



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA GENERAL

TESIS

“SÍNTESIS Y ACTIVIDAD REGENERATIVA DEL NANOMATERIAL
DE $Scmo/ZnO$ EN QUEMADURA TIPO A”

*PRESENTA PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN
QUÍMICA:*

Jonathan Valencia Hernández

DIRECTOR DE TESIS.

Ph. D. JOSÉ ALBINO MORENO RODRIGUEZ
Depto. de Quím. Gral. FCQ. BUAP

ASESOR DE TESIS

Dra. LILIÁN AURORA MORENO RODRIGUEZ
Instituto de Física

Noviembre 2023



OFICIO C.Q./CT 063P/2023

**C. Jonathan Valencia Hernández
PRESENTE**

Toda vez que se cuenta con la aprobación del Coordinador de la Licenciatura en Química, le comunico que su anteproyecto de Tesis denominado:

“SINTESIS Y ACTIVIDAD REGENERATIVA DEL NANOMATERIAL DE ScmO/ZnO , EN QUEMADURA DE TIPO A”

ha sido autorizado, siendo:

Dr. José Albino Moreno Rodríguez, Director de Tesis
Dra. Lilián Aurora Moreno Rodríguez, Asesora Externa de Tesis

Y con esta fecha se registra en los archivos de la Dirección de esta Facultad, para los fines legales que tenga lugar.

Atentamente

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z., 24 de octubre de 2023.

Dr. Jorge Raúl Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas



c.c.p. Archivo

Cadena digital: 0Px.Tj"Nk\$Jo(Ax"lf)My#Tt-Fs"vd)Yn"Hh&Eb,Qh.Xj\$Ef%Gt+Fe-Wp+Dg/Vg"Lm"Av)Rs/Dj\$Nn&Ok!Md-Ld!Vn*Go)Ur-Hs(Or'Jf\$Nq!Wx)Pe%Ta"Wq#Ex#Kn&Uw%Ws-Fz*Nq,De\$Wg)Pz)Hx#Gr/Ye\$Ol(Td/Nx'Xc\$Uh.Pi+Oz-Vg)Yq&Ny+Tq+Hu#l'Dx)Tq\$Hf*Aq.Og(Ld!Jd*Zg-Yx,Ef(Nx,Xj'Pv*Nr)Gl-Rz)Kl+Jo%MI"Mb)Iz!Gh*Qb.La/Rt%Qf%Pb,

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-9
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 5500 Ext. 7390



OFICIO C.Q./CT 047A/2023

Dr. Jorge R. Cerna Cortez
Director Facultad de Ciencias Químicas
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Los que suscriben, integrantes de la Comisión Revisora de Tesis del alumno de la Licenciatura en Química

Jonathan Valencia Hernández

comunican a Usted la autorización para la publicación del trabajo de tesis bajo la dirección del Dr. José Albino Moreno Rodríguez y de la Dra. Lilián Aurora Moreno Rodríguez con el siguiente título:

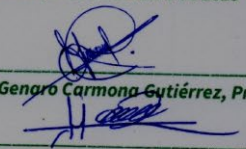
"SINTESIS Y ACTIVIDAD REGENERATIVA DEL NANOMATERIAL DE Scmo/ZnO , EN QUEMADURA DE TIPO A"

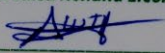
Se extiende la presente, para los usos que al interesado convengan el día 25 de octubre de 2023.


Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a 31 de octubre de 2023


MC. José Genaro Carmona Gutiérrez, Presidente


Dra. María Luisa Roxana Licón Ibarra, Secretario


MC. Carlos Alexei Alister Cervantes, Vocal

c.c.p. Archivo

Cadena digital: 3Im5Po%Ux,Uo,Vv!Fv,Xq&Ku*CmiYf.Pt9Rn5Rc/Np5tL.Hg!Hc(Mg!Ry-
Td.Zd'Jn/La'Ka!Hx\$Dp.Ab"Na%3c&Td%Kr,Uo-Al.Wj!Hm"pJ,CriEk+Mg"hw,Ck,Ke)Nk-C)Qc.Ra.Kr"zc"Qk-Gh,Yn"Le-
Vl"Dj,Yo!Us"Km!Mp!Bc!Ah.Qo-5LLc,Zx&Gv"Vh.Nr+Br,Az!Sw!Vr!n(X!5Qe-Hj.Gp"ln!Ve!Zk.Jv-
Zr"Zu!Mq!Dp!l!5Wg&Mq!Kc"Ps!Fw"Lf+Cf5

Facultad
de Ciencias
Químicas

San Claudio No. 1, Edificio FCQ-9
Ciudad Universitaria, Col. San Manuel
Puebla, Pue. C.P. 72540
01 (222) 229 5500 Ext. 7390

“Cuando se da de lo poco que se tiene, es cuando se da de verdad.”

Dedicatorias y Agradecimientos

A Dios Principalmente por darme la vida, por acompañarme siempre especialmente a lo largo de mi carrera y trayecto profesional, por ser mi luz en mi camino, darme la sabiduría, fortaleza para lograr mis objetivos y sueños.

A Pbro. Lic. Fernando Macedo Ronces por su gran apoyo en el inicio de mi carrera.

A mi madre y padre; Patricia Hernández Fraga y Oscar Valencia Olmos, por preocuparse siempre de mí, de darme todo lo necesario para seguir adelante, por sus consejos y su dedicación.

A mi única hermana Karla, compañera de camino de aprendizaje.

A mis demás familiares: abuelas (q. e. p. d.), abuelos, tías, tíos, primas, primos, conocidos y seres queridos que tanto aprecio y amo.

A mis amigas de secundaria y universidad Karen Arely Romero Zapata y Odalys Portillo Martínez, por los buenos momentos que pasamos .

A mis profesores que han sido una gran motivación para seguir adelante: M.C Ana María Cervantes Tavera ,Dr. Alejandro Gómez Sainz, Dr. Geolar Fetter, M.C. Lidia Meléndez Balbuena, Dra. Ana Lilia Padilla Velazco.

A Ph. D. José Albino Moreno Rodríguez, por abrirme las puertas y trabajar eficientemente en este trabajo y proyecto, por su entrega durante este trabajo de investigación

A Dra. Lilián Aurora Moreno Rodríguez por su tiempo y dedicación en cumplir la labor de ayudarme en corregir y guiarme en este trabajo.

A los miembros de mi jurado: Dra. María Luisa Roxana Liconá Ibarra, M.C. José Genaro Carmona Gutiérrez y M.C. Carlos Alexei Alister Cervantes.

A Dr. Efraín Rubio Rosas, Dr. Franchescoli Didier Velázquez, Dr. Ulises Ángel Peña Rosas, por apoyarme en la caracterización de mis productos.

“Si sirves a la naturaleza, ella te servirá a ti”

Confucio

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1.	Tamaño de los objetos.	15
Fig. 2.	Clasificación de los nanomateriales.....	17
Fig. 3.	Zinc metálico.	28
Fig. 4.	Ejemplares de esfalerita (izquierda), calamina (centro) y smithsonita (derecha).....	28
Fig. 5.	Óxido de zinc (izquierda), y cincita (derecha).	29
Fig. 6.	Estructuras cristalinas de ZnO: (a) sal de roca cúbica, (b) blenda de zinc cúbica y (c) wurzita hexagonal. Las esferas sombreadas en gris y negras representan átomos de Zn y O, respectivamente. (Özgür et al., 2005).	30
Fig. 7.	Mapa distribución del árbol de Pirul en México. (Schinus molle L.).	31
Fig. 8.	Árbol de Pirul (Schinus molle L.) (arriba) y hojas y frutos (abajo).	32
Fig. 9.	Tipos de quemaduras.	38
Fig. 10.	Distribución geográfica de quemaduras en México (enero-junio 2014) (Moctezuma Paz LE, Francisco I, Jiménez Gonzales S, et al., 2015).	40
Fig. 11.	Izquierda: hojas del árbol de pirul y derecha: equipo Soxhlet.	42
Fig. 12.	Síntesis del nanomaterial de ZnO con Scmo-90. sol-gel.	42
Fig. 13.	Nanomaterial de como <i>Scmo/ZnO-40-15</i>	43
Fig. 14.	Equipo espectrofotómetro UV-VIS Varian modelo Cary 100	43
Fig. 15.	Equipo espectrofotómetro de infrarrojo	44
Fig. 16.	Equipo espectrofotómetro de Difracción de Rayos X (DRX).	44
Fig. 17.	Equipo SEM.	45
Fig. 18.	Espectro de FTIR del extracto alcohólico concentrado de Scmo-90.	46
Fig. 19.	Espectro de FTIR del nanomaterial de ZnO-40.	47
Fig. 20.	Espectro de FTIR del nanomaterial Scmo/ZnO-40-15.	48
Fig. 21.	Espectros de UV-VIS del extracto alcohólico Scmo-90.	49
Fig. 22.	Micrografía del nanoreservorio de ZnO-40	49
Fig. 23.	Micrografía del nanomaterial de Scmo/ZnO-40-15	50
Fig. 24.	Quemadura tipo A en la parte posterior del antebrazo (2 de junio del 2023).....	51
Fig. 25.	Quemadura tipo A en la parte posterior del antebrazo (3 de junio del 2023).....	52
Fig. 26.	Quemadura tipo A en la parte posterior del antebrazo (9 de junio del 2023, izquierda, 10 de junio del 2023)	52
Fig. 27.	Quemadura tipo A en la parte posterior del antebrazo (11 de junio del 2023, izquierda, 12 de junio del 2023).....	53

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Propiedades del óxido de Zinc.....	30
Tabla 2.	Árbol taxonómico del Pirul.	31
Tabla 3.	Descripción del árbol de Pirul <i>Schinus molle</i>	32
Tabla 4.	Usos y aplicaciones del árbol de Pirul.	34
Tabla 5.	Composición Fitoquímica de <i>Schinus molle</i> L.	35
Tabla 6.	Criterios de Hospitalización.	36
Tabla 7.	Correlación de las clasificaciones de Benaim, Converse-Smith y American Burns Association (ABA*) con los estratos cutáneos comprometidos.	37
Tabla 8.	EDS del ZnO	50
Tabla 9.	EDS de <i>Scmo/ZnO</i> -40-15.....	50

SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS

Scmo *Schinus molle* L.

Zn Zinc

O Oxígeno

ZnO Óxido de zinc

nm Nanómetro

NPs Nanopartículas

a.C. Antes de Cristo

GQDs Puntos Cuánticos de Grafeno (Graphene quantum dot)

CQDs Puntos Cuánticos de Carbono (Carbon quantum dot)

BNNS Nanocapas de nitruro de boro (Boron Nitride Nano-sheets)

TMDC Monocapas de dicalcogenuro de metales de transición (Transition-metal dichalcogenide)

BSG Nanopartículas de goma de semilla de albahaca (basil seed gum nanoparticles)

QD Puntos cuánticos (Quantum dots)

0D Dimensión cero

1D Primera dimensión

2D Segunda dimensión

3D Tercera dimensión

IUPAC Unión Internacional de Química Pura y Aplicada

PDI Polidispersidad

CVD Deposición química en fase de vapor

eV Electronvoltio

aq Acuoso

°C Grados Celsius

PIE Punto Isoeléctrico de Soporte

m Metros

cm Centímetros

M. rosae Macrosiphum rosae

mL Mililitros

kV Kilovoltios

° Grados

Índice general

Dedicatorias y Agradecimientos	5
INDICE DE FIGURAS	6
INDICE DE TABLAS	7
SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURAS	7
Introducción	11
Resumen	12
Justificación	12
Objetivos	12
Hipótesis	13
Capítulo 1 Marco Teórico	14
1. Nanociencia y nanotecnología	15
1.1 Nanomateriales	16
1.1.1 Los primeros nanomateriales y sus primeros contactos con el ser humano.....	16
.....	17
.....	17
1.2 Clasificación de los nanomateriales	17
1.2.1 Dimensión	18
1.2.2 Origen.....	19
1.2.3 Composición.....	20
1.2.4 Fase.....	20
1.2.5 Dispersión	21
1.3 Síntesis de nanomateriales.	21
1.3.1 De arriba hacia abajo	22
1.3.2 De abajo hacia arriba	22
1.4 Zinc	28
1.4.1 Óxido de Zinc (ZnO).....	29
1.4.2 Aplicaciones del ZnO	29
1.4.3 Sistemas cristalinos del ZnO.....	30
1.5 Árbol de Pirul (Schinus molle L.).....	31
1.5.1 Taxonomía y descripción.....	31
1.5.2 Usos y aplicaciones.....	33
1.5.3 Composición Fitoquímica de Schinus molle L.....	35

1.6 Quemaduras.....	36
1.6.1 Tipo A.....	37
1.6.2 Tipo AB.....	37
1.6.3 Tipo B.....	38
1.6.4 Tipos de quemaduras clasificadas por el agente causal.....	38
1.6.5 Tratamientos.....	39
1.6.6 Epidemiología.....	39
Capítulo 2 Diseño experimental	41
2.1 Recolección de la planta y muestreo de <i>Schinus molle</i> L.....	42
2.2 Síntesis del extracto alcohólico concentrado de <i>Scmo</i> -90 y el nanomaterial <i>Scmo/ZnO</i> -40-15.....	42
2.3 Aplicación del nanomaterial <i>Scmo/ZnO</i> -40-14 a un masculino de 47 años con quemadura tipo A.....	43
2.4 Técnicas de caracterización.....	43
2.4.1 Espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS).....	43
2.4.2 Espectroscopia Infrarroja con transformadas de Fourier (FTIR).....	44
2.4.3 Espectroscopia de Difracción de Rayos X (DRX).....	44
2.4.4 Espectroscopia de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM).....	45
2.5 Discusión de resultados.....	45
2.5.1 Espectroscopia FTIR.....	45
2.5.2 Espectroscopia Ultravioleta-Visible.....	48
2.5.3 Espectroscopia Electrónica de Barrido.....	49
2.5.4 Espectroscopia de energía dispersiva.....	50
2.6 Resultados y discusión del efecto de regeneración epidérmica con nanomatrices de <i>Scmo/ZnO</i> en un masculino de 47 años con Quemadura Tipo A.....	51
CONCLUSIONES.....	53
PERSPECTIVAS.....	54
Bibliografía.....	54

Introducción

La síntesis de nanomateriales de tipo inorgánico con sustancias de origen natural para su posterior aplicación en el área biomédica, ambiental u alguna otra área representa una alternativa para contribuir a las soluciones de las problemáticas existentes en dichas áreas.

