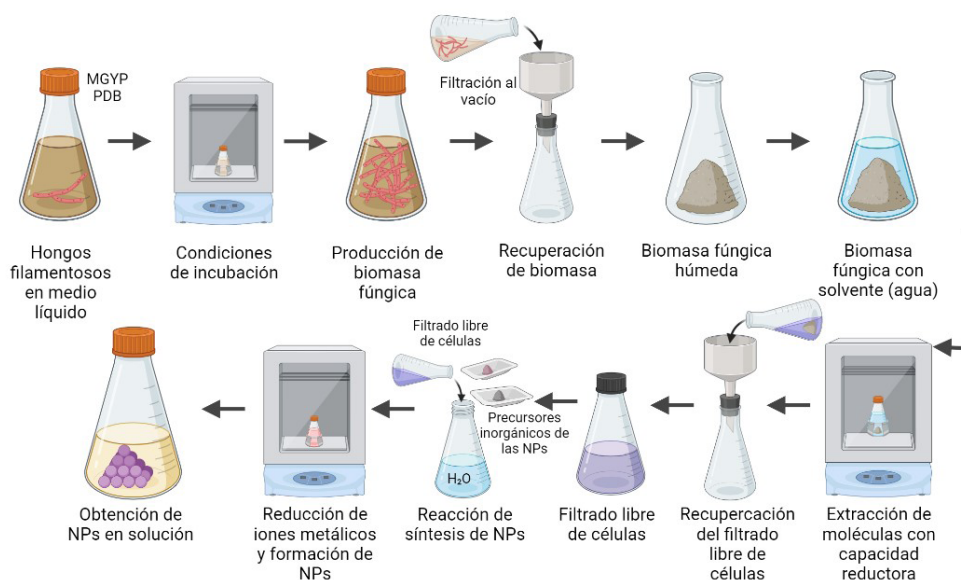
el hongo (Fig. 3). Esto debido a que en dicho medio se encuentran compuestos que son liberados por el hongo como producto de su metabolismo primario y secundario (Sandoval-Cárdenas, 2017), de los cuales algunos compuestos activos, generalmente provenientes del metabolismo secundario tienen la capacidad reductora necesaria para llevar a cabo la síntesis y recubrimiento de las nanopartículas; sin embargo, el filtrado extracelular puede llegar a ser poco efectivo (Hamedi et al., 2017). Hamedi y col. (2017) han demostrado que el uso del filtrado extracelular del hongo *F. oxysporum* obtenido de la fase estacionaria del cultivo, es poco eficiente en la síntesis de nanopartículas de plata (AgNP). Por otro lado, Sandoval-Cárdenas (2017) utilizaron el filtrado extracelular de *F. oxysporum* para la síntesis de CdSNPs sin éxito. En general, la síntesis de NPs biogénicas mediante el filtrado extracelular de hongos en comparación con la síntesis mediada por el uso del filtrado libre de células, resulta en la obtención de nanopartículas más grandes y de mayor heterogeneidad en cuanto a su tamaño y estructura, así como en un proceso poco eficiente (Hamedi et al., 2017). Lo anterior se sugiere es causa de la participación de diversos componentes biológicos sobre el recubrimiento de las NPs, pues para el caso del filtrado extracelular, una cantidad abundante de componentes del medio de cultivo y de metabolitos secretados por los hongos, pueden estar involucrados en el recubrimiento de los nanomateriales, mientras que los componentes biológicos del filtrado libre de células que participan en el recubrimiento de las NPs, son menos abundantes y diversos al ser extraídos a partir de la biomasa de los hongos con algún solvente en específico.

Fig. 3 Esquema general de la síntesis de CdSNPs a partir del filtrado extracelular.



La síntesis fúngica de NPs mediante el filtrado libre de células tiene lugar cuando se obtienen nanomateriales biogénicos sintetizados y recubiertos con biomoléculas que se extraen de la biomasa fúngica al ponerla en contacto con algún solvente específico por un tiempo determinado (Fig. 4). Lo anterior se debe a que el uso de solventes sobre la biomasa de los hongos extrae ciertos componentes biológicos, dependiendo de las características fisicoquímicas de ambos, lo que reduce el número de componentes que no contribuyen en la síntesis y recubrimiento de las nanopartículas y mejora la homogeneidad de los nanomateriales obtenidos en cuanto a su tamaño, composición y estructura (Madakka et al., 2018).