Los nanomateriales inorgánicos y en particular el óxido de zinc nanométrico, sintetizado por la vía sol-gel permite la encapsulación de sustancias naturales permitiendo un rendimiento superior al 80%, además permite que las moléculas sean homogéneas a escalas nanométricas.

Dentro del proceso se produce de forma simultánea la reacción de la hidrólisis y condensación de un alcóxido para la formación de un sol, seguido de su gelificación y finalmente evaporación del solvente.

En el presente proyecto de investigación, el óxido de zinc nanométrico se sintetiza a partir de la hidroxilación del alcóxido denominado n-etóxido de zinc al 98%, mediante el proceso de síntesis de nanomateriales sol-gel.

El óxido de zinc es un óxido muy frecuente en la corteza terrestre sobre todo en rocas llamadas cincita, es de color blanco, el cual usualmente contiene manganeso y otras impurezas que le dan un color amarillo y rojo. Lo más probable es que los primitivos utilizaran compuestos de zinc, procesados o sin procesar, como pintura o ungüento terapéutico, pero se desconoce su composición. El "Pushpanjan", probablemente óxido de zinc, aparece como ungüento para los ojos y las heridas abiertas en el clásico médico indio Charaka Samhita, que se cree que data del 500 a.C. o antes. (Craddock; P. T., 1998). El médico griego Dioscórides (siglo I d.C.) también menciona la pomada de óxido de zinc (Craddock; P. T., 2008). En "The canon of Medicine" (1025 d.C.), Avicena cita el óxido de zinc como terapia recomendada para numerosos trastornos cutáneos, incluido el cáncer de piel.

Aunque en la actualidad no se utiliza para tratar el cáncer, se emplea en una serie de productos para el cuidado de la piel, como polvos para bebés y tratamientos para la dermatitis del pañal, crema de calamina, champú anticaspa y pomadas antisépticas. (Harding, Fred John, 2007).

Por otro lado, el extracto alcohólico concentrado del Schinus molle, comúnmente conocido como árbol de pirul o falso pimentero, es ampliamente utilizado en medicina tradicional.

Se han relacionado efectos tónicos, antiespasmódicos y terapéuticos con la corteza y la resina, y ésta se utiliza para aliviar las caries. Los frutos frescos en infusión se utilizan para tratar la retención urinaria, así como las actividades pesticidas y/o repelente de diversas plagas.

Hervir las hojas y bañarse en el agua de la decocción sirve como analgésico, cicatrizante y antiinflamatorio de uso externo, y las hojas secas expuestas al sol se utilizan como cataplasma para curar el reumatismo y la ciática.

Las hojas y los frutos se utilizan como cataplasmas calientes en la medicina tradicional para tratar el reumatismo y otros problemas musculoesqueléticos. Las afecciones bronquiales pueden aliviarse haciendo una infusión con hojas de eucalipto e inhalándola. Su resina se utiliza de forma similar al lentisco.

El proyecto de investigación, consiste en obtener el extracto alcohólico concentrado al 90% del árbol de pirul (*Scmo-90*) y encapsularlo en la malla material nanométrico de óxido de zinc, sintetizado por el método sol-gel y aplicar las propiedades medicinales tradicionales que se menciona del árbol de pirul y las propiedades medicinales del óxido de zinc en tratamientos de accidentes (cicatrices y quemaduras), así como las insecticidas y/o repelentes en pulgón verde del rosal.

Resumen

El uso de extractos con propiedades curativas es un método sencillo y rentable para tratar accidentes quemaduras. Cuando se combinan con formas farmacológicas que optimizan el efecto del tratamiento, se desarrolla una alternativa que supera a las existentes. En este estudio, se combinaron dos supuestos promotores de la regeneración cutánea (ZnO y extracto de *Schinus molle L.*) en nanomatrices, por el método de extracción de Soxhlet. Caracterizadas por UV-VIS, FTIR, SEM y EDS. Finalmente, las nanomatrices diseñadas mostraron mejores resultados regenerativos respecto del control en un 22.5, 37.5, 40, 72.5 y 85 % a los 3, 6, 9, 12 y 15 días, respectivamente. Por lo que, la administración tópica de nanomatrices de *Scmo/ZnO*, poseen un potencial terapéutico, a considerar como tratamiento en lesiones de la piel en este caso quemaduras del tipo A.

Justificación

El uso del óxido de zinc como nanoreservorio y el extracto de *Schinus molle* (*Scmo/ZnO-40-15*) para el tratamiento de quemaduras del tipo A ya que forma parte de un procedimiento integro para el problema mencionado.

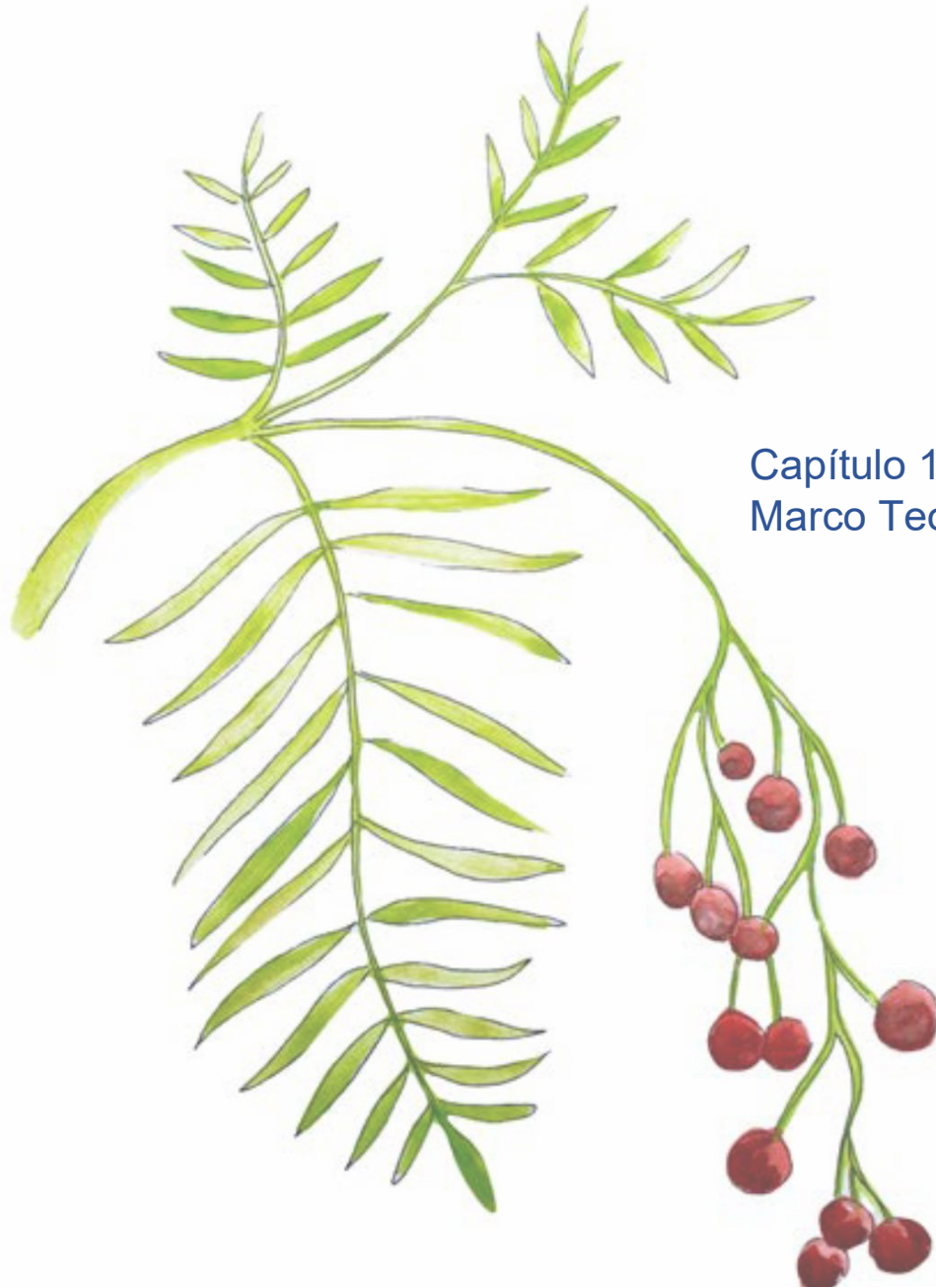
Dado que las materias primas utilizadas para crear las nanomatrices son naturales poseen ciertas cualidades que ayudan a la regeneración en quemaduras, además que esta síntesis sea más amigable con el medio ambiente.

Objetivos

Estudiar la actividad del nanomaterial (*Scmo/ZnO-40-15*) de óxido de zinc con extracto alcohólico concentrado de *Scmo-90* en quemaduras de tipo A producidas por accidentes en personas.

Hipótesis

La actividad del nanomaterial sintetizado *Scmo/ZnO-40-15* será útil y mejorara la regeneración tisular de quemaduras; es decir, ayuda al tratamiento de quemaduras por accidentes en personas; ya que se sabe que el óxido de zinc y extracto de *Schinus molle* pueden ayudar a contra estar estas afecciones.



Capítulo 1 Marco Teórico

Hojas y frutos del árbol de Pirul o falso pimentero (Schinus molle L.) pintura a acuarela. Imagen tomada de Guía Ilustrada de Plantas Medicinales en el Valle de México, pág.234 (Fonseca Chávez et al., 2020).

1. Nanociencia y nanotecnología

La nanociencia es la aspiración entre la ciencia e ingeniería en la que la humanidad trabaja para dominar la habilidad de fabricar materiales a escala muy pequeña.

El prefijo nano- deriva del latín nanus, que significa "enano", y actualmente se reconoce como un componente de la millonésima parte, es decir, un nanómetro (nm) equivale a la milmillonésima parte de un metro ($1/10^{-9}$).

La nanociencia es el estudio de los procesos básicos que tienen lugar en nanoestructuras con tamaños comprendidos entre 1 y 100 nm (Figura 1).

La nanotecnología es el campo de estudio que investiga, crea y produce materiales o sistemas a tamaños nanoscópicos para luego ponerlos en uso (Takeuchi, 2010).

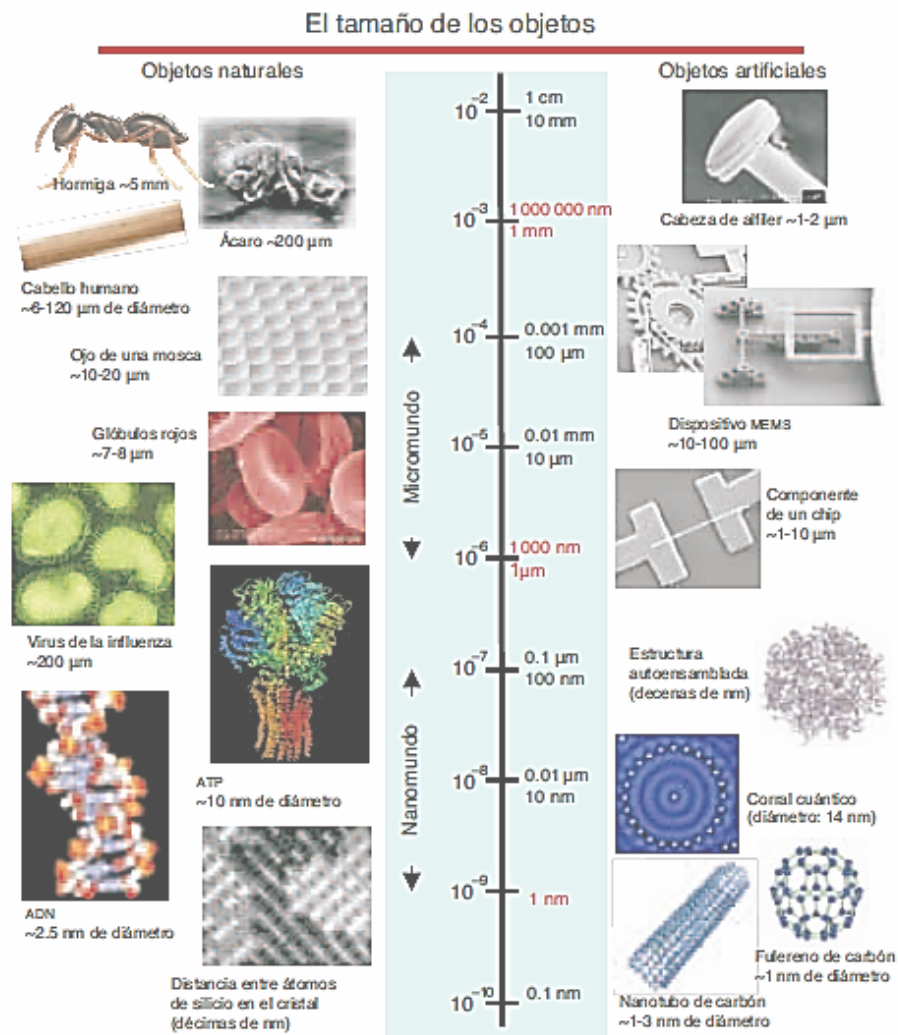


Fig. 1. Tamaño de los objetos.

1.1 Nanomateriales

Los nanomateriales son sustancias que incluyen partículas con una o más dimensiones que están en la nanoescala, o entre uno y 100 nanómetros; es decir, una milmillonésima parte de un metro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) es el tamaño de un nanómetro (nm).

La Comisión Europea adoptó una recomendación sobre la definición de nanomaterial en 2011, que se define como un material natural, accidental o fabricado que contiene partículas sueltas o que forman un agregado o aglomerado, y en el que el 50% o más de las partículas tienen una o más dimensiones externas en el rango de tamaño de un nanómetro a 100 nanómetros de tamaño numérico de partícula. La limitación del tamaño numérico de las partículas del 50% puede, en algunas circunstancias y cuando lo justifiquen consideraciones medioambientales, sanitarias, de seguridad o de competencia, sustituirse por un umbral comprendido entre el 1% y el 50% (INSHT, 2015).

1.1.1 Los primeros nanomateriales y sus primeros contactos con el ser humano

Aunque el término "nanomateriales" no llegó hasta finales del siglo XIX, ya se habían empleado anteriormente en civilizaciones antiguas.

Por ejemplo, en el antiguo Egipto, el tizón de las lámparas de aceite se utilizaba para crear tintes negros de gran opacidad y permanencia para escribir sobre hojas de juncia. Sin embargo, los antiguos egipcios desconocían por aquel entonces que el tizón incluía nanotubos de carbono.

Además, emplearon la química sintética para crear NPs de PdS_2 (disulfuro de paladio) con un diámetro de 5 nm, que utilizaron como componente en sus tintes capilares.

Durante más de 4.500 años, los habitantes de Chipre reforzaron materiales de matriz cerámica con nanofibras naturales de asbesto (50-200 nm de diámetro) y las utilizaron para blanquear tejidos y lana.

Alrededor del año 2575 a.C., los antiguos egipcios produjeron el azul egipcio, un tinte sintético compuesto por una mezcla nanométrica de vidrio y dióxido de silicio (cuarzo) ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ y SiO_2). Del mismo modo, China fabricó tinte azul hacia la misma época sustituyendo el Ca del azul egipcio por Ba ($\text{BaCuSi}_4\text{O}_{10}$), se ha señalado que las vidrieras medievales de iglesias y castillos son excelentes ejemplos de aplicaciones de nanomateriales, ya que los artesanos de la época descubrieron que mezclando pequeñas partículas de oro o plata con vidrio podían obtener cristales de diversos colores adecuados para su uso en las ventanas de estas estructuras.

Los artesanos no tenían ni idea de por qué su manipulación del vidrio tenía tal efecto. Ahora comprendemos que las diversas tonalidades de las vidrieras se deben a la producción de minúsculas nanopartículas de oro o plata con tamaños inferiores

a 100 nm (Barhoum et al., 2022; El-Kady et al., 2023; Heiligtag & Niederberger, 2013; Johnson-Mcdaniel et al., 2013; Mubeen et al., 2021; Walter et al., 2006).

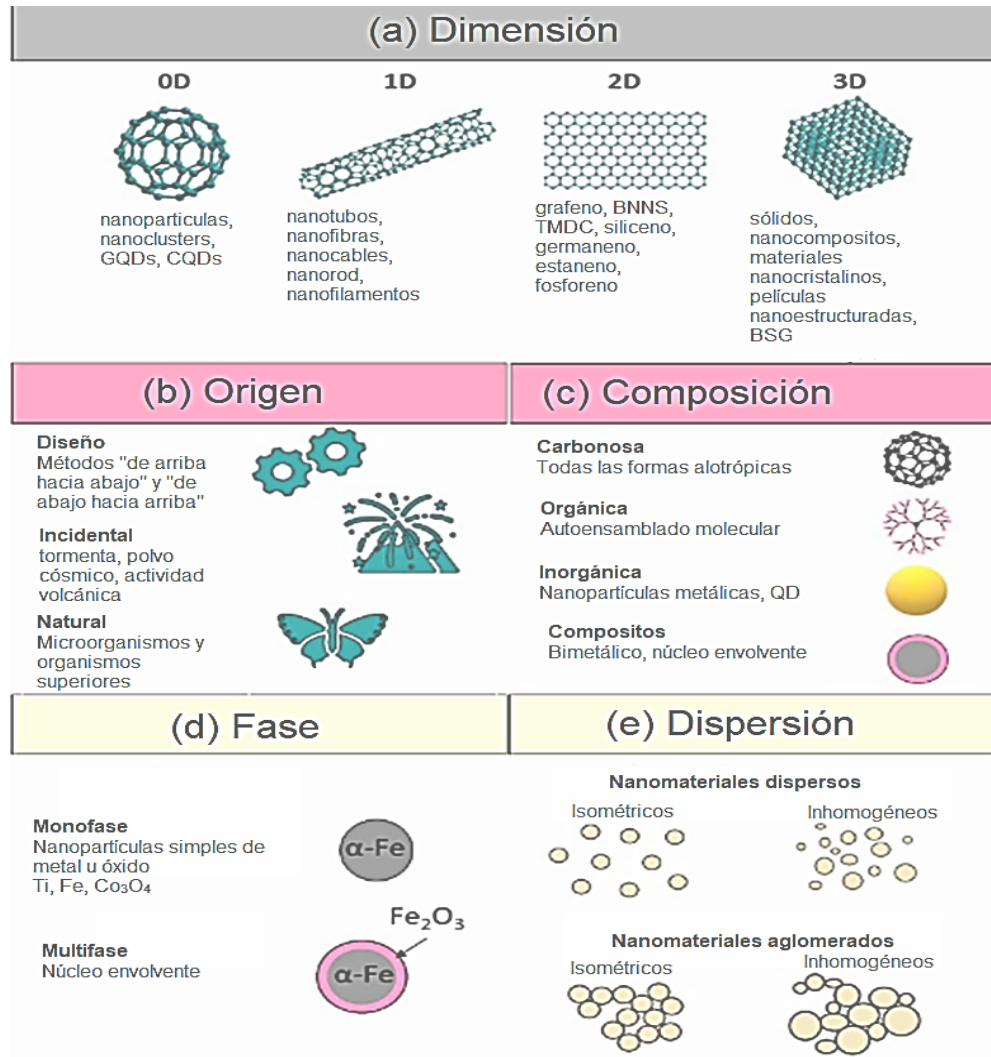


Fig. 2. Clasificación de los nanomateriales

1.2 Clasificación de los nanomateriales

Los nanomateriales pueden proceder de diversas fuentes, es necesario clasificarlos y categorizarlos para comprenderlos mejor. Esta sección clasifica los nanomateriales en función de sus dimensiones, origen, composición, porosidad, fases y dispersión (Figura 2).

1.2.1 Dimensión

Los nanomateriales se clasifican en cuatro tipos en función de su dimensionalidad (tamaño y forma) y pueden distinguirse de los materiales a macroescala que se encuentran en la Tierra. Así, los nanomateriales pueden clasificarse en función del número de dimensiones superiores a un nanómetro.

- (i) *Nanomateriales de dimensión cero (0D)*: Las tres dimensiones de estos materiales se miden en nanómetros (es decir, 100 nm). Algunos ejemplos son los puntos cuánticos de grafeno, los puntos cuánticos de carbono, los fullerenos, los puntos cuánticos inorgánicos, las nanopartículas magnéticas, las nanopartículas de metales nobles, las nanopartículas de conversión ascendente y las nanopartículas poliméricas. Los nanomateriales 0D son atractivos para aplicaciones optoelectrónicas y biomédicas por su estabilidad óptica, fotoluminiscencia dependiente de la longitud de onda, inercia química, permeabilidad celular y biocompatibilidad (Wang et al., 2020).
- (ii) *Nanomateriales unidimensionales (1D)*: Estos materiales tienen una sola dimensión de más de 100 nm de longitud. Los metales, los óxidos metálicos y los nanomateriales 1D basados en el carbono con una elevada relación de aspecto (por ejemplo, nanotubos, nanohilos y nanofibras) son buenas fuentes de electrones que liberan electrones en un campo eléctrico bajo. Las esteras, velos y redes de nanofibras poliméricas son 1DNM con una elevada relación superficie-volumen, alta porosidad y agujeros diminutos que se utilizan para descontaminación, catálisis y filtración, así como nanomateriales superabsorbentes y andamios para ingeniería de tejidos y vendajes de heridas (Jeevanandam et al., 2020).
- (iii) *Nanomateriales en dos dimensiones (2D)*: Estos materiales tienen dos dimensiones superiores a 100 nm. Tienen estructuras en forma de placa y capas finas de al menos una capa atómica de grosor. Entre los nanomateriales 2D se encuentran el grafeno/óxido de grafeno/óxido de grafeno reducido, las arcillas de silicato, los hidróxidos dobles estratificados, los dicalcogenuros de metales de transición, los óxidos de metales de transición, el fósforo negro, el nitruro de carbono grafitico, el nitruro de boro hexagonal, la antimonita, las nano hojas de boro y las nano hojas de telururo de estaño. Sus propiedades físicas, químicas, ópticas y biológicas únicas explican sus geometrías uniformes, su elevada relación superficie-volumen (en comparación con el material a granel) y su carga superficial (Jin et al., 2018).
- (iv) *Nanomateriales tridimensionales (3D)*: Son materiales con tres dimensiones superiores a 100 nm. Esta clase incluye, entre otros, las nanoestructuras de grafeno en forma de caja, los haces de nanohilos y los nanotubos. Muchos investigadores han dedicado la última década al diseño, fabricación y ensayo de nanoestructuras 3D como electrodos para la conversión electroquímica de energía (pilas de combustible) (Zhao & Lei, 2020).

1.2.2 Origen

Los nanomateriales naturales y los seres vivos han coevolucionado de forma sinérgica como parte del sistema terrestre. Los nanomateriales se dividen en cuatro tipos según su origen: "nanomateriales naturales, accidentales, bioinspirados y de ingeniería". Sin embargo, el creciente uso de nanomateriales inadvertidos, de ingeniería o antropogénicos ha alterado este equilibrio.

- (i) *Nanomateriales naturales:* Estas nanopartículas y materiales nanoestructurados se producen por procesos (bio)geoquímicos o mecánicos naturales, sin relación con actividades o procesos humanos. Estructuras de foraminíferos (principalmente tiza) y virus (cápside, proteína), cristales de cera que recubren hojas de loto o capuchina, arañas rojas y ácaros de seda, tonalidades azules de tarántulas, espátulas de patas de geco, algunas escamas de alas de mariposa, coloides naturales (leche, sangre), materiales córneos (garras, piel, plumas, pelo), nácar, corales y matriz ósea humana son algunos ejemplos. El crecimiento de los cristales produce nanomateriales inorgánicos naturales. Las arcillas, por ejemplo, presentan nanoestructuras complejas debido a la anisotropía de su estructura cristalina. Además, la actividad volcánica puede dar lugar al desarrollo de ópalos, que, debido a su estructura a nanoescala, son un ejemplo de cristales fotónicos naturales.
- (ii) *Nanomateriales accidentales:* Estas nanopartículas y materiales nanoestructurados se producen inadvertidamente como resultado de influencias humanas directas o indirectas o de procesos antropogénicos (por ejemplo, mecánicos o industriales), como los gases de escape de los vehículos, los gases de soldadura, la calefacción con combustibles sólidos (calefactores domésticos) y la combustión durante la cocción.
- (iii) *Nanopartículas bioinspiradas:* Se trata de nanopartículas creadas para reproducir las cualidades de los nanomateriales naturales o de la materia biológica. Muchos nanomateriales bioinspirados con funcionalidades especializadas pueden crearse con métodos modernos de nanofabricación alterando sus arquitecturas. Los camaleones, por ejemplo, pueden cambiar rápidamente sus colores de un estado disfrazado a otro muy aparente (excitado).
- (iv) *Nanomateriales de ingeniería:* Los de ingeniería son nanopartículas y materiales nanoestructurados materiales producidos para aplicaciones específicas en función de su dimensionalidad y características concretas (por ejemplo, implantes médicos nanoestructurados).
- (v) *Nanomateriales antropogénicos:* incluyen nanopartículas tanto involuntarias como diseñadas. La liberación intencionada y no intencionada de nanomateriales artificiales en el medio ambiente se está convirtiendo en una grave preocupación social.

1.2.3 Composición

Los nanomateriales pueden incluir uno, dos o más elementos de la tabla periódica. En la naturaleza, suelen ser agregaciones de varios componentes. En función de su composición química, los nanomateriales se clasifican en nanomateriales de carbono, inorgánicos, orgánicos e híbridos.

- (i) *Nanomateriales de carbono*: están compuestos por átomos de carbono con enlaces sp^2 . Los nanodiamantes, los fullerenos, el grafeno, los nanotubos de carbono de una o varias paredes, las nanofibras de carbono, los nanocuernos, los nanoiones y el nanografito son algunos ejemplos.
- (ii) *Nanomateriales orgánicos*: poseen cualidades funcionales como resultado de la asociación química de su ingrediente principal (el carbono) con otros elementos, lo que confiere funciones y reactividad únicas a la arquitectura nanoestructurada. Las nanopartículas lipídicas y poliméricas se incluyen en esta categoría. Ambos tipos de nanopartículas suelen ser nanoesferas o tener una estructura nanoencapsulada cuyo tamaño oscila entre 10 y 1 000 nm.
- (iii) *Nanomateriales inorgánicos*: están formados por componentes distintos del carbono, como metales, óxidos metálicos y sales metálicas. Tienen formas variadas según el empaquetamiento de los átomos (esferas, cilindros, oblatas, elipsoides, cubos y estrellas), pero conservan la cristalinidad de los compuestos de base metálica. No obstante, existen nanopartículas inorgánicas amorfas. Debido a los enlaces colgantes de los átomos en la superficie, ésta es muy reactiva y sensible. Este problema se resuelve mediante la funcionalización. Los puntos cuánticos metálicos (1-10 nm) presentan características notables entre los nanomateriales inorgánicos debido a la etapa de transición entre el grueso y los pocos átomos.
- (iv) *Materiales multifásicos*: con al menos un componente de tamaño nanométrico (1-100 nm) o con separación nanométrica de fases son ejemplos de nanocomposites híbridos. Los nanocomposites híbridos basados en matrices pueden ser polímeros, cerámicas, hidrogeles o metales.

1.2.4 Fase

Los materiales se clasifican en tres tipos en función del tamaño de los poros, según la nomenclatura de la IUPAC: estructuras microporosas, mesoporosas y macroporosas.