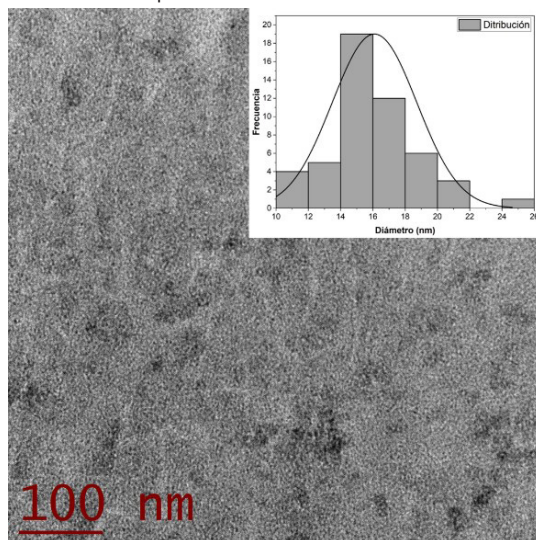
Fig. 4 Esquema general de la síntesis de CdSNPs a partir del filtrado libre de células.



El uso de solventes para la extracción de compuestos orgánicos a partir de plantas y biomasa de microorganismos se ha reportado en numerosas investigaciones (Hernández-Jiménez, 2021). En el campo de las nanopartículas se explora el uso de solventes como el agua para la extracción de moléculas con capacidad reductora como enzimas reductasas, carbohidratos, fenoles, flavonoides y moléculas mediadoras como el ATP, NADH y NADPH para convertir la sal metálica en nanopartícula (Hietzschold et al., 2019), así como también la extracción de aminoácidos, proteínas u otras moléculas que contengan los grupos funcionales carboxilo ($-\text{COOH}$), amino ($-\text{NH}_2$), hidroxilo ($-\text{OH}$) y tiol ($-\text{SH}$) necesarios para el proceso de recubrimiento de las nanopartículas, mismos que les brindarán características de afinidad hacia ciertos compuestos y con ello, hacia alguna aplicación en particular (Sandoval-Cárdenas, 2017).

Hasta donde se tiene conocimiento, no se ha reportado el uso del filtrado libre de células para la síntesis de CdSNPs. No obstante, existen reportes que utilizan el filtrado libre de células obtenido de la biomasa de hongos filamentosos del género *Fusarium* para la producción de nanopartículas de plata (Hamedi et al., 2017; Madakka et al., 2018), donde el uso de agua como solvente para la producción del filtrado libre de células para la síntesis de nanopartículas, resultó altamente eficiente en comparación con otros métodos de síntesis biogénica, pues se obtienen nanopartículas más pequeñas y con menor heterogeneidad en tamaño (Hamedi et al., 2017). Por lo anterior, en nuestro grupo de trabajo recientemente se estudió con éxito la síntesis de CdSNPs a partir del filtrado libre de células de *F. oxysporum* obtenido al poner en contacto 25 mL de agua destilada estéril con la biomasa del hongo al 6% (1.5 g) crecida en medio MGYP (Hernández-Jiménez, 2021). A partir de ésta investigación se ha encontrado que es posible sintetizar CdSNPs con diámetro promedio de 16.1 ± 2.6 nm a partir de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y S° como precursores inorgánicos (Fig. 6). Al momento de redactar este documento, no se tienen información sobre otros grupos de trabajo que reporten la síntesis de CdSNPs a partir del filtrado libre de células de *Fusarium* obtenido con solventes distintos al agua, así, nuestro grupo de investigación encontró que el filtrado libre de células obtenido a partir de metanol presenta concentraciones similares de poder reductor y NADH al filtrado libre de células obtenido a partir de agua (Fig. 5), por lo que se confirma la capacidad de extracción de compuestos reductores y cofactores redox como el NADH por dicho solvente, los cuales son necesarios para diferentes reacciones enzimáticas y químicas de reducción y oxidación, necesarias para la síntesis biológica de las nanopartículas (Hietzschold et al., 2019).

Fig. 5 CdSNPs sintetizadas a partir del filtrado libre de células de *Fusarium oxysporum*.



6 CONCLUSIÓN

Se ha observado que las características finales de las NPs como forma, tamaño y dispersión varían de acuerdo al método de síntesis utilizado, debido a los componentes biológicos presentes en la biomasa, filtrado extracelular y filtrado libre de células que resultan del metabolismo del hongo. En el presente documento se reportan algunos resultados de la investigación de nuestro grupo de trabajo donde se demostró que es posible sintetizar CdSNPs con diferentes características cuando se utiliza biomasa y filtrado libre de células de *F. oxysporum*, obteniendo NPs más pequeñas (2.64 ± 0.84 nm), aglomeradas y con exceso de materia orgánica para el primer caso, mientras que con el filtrado libre de células se observan NPs de mayor tamaño (16.1 ± 2.6 nm), dispersas y sin excedente orgánico, por lo que de acuerdo a la aplicación de interés, será el método de síntesis a utilizar.