- (i) *Materiales mesoporosos (Super-Nanoporosos)*: materiales nanoporosos que tienen poros con una anchura que oscila entre 2 y 50 nm. Un material mesoporoso puede tener una mesoestructura desordenada u ordenada, según la IUPAC. La porosidad del carbono mesoporoso está dentro del rango de los mesoporos, lo que aumenta sustancialmente la superficie específica. Otro material mesoporoso popular es el carbón activado, que

- suele estar formado por una estructura de carbono que puede presentar mesoporosidad y microporosidad según las circunstancias de la síntesis.
- (ii) *Material microporoso*: material nanoporoso con poros de diámetro inferior a 2 nm. Las zeolitas y los marcos metal-orgánicos son ejemplos de materiales microporosos. Cabe señalar, sin embargo, que los microporos pueden definirse de forma diferente en diversos contextos. Los microporos, por ejemplo, se definen en el contexto de agregados porosos como la suciedad como cavidades de menos de 30 m de tamaño.
 - (iii) *Material macroporoso*: con poros de más de 50 nm de diámetro. Las arquitecturas jerárquicas con escalas de longitud de poros variadas (de microporos a mesoporos y a macroporos) independientes del ensamblaje (ordenado o no) resultan especialmente intrigantes. Sin embargo, conseguir materiales con porosidad jerárquica es difícil. De hecho, la estructura macroporosa suele colapsarse durante la formación de microporos.

1.2.5 Dispersión

Los nanomateriales pueden caracterizarse como dispersos o agregados en función de su dispersabilidad y del tipo de disolvente. La técnica de dispersión dinámica de la luz se utiliza para evaluar la dispersabilidad de los nanomateriales.

El índice de polidispersidad (PDI) refleja el grado de dispersión del tamaño de las partículas del nanomaterial. Los nanomateriales pueden clasificarse como bien dispersos (PDI: 0.1-0.3), moderadamente dispersos (PDI: 0.3-0.5) o agregados (PDI: 0.5 - 1). Los nanomateriales se subdividen a su vez en isométricos (todas las partículas tienen el mismo tamaño) e inhomogéneos (partículas de distintos tamaños).

1.3 Síntesis de nanomateriales.

Las técnicas de «arriba hacia abajo» y de «abajo hacia arriba» de síntesis de nanopartículas son los dos grandes grupos (Rao et al., 2004; Schmid, 2004).

El primero consiste en dividir los sólidos a granel en trozos más pequeños. En este procedimiento se pueden utilizar la trituración o el desgaste, técnicas químicas y la volatilización de un sólido seguida de la condensación de los componentes volatilizados.

El segundo método, conocido como “abajo hacia arriba”, implica la formación de nanopartículas por condensación de átomos o entidades moleculares en una fase gaseosa o solución. Este último método es mucho más común en la síntesis de nanopartículas. Las nanopartículas pueden tener soporte o no. El soporte proporciona estabilidad a las nanopartículas y también puede conferirles características especiales.

1.3.1 De arriba hacia abajo

Existen varios métodos que utilizan la aproximación “de arriba hacia abajo”, los más representativos son:

a) La evaporación térmica, que consiste en calentar la sustancia a depositar hasta su evaporación. Se realiza en una cámara de vacío en la que el vapor se condensa sobre una película fría, lo que exige un control perfecto de las condiciones de crecimiento en todo momento para que no se altere la forma de la capa depositada.

b) Deposición química en fase vapor (CVD), que consiste en la descomposición de una o varias sustancias químicas volátiles sobre o cerca de la superficie de un sólido en el interior de una cámara de vacío (reactor) para generar una película fina o un material en nanopartículas.

c) Preparación de clústeres gaseosos, que emplea un láser pulsado de alta potencia para generar vapores atómicos metálicos que se transportan en un gas inerte y luego se depositan sobre un óxido monocristalino u otro sustrato en condiciones de vacío ultra alto.

d) La implantación iónica, que consiste en implantar iones de una sustancia en un sólido para modificar sus características físicas y químicas. Dado que el ion implantado puede ser de un elemento distinto del que lo compone, pueden producirse cambios estructurales en el sólido implantado al destruirse la estructura cristalina del blanco.

e) Molienda de partículas de tamaño macro o micrométrico en molinos de alta eficiencia; las partículas resultantes se clasifican físicamente, recuperándose las partículas a nanoescala. Debido a que la molienda energética y continua de los materiales iniciales puede inferir cambios energéticos en los sólidos, lo que puede provocar una disminución de las energías de activación, activando los sólidos para llevar a cabo reacciones químicas en estado sólido.

Como puede constatararse en lo aquí descrito, varios de los métodos que utilizan la aproximación «de arriba hacia abajo», salvo la molienda, requieren de instrumentación compleja y complicada, lo cual los hace costosos, por tanto, muchas veces se prefieren los métodos que utilizan la aproximación “de abajo hacia arriba”.

1.3.2 De abajo hacia arriba

Hay varios métodos que utilizan el enfoque “abajo hacia arriba” para la síntesis de nanopartículas, los más empleados son los que utilizan procesos químicos. Suelen comenzar con la reducción de iones metálicos a átomos metálicos, seguida de la agregación controlada de estos átomos. El método químico es el más conveniente para obtener nanopartículas uniformes y pequeñas. Los métodos más representativos de este enfoque son:

a) El método coloidal

Los coloides son partículas individuales mayores que el tamaño atómico pero menores que el movimiento browniano. Si las partículas son lo bastante grandes, su comportamiento dinámico en suspensión en función del tiempo se regirá por las

fuerzas gravitatorias, lo que dará lugar al fenómeno de la sedimentación; si son lo bastante pequeñas para ser coloides, su movimiento irregular en suspensión puede atribuirse a los bombardeos colectivos de una multitud de moléculas agitadas térmicamente en una suspensión líquida. Dado que el rango de tamaño de las partículas en una solución coloidal suele estar en el rango de la nanoescala, la técnica coloidal es un medio eficaz para crear nanopartículas.

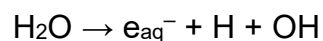
Según este procedimiento, se disuelven en una fase continua o dispersante (en este caso, un líquido) una sal del precursor metálico o del óxido que se desea sintetizar, un reductor y un estabilizador. Este último puede actuar como reductor, estabilizador o ambos. El tamaño medio, la distribución del tamaño y la forma o morfología de las nanopartículas pueden ajustarse en teoría modificando la concentración de los reactivos, el reductor y el estabilizador, así como el tipo de medio de dispersión (Schmid, 2004).

b) Reducción fotoquímica y radioquímica

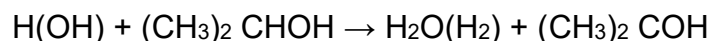
La creación de fuertes reductores extremadamente activos como electrones, radicales y especies excitadas está relacionada con la síntesis de nanopartículas metálicas mediante el cambio del sistema químico con altas energías. El nivel de energía empleado en la reducción fotoquímica (fotólisis) y en la reducción química por radiación (radiólisis) difiere. La síntesis fotoquímica tiene energías inferiores a 60 eV, mientras que la radiólisis tiene energías de 103-104 eV.

Las tecnologías de reducción fotoquímica y radioquímica son superiores a los métodos de reducción química. Estos métodos crean nanopartículas de alta calidad debido a la ausencia de contaminantes que se forman al utilizar reductores químicos.

Además, la reducción fotoquímica y radioquímica permite producir nanopartículas en estado sólido y a bajas temperaturas. Para sinterizar partículas de metales nobles, se utiliza con frecuencia la reducción fotoquímica en solución. Estas partículas se fabrican disolviendo las sales apropiadas en agua, alcohol o disolventes orgánicos. En estos medios se producen las siguientes especies activas como resultado de la acción de la luz.



En el caso de las reacciones alcohólicas, un átomo de hidrógeno y un radical hidroxilo se combinan para formar un radical alcohólico:

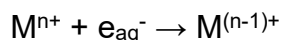


Un electrón solvatado interactúa con un átomo de metal, como la plata, reduciendo el metal: (Sergeev, 2006).



También se ha documentado la reducción de nanopartículas de plata en nanoemulsiones mediante radiólisis.

El método de la radiólisis pulsada puede producir partículas metálicas activas con estados de oxidación únicos (Ershov, 1997). La reacción con un electrón hidratado con un alto potencial de reducción es la siguiente:



La presencia de un solo electrón en el orbital exterior de un átomo o ion metálico garantiza su alta reactividad química. Durante el proceso de reducción química por radiación, se generan átomos o minúsculos grupos de metales que se convierten en nanopartículas. Para generar coloides, pueden aplicarse sustancias químicas similares a las utilizadas en la reducción química para estabilizarlos.

c) Irradiación con microondas

Aunque no siempre se obtiene un control exacto de la morfología, como ocurre con la mayoría de los enfoques de abajo hacia arriba, la irradiación con microondas crea nanopartículas con una dispersión de tamaños muy baja. Las microondas son campos eléctricos de alta frecuencia que pueden calentar cualquier medio que tenga cargas eléctricas, como las moléculas polares de un fluido o los iones conductores de un sólido. Los disolventes polares se calientan, lo que hace que sus componentes moleculares giren con el campo y pierdan energía en colisiones. Cuando los iones y electrones de las muestras conductoras y semiconductoras producen una corriente eléctrica, se pierde energía debido a la resistencia eléctrica del material. En los últimos años, el calentamiento asistido por microondas se ha empleado como una opción atractiva para la síntesis de materiales a nanoescala, ya que se trata de una tecnología rápida, consistente y eficaz que permite mejorar la cinética de reacción en uno o dos órdenes de magnitud (Zhu et al., 2004).

d) Utilización de dendrímeros

La síntesis de nanopartículas también se ha realizado empleando micelas, emulsiones y dendrímeros como nanoreactores, que permiten sintetizar partículas con forma y tamaño específicos. Esto se consigue modificando la naturaleza de los dendrímeros. Los dendrímeros son moléculas con un núcleo central, unidades intermedias repetitivas y grupos funcionales terminales (Muzafarov & Rebrov, 2000). Los dendrímeros son macromoléculas novedosas que combinan el elevado peso molecular y la baja viscosidad de sus soluciones con la forma molecular tridimensional y la existencia de una estructura espacial. Los dendrímeros son nanoreactores naturales con tamaños que oscilan entre 2 y 15 nm. Los dendrímeros con unas pocas unidades intermedias existen en estado "abierto", pero los que tienen numerosas unidades forman formaciones esféricas tridimensionales. Los grupos terminales de los dendrímeros pueden cambiarse por grupos hidroxilo, carboxilo, hidroxicarboxilo y otros grupos hidroxicarboxilo.

e) Síntesis solvotermal

El término "síntesis solvotermal" hace referencia a una serie de procedimientos en los que un precursor metálico disuelto en un líquido se calienta más allá de su punto

de ebullición en un recipiente cerrado, produciendo una presión superior a la atmosférica (normalmente moderada). El líquido más común es el agua, de ahí el término “síntesis hidrotérmica”; sin embargo, cada vez se emplean más medios líquidos adicionales, como disolventes orgánicos, amoníaco líquido, hidracina, etc., y tenemos la síntesis solvotérmica. La duración de las reacciones en este tipo de procedimientos suele ser larga (en comparación con otros procesos químicos).

La síntesis hidrotermal se refiere a procesos heterogéneos en soluciones acuosas a temperaturas superiores a 100°C y presiones superiores a 1 bar. Una característica distintiva de la síntesis hidrotermal es la actividad del disolvente o de los mineralizadores para disolver sustancias químicas difíciles de disolver en agua. El objetivo de este enfoque es mejorar la disolución de los componentes del sistema y, de este modo, disolver o hacer reaccionar especies que son extremadamente poco solubles en circunstancias normales (sílice, aluminosilicatos, titanatos, sulfuros) (Xie & Shang, 2007).

A este respecto, cabe señalar que el agua calentada a 600 °C (lo que evidentemente requiere presión para evitar que pase al estado de vapor) experimenta una disociación (H_3O^+ , OH^-) mucho mayor que la habitual a presión ordinaria: pasa a ser de 10^{-6} en lugar de 10^{-14} , lo que significa que en estas condiciones, el agua, como sustancia anfótera, se comportará a la vez como un ácido bastante fuerte y como una base bastante fuerte, y por tanto es capaz de ácidos-bases mucho más agresivos. Por otro lado, se pueden añadir otras especies denominadas “mineralizantes”, tanto básicas (carbonatos, hidróxidos) como ácidas (sales nítricas, clorhídricas, amónicas) oxidantes o reductoras, complejantes, etc., que aumentarán la capacidad de disolución del agua en uno u otro sentido.

f) Método sol-gel

La técnica sol-gel es un procedimiento químico de fase húmeda habitual en la investigación de materiales. Este enfoque se utiliza sobre todo para crear nanomateriales (normalmente óxidos metálicos). Comienza con una solución química o sol, que sirve como precursor de una red integrada de partículas discretas o una red de polímeros. Los alcóxidos y cloruros metálicos son precursores típicos de sol-gel, que se someten a numerosos procesos de hidrólisis y policondensación para generar una dispersión coloidal que, tras una polimerización gradual, forma un gel.

Dado que los alcóxidos son especialmente sensibles a la humedad (se descomponen muy rápidamente en presencia de humedad), la hidrólisis para la formación de gel se lleva a cabo utilizando alcoholes como disolvente común para los distintos líquidos inmiscibles. Un gel polimérico es una red macromolecular infinita hinchada por disolventes. Cuando aumenta la concentración de las especies dispersas, puede formarse un gel.

Como el disolvente está confinado en la red de partículas, la red polimérica impide que el líquido se separe, mientras que el líquido impide que el sólido se comprima

en una masa compacta. Cuando un gel se deshidrata parcialmente, forma un residuo sólido elástico conocido como xerogel.

Por último, este material se deshidrata completamente y se trata térmicamente en flujo de gas para producir el material nanoestructurado final (Jong, 2009).

Las dispersiones de nanopartículas son termodinámicamente metaestables debido a su superficie extremadamente grande, que contribuye positivamente a la entalpía libre del sistema. Si las energías de activación no son suficientemente altas, la dispersión de nanopartículas evoluciona, lo que provoca un aumento del tamaño de las nanopartículas a través de un proceso de maduración de Ostwald. En consecuencia, las nanopartículas extremadamente dispersas sólo pueden estabilizarse cinéticamente y no pueden crearse por encima de un umbral específico, de ahí que se opte por métodos de la llamada “química blanda”.

Para evitar la sinterización, recristalización y agregación, las nanopartículas suelen depositarse sobre un soporte, normalmente un óxido metálico. Las aplicaciones de catálisis, óptica y medicina, entre otras, se benefician enormemente de este tipo de material nanoestructurado con soporte. A continuación, se describen los métodos tradicionales para depositar nanopartículas sobre óxidos metálicos:

- 1) **La impregnación**, que consiste en llenar los poros del soporte con una solución del precursor metálico (normalmente una sal), cuyo volumen puede ser el necesario para llenar el volumen de los poros o un exceso de volumen que se elimina por evaporación tras un periodo de maduración, de forma que el precursor metálico y su contraión permanecen en la superficie del soporte. Se trata de un método sencillo y barato, por lo que es el método tradicional de preparación de catalizadores a nivel industrial; sin embargo, hay poco control sobre cómo interactúa el precursor metálico con el soporte, y no se consigue una eliminación eficaz del contraión del precursor metálico (Zanella et al., 2002).
- 2) **Adsorción iónica**, que puede emplear tanto la adsorción de aniones como la de cationes. Los cationes pueden adsorberse por interacción electrostática con los grupos superficiales cargados negativamente (O^-) del soporte cuando el pH de la solución en la que está suspendido el soporte es superior al punto isoeléctrico del soporte (PIE).

Cuando el pH de la solución es inferior al PIE, las especies aniónicas pueden adsorberse en los grupos superficiales cargados positivamente del soporte (OH_2^+) (Zanella et al., 2002, 2005).

- 3) **Deposición-Precipitación (DP)**, proceso por el que un óxido o hidróxido hidratado se deposita en la superficie de un soporte como resultado de un aumento gradual y homogéneo del pH de la solución en la que el soporte está suspendido. Los hidróxidos como NaOH o KOH, los carbonatos y las bases retardantes como la urea son agentes basificantes comunes (Zanella et al., 2002, 2005).

El precipitado puede ser nucleado por la superficie del soporte y, cuando se hace correctamente, toda la fase activa queda adherida al soporte en lugar

de flotar en la solución. Este enfoque, al igual que las adsorciones iónicas, tiene la ventaja sobre la impregnación de que la mayoría de los contraiones del precursor metálico pueden eluirse fácilmente mediante el lavado repetido de las muestras tras la deposición del precursor metálico.

Las nanopartículas depositadas se obtienen, como en los métodos anteriores, tras el tratamiento térmico del precursor metálico en interacción con el soporte en atmósferas gaseosas reductoras u oxidantes, en función de las propiedades químicas de las especies depositadas y del estado de oxidación deseado del material depositado. El tamaño y la morfología de las partículas depositadas están fuertemente influenciados por los parámetros de síntesis (temperatura de deposición, tiempo de contacto, pH, tipo de gas y temperatura utilizados durante el tratamiento térmico), el soporte utilizado (características electrónicas y morfológicas, defectos superficiales, etc.) y el precursor metálico (Zanella et al., 2002, 2005).

- 4) **Depósito de coloides**, el tamaño medio y la distribución del tamaño de las partículas pueden modificarse en teoría estableciendo cuidadosamente las condiciones de síntesis. La ventaja de emplear una técnica coloidal para fabricar compuestos metálicos soportados es que las condiciones de preparación pueden modificarse para obtener partículas con una distribución de tamaños ajustada en torno al tamaño objetivo, e incluso puede regularse la forma de las partículas.

En la bibliografía se han documentado diversos procedimientos para la producción de coloides metálicos, utilizando una amplia gama de reductores como citrato sódico, tiocianato sódico, poli(etilenimina), cloruro de tetrakis[hidroximetil]fosfonio y borohidruro sódico (Turkevich et al., 1951). También pueden utilizarse estabilizadores, como se ha indicado anteriormente. Las nanopartículas metálicas pueden inmovilizarse en el soporte sumergiéndolo en una suspensión coloidal y lavándolo y secándolo a continuación. Para conseguirlo, las partículas una vez soportadas en una preparación satisfactoria no deben ser significativamente mayores que las obtenidas al sol; para lograrlo, debe mantenerse un delicado equilibrio entre varios parámetros, como la naturaleza y la concentración del estabilizador, la relación metal/estabilizador y, por supuesto, la naturaleza del soporte.

- 5) **Depósito fotoquímico**, se basa en el hecho de que determinados cationes metálicos con potenciales redox adecuados, como los óxidos de zinc, wolframio y titanio, pueden depositarse sobre el soporte y reducirse mediante fotoelectrones generados por la iluminación del semiconductor (Fernandez et al., 1995).

El inconveniente de este método es que su eficacia depende en gran medida de las propiedades del soporte y de su superficie. La principal ventaja es que no requiere tratamiento térmico porque el metal se reduce mediante irradiación UV tras la preparación.

1.4 Zinc

El zinc (Zn) es un metal brillante, moderadamente duro, de color blanco azulado y número atómico 30; su superficie se oscurece rápidamente al oxidarse en el aire; la configuración electrónica externa del zinc es $[\text{Ar}]3d^{10}4s^2$ y la relativa facilidad para perder electrones situados en el orbital 4s hace que este metal sea muy reactivo y se oxide con facilidad. Sin embargo, esta característica se aprovecha para evitar la corrosión durante la galvanización (recubrimiento de zinc) de artículos de hierro o acero.

El óxido de zinc (ZnO), es utilizado en la formulación de pinturas y como antiséptico, y el sulfato de zinc (ZnSO_4), se utiliza como fuente de zinc en la producción de fertilizantes y en la formulación de desinfectantes, estos dos compuestos de zinc son muy empleados en la actualidad. Es el vigésimo tercer elemento más abundante del mundo.

El zinc es vital para la vida y actúa como metal inerte en los acontecimientos biológicos en los que participa, además de su relevancia para la prevención de la corrosión. Es componente de más de 300 metaloproteínas catalíticamente activas y de más de 2000 factores de transcripción, y su participación en el metabolismo abarca una amplia gama de actividades, entre ellas la producción y destrucción de casi todas las biomoléculas (Figura 3).



Fig. 3. Zinc metálico.

El recurso más importante de zinc metal, la esfalerita, ZnS , se extrae a gran escala en todo el mundo. Antes se utilizaba la calamina ($\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), después la smithsonita (ZnCO_3) y, por último, la esfalerita (Figura 4).



Fig. 4. Ejemplares de esfalerita (izquierda), calamina (centro) y smithsonita (derecha).

1.4.1 Óxido de Zinc (ZnO)

El óxido de zinc, sustancia inorgánica de fórmula química ZnO, es un material semiconductor II-VI. Es soluble en alcohol, en los ácidos y los álcalis, pero poco soluble en agua. Debido a la disparidad de electronegatividades entre el zinc y el oxígeno, el enlace tiene un alto grado de ionicidad, lo que lo convierte en uno de los compuestos más iónicos de esta familia. Debido a la fuerte repulsión entre sus nubes de carga, su estructura cristalina más estable es el hexagonal tipo wurzita.

El óxido de zinc es termocrómico, lo que significa que cambia de color en respuesta a las variaciones de temperatura. Cuando se calienta, pasa de blanco a amarillo y puede volver a blanco al enfriarse. Este cambio de color se debe a una pequeña pérdida de oxígeno a altas temperaturas, que da lugar a la formación de ZnO no estequiométrico, de color amarillo.

El ZnO puro es un polvo blanco que se encuentra en la naturaleza como mineral cincita, que contiene manganeso y otras impurezas que le dan un tono entre amarillo y rojo (Figura 5).

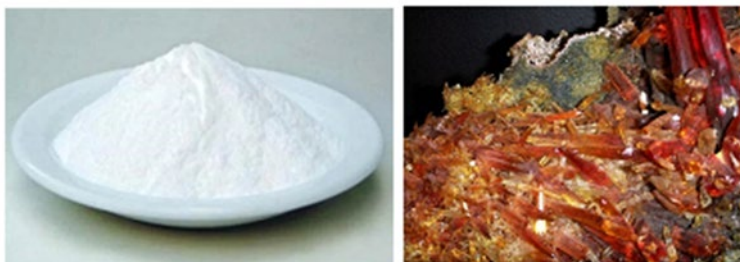


Fig. 5. Óxido de zinc (izquierda),
y cincita (derecha).

1.4.2 Aplicaciones del ZnO

El óxido de zinc tiene un alto índice de refracción, una elevada conductividad térmica, características antimicrobianas y protección contra los rayos UV. Por ello, se utiliza en una gran variedad de materiales y productos, como plásticos, cerámica, vidrio, cemento, caucho, lubricantes, pinturas, ungüentos, adhesivos, selladores, fabricación de hormigón, pigmentos, comestibles, baterías, ferritas, retardantes del fuego, etc.

El óxido de zinc se utiliza en electrodos transparentes de dispositivos de cristal líquido, ventanas de ahorro energético o blindaje térmico, y componentes electrónicos como transistores de película fina y diodos emisores de luz, debido a sus cualidades fisicoquímicas.

El óxido de zinc es un polvo blanco con una amplia gama de aplicaciones. Una de ellas se encuentra en cosméticos, como filtros UV o colorantes. Como no penetra en el organismo, su uso se considera inocuo.

A veces, las partículas de ZnO se combinan con otro componente cosmético para cambiar su aspecto o responder a una combinación. Recientemente, las nuevas tecnologías han permitido el uso de partículas nanométricas de óxido de zinc.

Tabla 1. Propiedades del óxido de Zinc

Propiedad	Magnitud
Fórmula	ZnO
Masa Molar	81.41 g/mol
Estado de agregación	Sólido
Color	Blanco
Aspecto	Polvo
Densidad	5 606 kg/m ³
Punto de fusión	1 428°C

1.4.3 Sistemas cristalinos del ZnO

La mayoría de los semiconductores compuestos binarios del grupo II-VI cristalizan en estructuras cúbicas de zinc-blenda o hexagonales de wurtzita, con cada anión rodeado por cuatro cationes en las esquinas de un tetraedro, y viceversa. Esta coordinación tetraédrica es característica del enlace covalente sp³, aunque estos materiales también son muy iónicos.

El ZnO es un semiconductor compuesto II-VI con una ionicidad intermedia entre la covalente y la iónica.

Las formas cristalinas que comparte el ZnO incluyen la wurtzita B4, la blenda de zinc B3 y la sal gema B1, como se ve esquemáticamente en la Figura 6. La wurtzita es la fase termodinámicamente estable a temperatura ambiente. Sólo el crecimiento sobre sustratos cúbicos puede estabilizar la estructura ZnO zinc-blenda, y la estructura rocksalt NaCl puede formarse a presiones muy altas (Özgür et al., 2005).

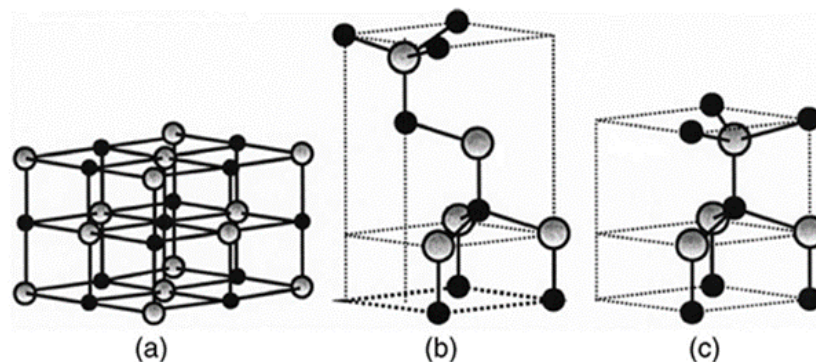


Fig. 6. Estructuras cristalinas de ZnO: (a) sal de roca cúbica, (b) blenda de zinc cúbica y (c) wurtzita hexagonal. Las esferas sombreadas en gris y negras representan átomos de Zn y O, respectivamente. (Özgür et al., 2005).

1.5 Árbol de Pirul (*Schinus molle* L.)

Es autóctona de Perú y la zona andina de Sudamérica, aunque también crece en Ecuador, Chile y Bolivia. En elevaciones de hasta 3.650 m, reside en los Andes peruanos. ampliamente dispersa por el oeste de Texas, el sur de California y América Central, así como en México. Se encuentra sobre todo en zonas semiáridas de la zona templada seca de la Altiplanicie o Mesa Central. A Coahuila, Veracruz y Oaxaca desde Durango. 1,500-2,700 metros sobre el nivel del mar. Estados. OAX. PUE. S.L.P. TLAX. VER. ZAC. CHIS. COAH. D.F. DGO. HGO. MEX. MICH, MOR. Introducida y naturalizada en la Zona Templada Seca Altiplánica y el Valle de México detallada en la Figura 7 (Fonseca Chávez et al., 2020; Lim, 2012).



Fig. 7. Mapa distribución del árbol de Pirul en México. (*Schinus molle* L.).

1.5.1 Taxonomía y descripción

Taxonomía véase Tabla 2

Tabla 2. Árbol taxonómico del Pirul.

Dominio:	Eukaryota
Reino:	Plantae
Filo:	Magnaliophyta
Clase:	Magnoliopsida(=Dicotyledoneae)
Orden:	Sapindales
Familia:	Anacardiaceae
Género:	<i>Schinus</i>
Especie:	<i>molle</i>

[Linneo] (1753).

Descripción véase Tabla 3:

Tabla 3. Descripción del árbol de Pirul *Schinus molle*.

Forma	Árbol perennifolio, de 4 a 8 m (hasta 15 m) de altura, con un diámetro a la altura del pecho de 25 a 35cm
Copa/Hojas	Copa redondeada y abierta, proporcionando sombra moderada. Hojas compuestas, alternas, de 15 a 30 cm de largo, colgantes, con savia lechosa; imparipinnadas de 15 a 41 folíolos, generalmente apareados, de 0.85 a 5 cm de largo, estrechamente lanceolados, color verde amarillento.
Tronco/Ramas	Tronco nudoso. Ramas flexibles, colgantes y abiertas.
Corteza	Corteza rugosa, fisurada, color marrón oscuro. Madera dura y compacta.
Flor(es)	Panículas axilares en las hojas terminales, de 10 a 15 cm de largo, flores muy pequeñas y numerosas, de color amarillento, miden 6 mm transversalmente.
Fruto(s)	Drupas en racimos colgantes, cada fruto de 5 a 9 mm de diámetro, rosados o rojizos, con exocarpo coriáceo, lustroso, seco en la madurez, mesocarpo delgado y resinoso, cada fruto contiene una o dos semillas.
Semilla(s)	Las semillas poseen un embrión bien diferenciado que llena toda la cavidad; la testa y el endospermo son delgados, el mesocarpo forma parte de la unidad de dispersión.
Raíz	Sistema radical extendido y superficial.
Sexualidad	Monoica.
Número cromosómico	2n=28

(Lim,2012).