REFERENCIAS

- Ahmad, A., Mukherjee, P., Mandal, D., Senapati, S., Khan, M. I., Kumar, R., & Sastry, M. (2002). Enzyme-Mediated Extracellular Synthesis of CdS Nanoparticles by the Fungus, *Fusarium oxysporum*. 12108–12109.
- Bansal, V., Poddar, P., Ahmad, A., & Sastry, M. (2006). Room-temperature biosynthesis of ferroelectric barium titanate nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 128(36), 11958–11963. <https://doi.org/10.1021/ja063011m>
- Bansal, V., Rautaray, D., Ahmad, A., & Sastry, M. (2004). Biosynthesis of zirconia nanoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*. *Journal of Materials Chemistry*, 14(22), 3303–3305. <https://doi.org/10.1039/b407904c>
- Bansal, V., Rautaray, D., Bharde, A., Ahire, K., Sanyal, A., Ahmad, A., & Sastry, M. (2005). Fungus-mediated biosynthesis of silica and titania particles. *Journal of Materials Chemistry*, 15(26), 2583–2589. <https://doi.org/10.1039/b503008k>
- Hamedi, S., Ghaseminezhad, M., Shokrollahzadeh, S., & Shojaosadati, S. A. (2017). Controlled biosynthesis of silver nanoparticles using nitrate reductase enzyme induction of filamentous fungus and their antibacterial evaluation. *Artificial Cells, Nanomedicine and Biotechnology*, 45(8), 1588–1596. https://doi.org/10.1080/21691401.2016.1267011/SUPPL_FILE/IANB_A_1267011_SM3288.TIF
- Hernández-Jiménez, M. O. (2021). Evaluación de la capacidad de *Fusarium oxysporum* para producir nanopartículas de sulfuro de cadmio a partir de un residuo de azufre. [Universidad Autónoma de Querétaro]. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/3105>
- Hietzschold, S., Walter, A., Davis, C., Taylor, A. A., & Sepunaru, L. (2019). Does Nitrate Reductase Play a Role in Silver Nanoparticle Synthesis? Evidence for NADPH as the Sole Reducing Agent [Rapid-communication]. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(9), 8070–8076. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b00506>
- Jacob, J. M., Lens, P. N. L., & Balakrishnan, R. M. (2016). Microbial synthesis of chalcogenide semiconductor nanoparticles: a review. *Microbial Biotechnology*, 9(1), 11–21. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12297>

- Kozhevnikova, N. S., Vorokh, A. S., & Uritskaya, A. A. (2015). Cadmium sulfide nanoparticles prepared by chemical bath deposition. *Russian Chemical Reviews*, 84(3), 225–250. <https://doi.org/10.1070/rcr4452>
- Kumar, M. (2019). Semiconductor Nanoparticles Theory and Applications. *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(2), 491–494. <http://www.ripublication.com>
- Madakka, M., Jayaraju, N., & Rajesh, N. (2018). Mycosynthesis of silver nanoparticles and their characterization. *MethodsX*, 5, 20–29. <https://doi.org/10.1016/J.MEX.2017.12.003>
- Mohammed, Y. M. M., & Khedr, Y. I. (2021). Applications of *Fusarium solani* YMM20 in bioremediation of heavy metals via enhancing extracellular green synthesis of nanoparticles. *Water Environment Research*, 93(9), 1600–1607. <https://doi.org/10.1002/WER.1542>
- Patil, A. G., Kounaina, K., Aishwarya, S., Harshitha, N., Satapathy, P., Hudeda, S. P., Zameer, F. (2021). Myco-Nanotechnology for Sustainable Agriculture: Challenges and Opportunities. In *Fungal Biology* (pp. 457-479). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60659-6_20
- Riddin, T. L., Gericke, M., & Whiteley, C. G. (2006). Analysis of the inter- and extracellular formation of platinum nanoparticles by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* using response surface methodology. *Nanotechnology*, 17(14), 3482–3489. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/17/14/021>
- Reyes, L. R., Gómez, I., & Garza, M. T. (2009). Biosynthesis of Cadmium Sulfide Nanoparticles by the Fungi *Fusarium* sp. *International Journal of Green Nanotechnology: Biomedicine*, 1(1), B90-B95. <https://doi.org/10.1080/19430850903149936>
- Sandoval-Cárdenas, D. I. (2017). Síntesis por vía microbiana de nanopartículas de sulfuro de cadmio a partir de un residuo industrial (Issue April 2010) [Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada-IPN]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2354.9680>
- Siddiqi, K. S., & Husen, A. (2016). Fabrication of Metal Nanoparticles from Fungi and Metal Salts: Scope and Application. *Nanoscale Research Letters*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s11671-016-1311-2>
- Vetchinkina, E., Loshchinina, E., Kupryashina, M., Burov, A., Pylaev, T., & Nikitina, V. (2018). Green synthesis of nanoparticles with extracellular and intracellular extracts of basidiomycetes. *PeerJ*, 6, e5237-e5237. <https://doi.org/10.7717/peerj.5237>