Fig. 8. Árbol de Pirul (*Schinus molle* L.) (arriba) y hojas y frutos (abajo).

1.5.2 Usos y aplicaciones

El pirul es una especie popular en el centro y norte del país. Se utiliza como purgante y diurético y se aconseja para problemas digestivos (cólicos, bilis, molestias estomacales y estreñimiento). En situaciones de enfermedades sexuales (gonorrea), ojos inflamados, conjuntivitis y cataratas, las hojas (en decocción o machacadas) se utilizan para la limpieza. La infusión de corteza baja la inflamación y acelera la curación de úlceras.

Aunque la resina es extremadamente peligrosa, se ha utilizado para tratar dolores de muelas, dientes astillados y heridas. Se utilizaba para embalsamar los cuerpos de los incas. Las ramas se utilizan para tratar el reumatismo y otros problemas musculares cuando se maceran en forma de puré, se hierven para aplicación tópica o se empapan en alcohol.

La planta entera se utiliza para tratar fracturas y como antiséptico local. Las hojas de pirul (normalmente combinadas con hojas de eucalipto) se inhalan para tratar resfriados, enfermedades bronquiales, hipertensión, depresión y arritmia. En combinación con la corteza y las hojas, se utiliza para tratar la hinchazón y las molestias en enfermedades venéreas y genito-urinarias. Corteza (cocimiento): cura de los pies hinchados y purgante para perros.

El pirul se utiliza en "limpias" o "barridos" para tratar el mareo, el pánico y el terror. En Argentina se utiliza una infusión de hojas secas para tratar distintas enfermedades menstruales (amenorrea, sangrado excesivo, menopausia, síndrome premenstrual), fiebres, enfermedades respiratorias (resfriados, asma, bronquitis) y urinarias (cistitis, uretritis), tumores e inflamaciones en general. El aceite esencial de hoja fresca posee propiedades antibacterianas, antivirales, antifúngicas y antimicrobianas, véase más propiedades en Tabla 4.

Se ha demostrado que las siguientes bacterias y hongos son extremadamente sensibles al aceite.: *Klebsiella pneumoniae*, *Alcaligenes faecalis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Leuconostoc cremoris*, *Enterobacter aerogenes*, *Proteus vulgaris*, *Clostridium sporogenes*, *Acinetobacter calcoaceticus*, *Escherichia coli*, *Beneckea natriegens*, *Citrobacter freundii*, *Serratia marcescens*, *Bacillus subtilis* y *Brochothrix thermosphacata*.

Hongos: *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus parasiticus*, *Fusarium culmorum* y *Alternaria alternata* (Lim, 2012)

Tabla 4. Usos y aplicaciones del árbol de Pirul.

Uso	Parte del árbol	Descripción
Aromatizante	Planta entera	Debido a la abundancia de aceites esenciales y volátiles, todo el árbol emite un olor muy perfumado.
Base de goma de mascar	Exudado/resina	Su resina pálida se utiliza como chicle en Sudamérica y se supone que fortalece las encías y trata las úlceras bucales.
Colores	Hoja, tallo, corteza y raíz	La decocción de hojas, ramas, corteza y raíz se utiliza para teñir de amarillo claro los materiales de lana.
Combustible	Madera	Carbón vegetal y leña
Comestible	Fruta/ Fruto	Con las frutas se prepara un delicioso cóctel. En México se elaboran bebidas combinándolas con atole o fermentándolas con pulque.
Espicias/ Condimento	Fruta	Debido a su sabor comparable, los frutos secos se han utilizado para adulterar la pimienta negra en varias naciones. Aunque su uso está disminuyendo por motivos de salud.
Cosmética e higiene	Hojas	Las hojas contienen un aceite aromatizado que se utiliza en enjuagues bucales y como dentífrico. Las semillas contienen aceites que se utilizan para fabricar un fijador que se emplea en la producción de fragancias, lociones, polvos de talco y desodorantes
Agente de curtido	Corteza	Se utiliza para colorear la piel.
Forraje	Fruta	La comida para pájaros es muy importante.
Herramientas de trabajo	Madera	Estacas, mangos de herramientas, aperos de labranza y fustes de silla de montar.
Industrializable	Exudado/resina/ceniza	La resina puede emplearse en la producción de barnices. Su ceniza, rica en potasa, se utiliza como blanqueador de ropa y en la purificación del azúcar.
Tóxico/insecticida	Fruto, hojas (aceite)	El aceite esencial extraído de las hojas y las bayas es un potente repelente de insectos, sobre todo contra las moscas domésticas. El fruto puede contener un 5% de aceite

		esencial, mientras que las hojas pueden contener un 2%.
Medicinal	Hoja, flor, fruto, corteza, exudado (resina)	Analgésico, antibacteriano, antidepresivo, antimicrobiano, antifúngico, antiviral, antiespasmódico, astringente, balsámico, citotóxico, diurético, expectorante, hipotensor, purgante, estomacal, tónico, uterino, estimulante son algunas de sus propiedades y actividades.
Melífera	Flor	Apicultura

(Lim,2012).

1.5.3 Composición Fitoquímica de Schinus molle L.

Carrasco recopiló informes sobre la composición química de Schinus molle L. "molle" medida por varios autores mediante espectroscopia infrarroja y cromatografía de gases véase tabla 5.

Tabla 5. Composición Fitoquímica de Schinus molle L.

Parte utilizada	Composición química	Autor(es)
Corteza	Ácido linoléico, ácido eurícico, ácido lignocérico.	Diamanto Glous y Kull.1981
Corteza y hojas	Cyclitol, glucosa,fructuosa, arabinosa, xilosa, manosa, galactosa, glucosamina	Diamanto Glous y Kull.1981 Bar-Nun y Col. 1981
	Fitosterina, levulosa, ácido palmítico, ácido esteárico.	Mortes y Wilkomiesky. 1985 Diamanto Glous y Kull.1981
Hojas	Preisocalamanidiol.	Delvalle y Col. 1987
	Ácido linoléico, ácido bohémico, ácido lignocérico.	Diamanto Glous y Kull.1981
Fruto	Metil isomasticadienolálico.	Pozzo y Coll. 1976
	Ácido 3-epi-isomasticadienolálico.	Pozzo y Coll. 1976

	Ácido masticadienonámico, lactosa.	Joel y Coll. 1978
	Ácido lignocérico, α -amyrina, β -citosterol, ácido cetótico	Hashim y Coll. 1978
	Myrceno, limonemo, α -cadeniol.	Bernhard y Coll. 1983
	α -felandreno, dideneno, β -felandreno	Anon Wrolstad. 1963

(Carrasco Raymunde, 1998).

1.6 Quemaduras

Las quemaduras son lesiones en los tejidos vivos causadas por la actividad de numerosos agentes, que pueden dividirse en agentes físicos (noxas térmicas, eléctricas y radiantes), agentes químicos y agentes biológicos (Chomali T., 1995).

Todos ellos pueden producir desde cambios funcionales reversibles hasta daños tisulares completos y permanentes. La piel es el órgano más afectado, ya que es nuestro principal punto de contacto con el mundo exterior.

Tabla 6. Criterios de Hospitalización.

<p>Quemaduras AB mayores de 15% en adultos. Quemaduras B circulares en el tórax, cuello o extremidades. Quemaduras B que requieran injerto. Quemaduras AB y B de zonas especiales. Quemaduras de vía aérea. Quemaduras eléctricas. Quemaduras químicas. Cuando existen lesiones concomitantes. Cuando existe patología asociada. Quemaduras infectadas al momento de consultar.</p>
--

(Castillo D., 2003).

Existen varias categorías para intentar organizar y simplificar un mundo complejo y cambiante. una realidad complicada y dinámica. Los parámetros utilizados para la categorización incluyen la integridad de la membrana basal, la permeabilidad de los plexos dérmicos, la conservación de la sensibilidad y la preservación de las terminaciones sensoriales y fanerales. La categorización de Benaim que las separa en tres tipos, es una de las más utilizadas las clasifica en tres tipos (Beniam F., 1994).

Tabla 7. Correlación de las clasificaciones de Benaim, Converse-Smith y American Burns Association (ABA*) con los estratos cutáneos comprometidos.

Benaim	Converse-Smith	ABA*	Estado cutáneo lesionado
Tipo A	Primer grado	Epidérmica	Epidermis
Tipo AB-A	Segundo grado superficial	Dérmica superficial	Epidermis Dermis papilar
Tipo AB-B	Segundo grado profundo	Dérmica profunda	Epidermis Dermis papilar sin afectar faneras profundas
Tipo B	Tercer grado	Espesor total	Epidermis Dermis Hipodermis hasta músculo y hueso.

1.6.1 Tipo A

Las quemaduras de tipo A afectan a la epidermis y, en ciertos casos, a la dermis papilar y se clasifican en dos categorías. Quemaduras de tipo A eritematosas con vasodilatación del plexo dérmico superficial, que da lugar a una piel rojiza, seca y turgente. Las terminaciones nerviosas se irritan, lo que provoca escozor, picor y malestar.

Dado que la capa germinativa está preservada, la epitelización puede producirse en 7 a 10 días. Se trata de una quemadura solar común en la playa. Un tipo de quemadura flictenular en la que, además de la vasodilatación, aumenta la permeabilidad del plexo dérmico superficial, lo que da lugar a la producción de flictenas y edema. Hay eritema cutáneo, y la estimulación de las terminaciones nerviosas provoca una agonía insoportable. Se regeneran en 10 a 14 días (Castillo D., 2003).

1.6.2 Tipo AB

La epidermis y la dermis papilar están destruidas, mientras que la dermis reticular y las secciones profundas de los anexos cutáneos están conservadas. El plexo dérmico superficial está trombosado, mientras que el plexo dérmico profundo está vasodilatado y permeable. Tiene un aspecto amarillento y crea una escara intermedia al cabo de 10 días.

Al estar implicadas también las terminales nerviosas superficiales, no son dolorosas. Su evolución es dinámica, pudiendo progresar hacia la epidermización (ABA) o la

profundización (ABB) en función de la capacidad regeneradora de los anexos residuales.

Los que epidermalizan lo hacen en 14 a 21 días, pero el epitelio es frágil y el efecto estético es consistente (Castillo D., 2003).

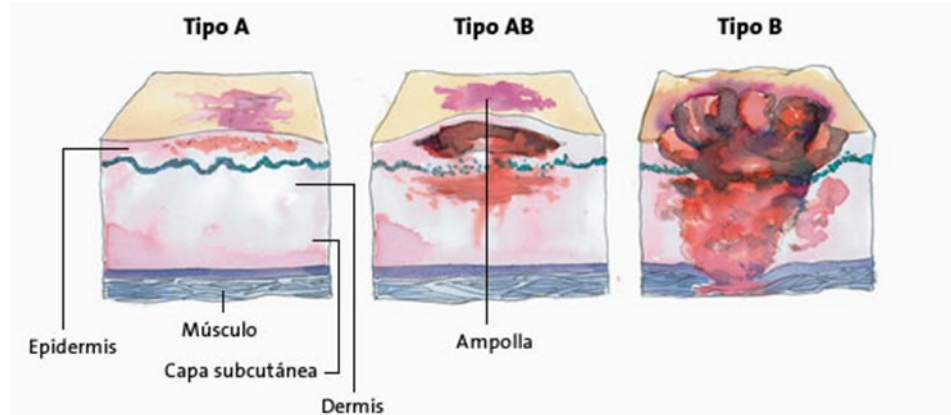


Fig. 9. Tipos de quemaduras.

1.6.3 Tipo B

Son indoloras ya que la piel está completamente destruida, incluyendo anexos, trombosis de los plexos dérmicos superficial y profundo, y terminaciones nerviosas. La piel presenta costras, es dura, carece de turgencia y tiene un aspecto blanco grisáceo, dando lugar a una escara (Castillo D., 2003).

1.6.4 Tipos de quemaduras clasificadas por el agente causal

a) Quemaduras térmicas

El organismo necesita una cantidad específica de calor para sobrevivir, pero tanto el exceso como la falta de calor pueden dañarlo.

Calor

Se ha comprobado que la piel cambia a temperaturas superiores a 40°C. La resistencia del tejido se reduce al aumentar la temperatura. Cuando la temperatura alcanza los 70°C, el tejido epidérmico se destruye con solo un minuto de exposición.

Las fuentes de calor que elevan la temperatura de la piel y los tejidos subcutáneos generan estas quemaduras. Tanto las llamas como los líquidos o gases a alta temperatura pueden ser perjudiciales para el organismo. (Leire, A.B., 2004.).

Frio

Las temperaturas extremadamente bajas hacen que disminuya la microcirculación del cuerpo, lo que provoca enrojecimiento, ampollas, necrosis de la piel y el tejido subcutáneo y, potencialmente, la pérdida permanente de la región lesionada. (Leire, A.B., 2004.).

b) Quemaduras por radiación

Dado que nosotros como humanos estamos expuestos a la radiación solar de forma habitual, las quemaduras solares son el tipo de quemadura más común.

Las quemaduras solares se producen en dos etapas: la primera comienza en el momento de la exposición o hasta media hora después; la segunda comienza entre 2 y 5 horas después de tomar el sol y puede durar hasta 4 días, cuando comienza la descamación de la piel. (Leire, A.B., 2004.).

c) Quemaduras químicas

Muchos compuestos químicos, como álcalis o ácidos potentes, fenoles, gas mostaza o fósforo, pueden provocar quemaduras. La gravedad de la quemadura depende de la cantidad de producto y del periodo de exposición (Leire, A.B., 2004.).

d) Quemaduras eléctricas

Estas quemaduras suelen dañar la piel y los tejidos situados bajo el lugar de contacto con la corriente eléctrica, ya que es ahí donde se produce la mayor resistencia. Aunque la lesión eléctrica parezca leve, debe ser tratada por un profesional, ya que podría dar lugar a problemas interiores importantes (Leire, A.B., 2004.).

1.6.5 Tratamientos

La utilización de agentes antimicrobianos tópicos ha permitido disminuir la incidencia de infecciones, siendo la sulfadiazina de plata el más ampliamente utilizado.

Los autoinjertos de piel se realizan considerando la calidad de la piel disponible y la localización y extensión del área a cubrir, para así minimizar las consecuencias estéticas y funcionales.

La capa profunda está constituida por una matriz porosa de fibras de colágeno tipo I de tendón bovino y de glicosaminglicano (condritin-6-sulfato), de cartílago de aleta de tiburón. Esta capa profunda sirve de matriz para la proliferación por fibroblastos y capilares, provenientes desde el lecho de la herida.

1.6.6 Epidemiología

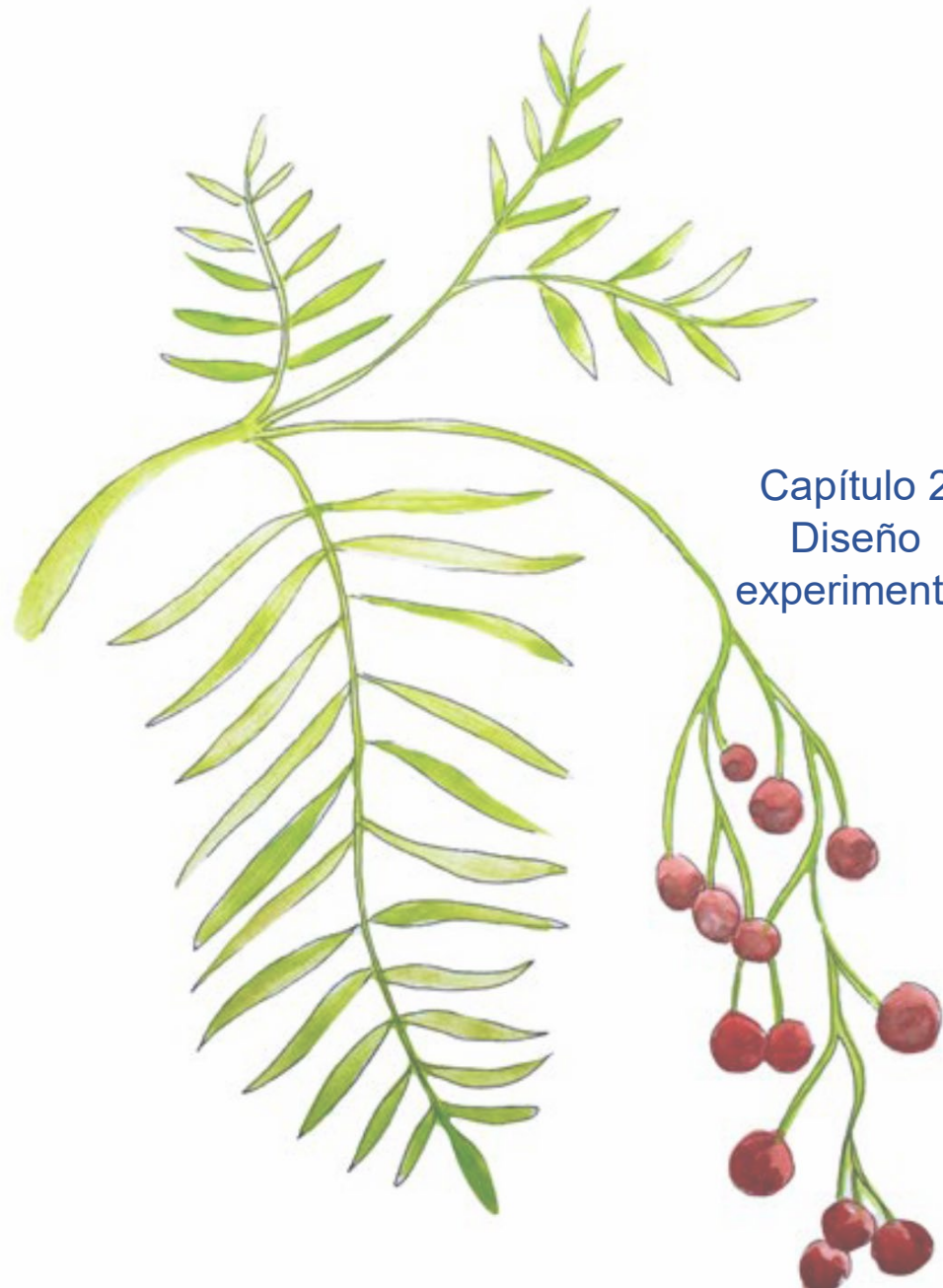
Una quemadura se produce cuando los líquidos calientes (escaldadura) dañan el tejido cutáneo u otros tejidos.

Los líquidos calientes (escaldadura), los sólidos calientes (contacto) y las llamas matan otros tejidos. Las quemaduras se definen a veces como lesiones causadas por radiación, radiactividad, electricidad, fricción o contacto químico (Michael D. Petreck, 2011).

La tasa media nacional de quemados en México es de 107.26 por cada 100,000 habitantes, lo que representa una media anual de 113,531 pacientes quemados en los cinco años anteriores (Guerrero Becerril, L. E., & Pacheco López, R. C., 2015). En comparación con Estados Unidos, las tasas de incidencia en las naciones más pobres siguen siendo de hasta 5:1. En lo que respecta a la población adulta de México, los varones presentan un riesgo más elevado, atribuible a los accidentes laborales.



Fig. 10. Distribución geográfica de quemaduras en México (enero-junio 2014) (Moctezuma Paz LE, Francisco I, Jiménez Gonzales S, et al., 2015).



Capítulo 2
Diseño
experimental

Hojas y frutos del árbol de Pirul o falso pimentero (Schinus molle L.) pintura a acuarela. Imagen tomada de Guía Ilustrada de Plantas Medicinales en el Valle de México, pág.234 (Fonseca Chávez et al., 2020).

2.1 Recolección de la planta y muestreo de *Schinus molle* L.

Las hojas del árbol de *Schinus molle* (*Scmo*), obtenidas en la colonia Bello Horizonte, en municipio de Cuautlancingo, Puebla, con coordenadas geográficas 19°03'18.6"N 98°15'54.8"W. Fueron recolectadas de forma manual en la tarde, posteriormente fueron lavadas con agua destilada, y se secan a temperatura ambiente

2.2 Síntesis del extracto alcohólico concentrado de *Scmo*-90 y el nanomaterial *Scmo*/ZnO-40-15.

Se colocaron las hojas en un cartucho de papel filtro. Se instala el equipo Soxhlet. Figura 11.



Fig. 11. Izquierda: hojas del árbol de pirul y derecha: equipo Soxhlet.

15 mL del extracto alcohólico concentrado de *Scmo*-90, se mezclan con 80 mL de etanol absoluto (Sigma Aldrich), 15 mL de agua destilada y 2 g de PVP (Sigma-Aldrich). La síntesis del nanomaterial de óxido de zinc con el extracto alcohólico concentrado de *Scmo*-90 se realizó por la técnica de sol-gel, con una temperatura de reflujo de 40°C. Figura 12.

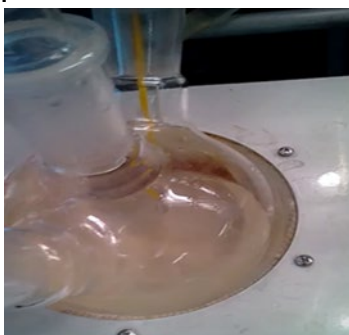


Fig. 12. Síntesis del nanomaterial de ZnO con *Scmo*-90. sol-gel.

El nanomaterial obtenido se etiqueta como *Scmo*/ZnO-40-15. Figura 13.



Fig. 13. Nanomaterial de como *Scmo/ZnO-40-15*.

2.3 Aplicación del nanomaterial *Scmo/ZnO-40-14* a un masculino de 47 años con quemadura tipo A.

El masculino de 47 años de oficio obrero textil realizaba el mantenimiento de una caldera y paso su brazo por un tubo donde pasa vapor de agua (aprox. 100°C a 120°C), posteriormente terminada su jornada laboral regreso a casa y se trató con el nanomaterial *Scmo/ZnO-40-14* fruto y hoja.

2.4 Técnicas de caracterización.

La caracterización de los nanomateriales *Scmo/ZnO-40-15*, así como del extracto concentrado al 90% de *Schinus molle L.*, se realiza con la ayuda de las siguientes técnicas de instrumentación analítica.

2.4.1 Espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS).

El espectrofotómetro UV-VIS es un instrumento que permite comparar la radiación absorbida o transmitida por una solución que contiene una cantidad desconocida de soluto y una que contiene una cantidad conocida de la misma sustancia. Para el estudio de las propiedades electrónicas y ópticas de los nanoreservorios obtenidos, se utilizó un espectrofotómetro UV-VIS de Varian modelo Cary 100 con esfera de integración acoplada de reflectancia difusa recubierta con MgO como estándar de reflectancia certificada marca Lab sphere con una reflectividad del 100%.



Fig. 14. Equipo espectrofotómetro UV-VIS Varian modelo Cary 100

2.4.2 Espectroscopia Infrarroja con transformadas de Fourier (FTIR).

La espectroscopia FTIR nos ayuda a la identificación de grupos funcionales presentes en los nanoreservorios sintetizados. El estudio se realizó en un espectrómetro de transformada de Fourier marca Digilab SCIMITAR Series. Se elaboraron pastillas transparentes conteniendo la muestra a analizar y KBr como aglutinante, utilizando un número de barridos de 16 y una resolución de 4 cm^{-1} .

La caracterización física del extracto alcohólico concentrado de *Scmo*-90 y el nanomaterial de *Scmo*/ZnO-40-15, se realizó con la ayuda de un espectrofotómetro de transformadas de Fourier. Figura 15.



Fig. 15. Equipo espectrofotómetro de infrarrojo

2.4.3 Espectroscopia de Difracción de Rayos X (DRX).

Esta técnica no destructiva se empleó para identificar las estructuras o fases cristalinas de los nanoreservorios obtenidos. El espectrofotómetro utilizado es un equipo de Difracción de Rayos X (DRX) D8-Discover, Bruker con lector LynxEye, voltaje de 40 Kv, como se muestra en la figura 16. Previo al análisis las muestras fueron pulverizadas, empaquetadas y posteriormente analizadas a temperatura ambiente (25°C), con intervalo de 2θ localizado entre 5° a 170° , con un tiempo de incidencia de 1 segundo. Se empleó una radiación de Cu y Mo y longitud de onda de 1.54 \AA .



Fig. 16. Equipo espectrofotómetro de Difracción de Rayos X (DRX).

2.4.4 Espectroscopia de Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

Con esta técnica es posible la observación morfológica de muestras orgánicas e inorgánicas aunada al análisis cualitativo y cuantitativo de materiales. El equipo utilizado para el análisis microestructural fue un microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM-6610LV. El voltaje de aceleración utilizado fue de 20 kV. Para optimizar los resultados de este equipo se hace un recubrimiento de las muestras con un material conductor que sirve de soporte (tira de carbón). Posteriormente se recubrieron las muestras con una capa delgada de oro, con el fin de obtener superficies homogéneas, conductoras y facilitar la observación de estructuras y tamaño de los nanoreservorios de Scmo/ZnO-40-15. Para el recubrimiento de las muestras se utilizó el equipo Denton Vacuum-Desk V. En este trabajo se utilizaron aumentos desde 1 000 a 10 000.



Fig. 17. Equipo SEM.

Detector de electrones secundarios:(SEI: Secondary Electron Image) con los que obtenemos las imágenes de alta resolución.

Detector de electrones retrodispersados: (BEI: Backscattered Electron Image), con menor resolución de imagen, pero mayor contraste para obtener la topografía de la superficie.

2.5 Discusión de resultados

2.5.1 Espectroscopia FTIR

El espectro de infrarrojo del extracto alcohólico concentrado de *Scmo*-90 de la figura 18, presenta los modos de vibración en 3433.5 cm^{-1} y en 1636.3 cm^{-1} , los modos de vibración flexión, deformación ($\nu_{\text{C}=\text{C}}$, $\nu_{\text{C}-\text{C}}$, ν_{CH_3} , $\nu_{\text{C}-\text{O}}$, $\nu_{\text{C}-\text{O}-\text{O}}$, $\delta_{\text{H}_2\text{O}}$), representando a las moléculas del α -pineno, verbeneno, limoneno, sabineno.

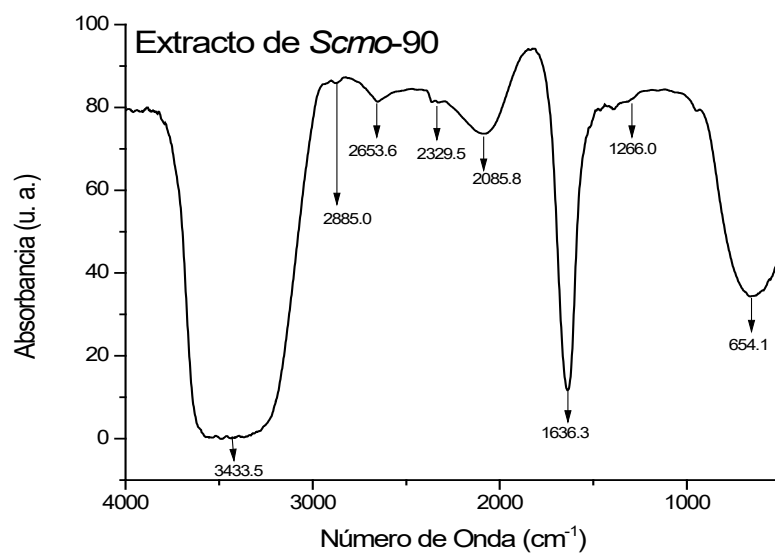


Fig. 18. Espectro de FTIR del extracto alcohólico concentrado de Scmo-90.

Los modos de vibración tipo flexión, deformación (ν_{Csp2-H} y δ_{CH3}), ubicados en el número de onda igual a 2885.0 cm^{-1} , identifican los grupos metil y metilenos del extracto alcohólico concentrado de Scmo-90.