SOBRE EL ORGANIZADOR

El Dr. Juan Ramón Collet-Lacoste es licenciado en ciencias químicas de la Universidad de Buenos Aires (UBA) y PhD de la Universidad de Paris Sud (XI). Su especialidad es la físico química, en la rama de la termodinámica de los procesos irreversibles (TPI), especialmente en el estudio de los procesos cinéticos en los sistemas electroquímicos.

Ha desarrollado varios trabajos relacionados a los mecanismos de reacción y transporte de materia sobre electrodos metálicos, así como el desarrollo de electrodos para celdas de combustible de baja temperatura (fuel cells).

Es un especialista en la técnica de impedancia electroquímica, en la cual ha publicado varios artículos en revistas internacionales.

Desde el punto de vista experimental, ha trabajado en el desarrollo de celdas de combustible con Nps de platino y paladio y de electrolizadores alcalinos de baja temperatura.

Actualmente realiza trabajos sobre la oxidación acuosa del aluminio en gradientes de temperatura. Este trabajo esta relacionado a los elementos combustibles de los reactores experimentales multipropósito para la fabricación de radioisótopos de uso médico.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Antiseptics 126, 127

Aquatic environment 98, 99, 100, 101

Au Nanoparticle 87, 96

B

Bactericidal 126, 127

Bioremediation 98, 99, 100, 101, 105, 106, 125

Biosíntesis extracelular 116

Biosíntesis intracelular 116

C

Carbon nanoparticles 99, 101, 104, 135, 136, 137, 138, 139, 142

Catálise 29, 62, 63, 64, 66, 67, 81

Cerâmicas funcionais 28

Contaminants 98, 99, 100, 101, 102

Controlled release 126

E

Efeito Plasmônico 62, 71, 76, 77, 80, 81, 82, 83

Extracto 108, 109, 110, 111, 112, 113, 120

F

Feixe de elétrons 49, 52, 53, 54, 55, 56, 57

Filtradhussao extracelular 116

Filtrado libre de células 116, 118, 120, 121, 122, 123, 124

Fotocatálise 61, 62, 64, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 78, 80, 81, 82, 83

H

Hidrotermal assistido por micro-ondas 28, 29

Hongo 108, 109, 111, 113, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124

Hybrid film 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 95

L

Low temperature fuel cells 1, 24

M

Metais nobres 61, 62, 68, 69, 83

N

Nanofiber 48, 87, 88, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 101

Nanomateriais 34, 39, 54, 57

Nanoparticles 1, 2, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 38, 39, 40, 48, 58, 59, 62, 84, 85, 87, 88, 93, 94, 95, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 114, 115, 116, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 142

Nanoparticles synthesis 1, 85

Nanopartículas 28, 34, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 47, 54, 61, 64, 67, 68, 70, 72, 76, 83, 85, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 123, 124, 125, 134

Nanopartículas Metálicas 39, 40, 54, 61, 62, 68, 83

Nanotechnology 24, 59, 87, 96, 125, 126, 141, 142

Nucleation and growth mechanism 1

O

Óxido de cério 28, 29, 30, 31, 32, 33, 37, 38

Óxido de grafeno reduzido 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56

P

Plant probiotics 135

Praseodímio 28, 30, 33, 37

Prata 31, 39, 40, 41, 47, 70, 82, 85

Puntos cuánticos 109, 111

R

Radiação gama 49, 52, 53, 56, 57, 59

Radiação ionizante 49, 52, 53, 54

S

Self-assembly 87, 88, 91, 95, 96

SERS 39, 40, 42, 46, 47, 48

Soil 99, 135, 136, 137, 138, 139, 141

T

Tetramethylbenzidine 87, 96

Thermodynamic properties 1

Transition metals 1, 3, 12, 22

V

Vegetable 135

Virucidal and bioactive compounds 126