Los números de onda desde el 1394.8 cm^{-1} al 1060.0 cm^{-1} , corresponden a los modos de vibración de alargamiento simétrico, de doblaje de deformación fuera de fase degenerado, deformación del agua, del tipo balanceo y de tensión deformación ($\nu^{as}C-O-O$, $\delta^{as}CH_3$, δ_{H_2O} , ν^sC-O-O , ν_{CH_2} , ν_{O-C-C} , γ_{O-H}), de los metabólicos secundarios contenidos en el extracto alcohólico concentrado de Scmo-90.

La banda absorción ubicada en 654.1 cm^{-1} , se identifican con los modos de vibración tipo doblaje fuera del plano (γ_{C-H}), de tensión y deformación (γ_{O-H}), así como de las interacciones metal-oxígeno (ν_{Me-O}) de microelementos contenidos en el extracto alcohólico concentrado de Scmo-90.

El espectro de infrarrojo del nanomaterial de ZnO-40 (figura 19), muestra una ligera banda de absorción ubicada (casi aperece) en 3379.4 cm^{-1} que corresponde al modo de vibración tipo alargamiento de los grupos hidroxilos (ν_{O-H}) asignados a los grupos hidroxilos (OH^-) del agua ($H-OH$), solvente (etanol, $R-OH$) y a la hidroxilación del nanocatalizador ($Zn-OH$). Estos grupos funcionales se encuentran en los poros del ZnO formados durante la primera etapa de gelación.

Los modos de vibración (casi inapreciables) de alargamiento de tipo ν_{C-H} , ubicados en 2906.0 cm^{-1} , corresponden a las especies químicas C-H de los metilos ($-CH_3$). En 1515.1 cm^{-1} se ubican las vibraciones de alargamiento simétricas ν_{COO^-} y deformación δ_{CH_3} .

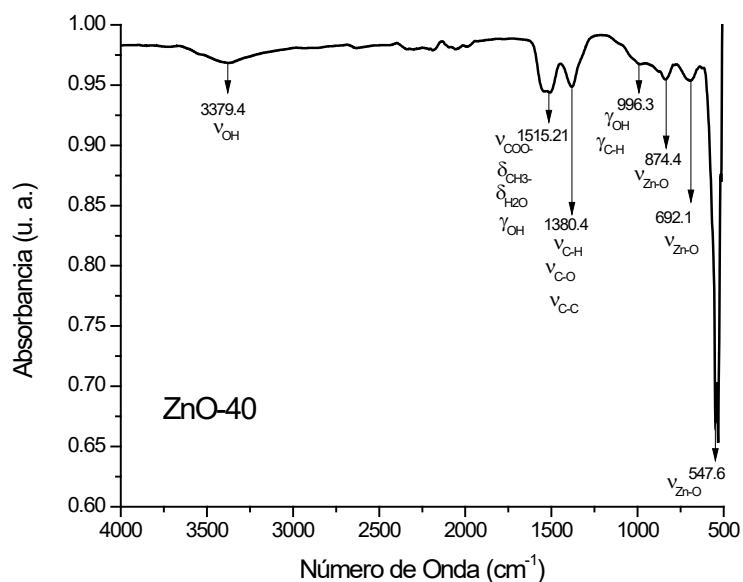


Fig. 19. Espectro de FTIR del nanomaterial de ZnO-40.

La banda de adsorción localizada entre 1380.4 cm⁻¹ corresponde a vibraciones de tipo alargamiento de los grupos C-C (ν_{C-C}), y C-O (ν_{C-O}), las cuales se deben a especies metóxido puente, así como a solventes, productos y subproductos de la reacción de síntesis del material.

Hacia 996.3 cm⁻¹, se ubica el modo de vibración (γ_{C-H}), que identifica las vibraciones de doblaje fuera del plano, los modos de vibración (τ_{CH_2}) y (γ_{C-H}), correspondientes a los metilenos de tipo torsión. Hacia 874.4 cm⁻¹, 692.1 cm⁻¹ 547.6 cm⁻¹, se ubica el modo de vibración de tipo flexión (ν_{Me-O}), de las interacciones metal-oxígeno de los grupos Zn-O.

El espectro de FTIR, del nanomaterial *Scmo*/ZnO-40-15, presenta las bandas de vibración del nanomaterial de ZnO-40 y del extracto alcohólico concentrado de *Scmo*-90, como se muestra en la figura 20.

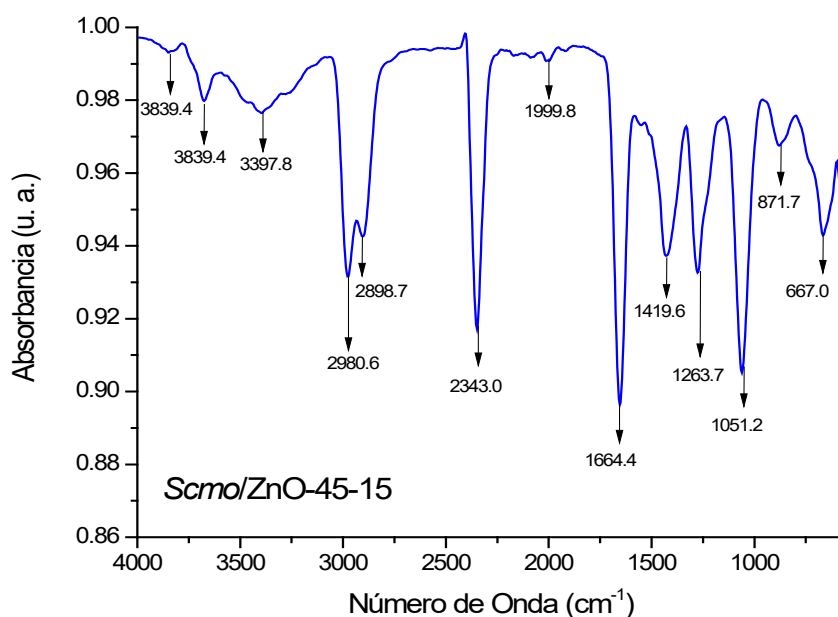


Fig. 20. Espectro de FTIR del nanomaterial Scmo/ZnO-40-15.

De acuerdo al espectro de infrarrojo del nanomaterial Scmo/ZnO-40-15, se observan bandas de absorción desglosadas en la región del número de onda igual 4000cm⁻¹ hasta los 500 cm⁻¹, debido a la interacción de tipo físico del extracto alcohólico concentrado de Scmo-90 en la malla del nanomaterial ZnO-40.

2.5.2 Espectroscopia Ultravioleta-Visible.

El espectro de UV-VIS del extracto alcohólico concentrado Scmo-90 se muestra en la figura 21.

Se observa una pequeña banda de absorción en la región de la longitud de onda en 272.11 nm correspondiendo a los compuestos mayoritarios del árbol de *Schinus molle* (pirul), α -pineno, verbeneno y los polienos (H-(CH=CH)_n-CH=CH₂) y oxipolienatos (O=CH-(CH=CH)_n-O).

Esto se explica por las transiciones electrónicas entre la banda $\pi\pi^*$ menos energética se desplaza batocromicamente, pudiendo presentar coloración el compuesto al comenzar a absorber selectivamente radiación en la región visible.

Esta banda tiene un apreciable carácter de transferencia de carga: en el estado excitado aumenta la densidad electrónica sobre el carbonilo a expensas de la nube π .

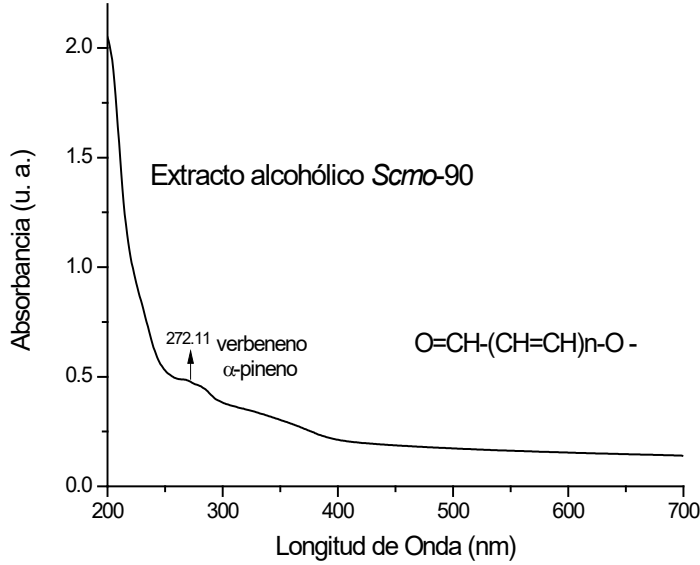


Fig. 21. Espectros de UV-VIS del extracto alcohólico Scmo-90.

2.5.3 Espectroscopia Electrónica de Barrido

La micrografía del nanomaterial de óxido de zinc, se muestra en la figura 22.

El nanoreservorio de ZnO-40 presenta una morfología estructural cristalina hexaédrica de diferente tamaño. Los más grandes presentan un tamaño promedio de 356 nm (largo). Los más pequeños presentan una dimensión en promedio de 89 nm. De acuerdo a la escala nanométrica de los materiales, el nanomaterial de ZnO si corresponde a un nanomaterial.

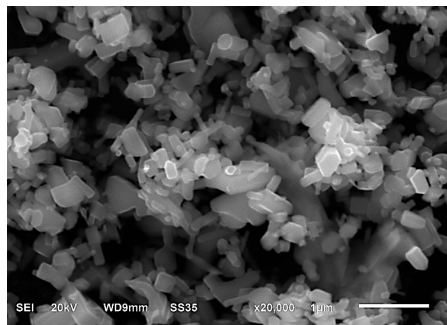


Fig. 22. Micrografía del nanoreservorio de ZnO-40

La micrografía del nanomaterial de Scmo/ZnO-40-15, se muestran en la figura 23.

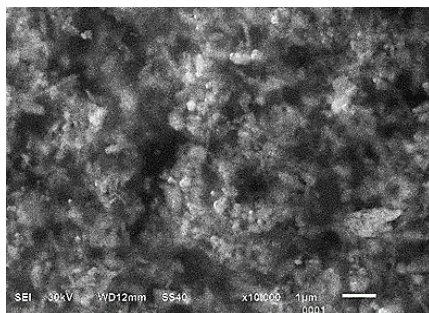


Fig. 23. Micrografía del nanomaterial de Scmo/ZnO-40-15

La micrografía del nanoreservorio de *Scmo/ZnO-40-15* muestra aglomerados semicristalinos de partículas hexagonales con un diámetro promedio de 20 nm.

La presencia del extracto alcohólico concentrado de *Scmo-90* en la malla del nanoreservorio de ZnO-40, modifican la textura de la nanomaterial de ZnO-40, hacia la tendencia amorfa; sin embargo, como se puede observa en la micrografía de la figura 23, la concentración del extracto de *Scmo-90* presente en la malla no es por el momento factor para transformar la fase cristalina hexagonal a fase amorfa.

2.5.4 Espectroscopia de energía dispersiva.

El resultado por SEM-EDS muestra de forma semicuantitativa el porcentaje de cada elemento en masa y atómico presente en el nanomaterial de ZnO-40 y *Scmo/ZnO-40-15*.

El ZnO-40 presenta un porcentaje en masa de oxígeno de 28.12 y de zinc de 71.88, estos resultados nos llevan a la estipulación de una fórmula empírica para el nanomaterial de óxido de cinc es: $ZnO_{1.6}$ respecto a la fórmula estructural del ZnO, como lo muestra la Tabla 8. Indicando que existe un incremento de oxígeno del orden de 0.6 % en masa, debido a que el nanoreservorio de ZnO-40 se encuentra hidroxilado.

Tabla 8. EDS del ZnO

Elemento	Masa (%)	Átomos (%)
Oxígeno (O)	28.12	61.51
Zinc (Zn)	71.88	38.4
Total	100.00 %	

La Tabla 9 muestra los resultados del estudio de EDS del nanomaterial de *Scmo/ZnO₂-40-15*.

Tabla 9. EDS de *Scmo/ZnO-40-15*.

Elemento	Masa (%)
Oxígeno (O)	18.73
Zinc (Zn)	31.21

Carbono (C)	50.07
-------------	-------

Se observa la presencia en porcentaje en masa de carbono en un 50.07%, Por lo tanto, se demuestra la presencia del extracto alcohólico concentrado de *Scmo*-90 en la malla del nanomaterial ZnO-40.

Además, se observa que en la superficie del nanoreservorio *Scmo*/ZnO-40-15, disminuye la concentración de átomos de oxígeno en $\frac{3}{4}$ partes y la concentración de átomos de zinc aproximadamente a la mitad. Esto nos indica que el extracto de *Scmo*-90, puede estar en la superficie del nanomaterial ZnO-40

2.6 Resultados y discusión del efecto de regeneración epidérmica con nanomatrices de *Scmo*/ZnO en un masculino de 47 años con Quemadura Tipo A

La actividad regenerativa que presenta el nanoreservorio de *Scmo*/ZnO-40-15, en quemadura tipo A que presenta un paciente masculino de 47 años de edad, ocasionada de forma accidental con una caldera (acero) en el cual pasa vapor de agua (en el trabajo) se muestra a continuación.

El nanomaterial de *Scmo*/ZnO-40-15 se aplico por primera vez el día dos de junio del 2023 sobre la parte afectada (quemadura tipo A) en la parte posterior del antebrazo, figura 24.



Fig. 24. Quemadura tipo A en la parte posterior del antebrazo (2 de junio del 2023)

Como se observa en la figura 24, la quemadura tipo A, que presenta el paciente se observa una mancha oscura y rojiza que cubre un $\frac{1}{4}$ del antebrazo, con ligera inflamación en la zona afectada.

Se fue monitoreando la actividad del nanomaterial *Scmo*/Zno-40-15 todos los días a partir del primer día de aplicación del nanomaterial y se registró el avance de desvanecimiento y corrección de la cicatriz.

En el día 3 de junio del 2023, y después de haber aplicado el nanomaterial *Scmo/Zno-40-15*, se observa un ligero desvanecimiento de la coloración de la herida por quemadura tipo A y también una ligera desinflamación de la parte afectada y en los alrededores por la quemadura, figura 25.



Fig. 25. Quemadura tipo A en la parte posterior del antebrazo (3 de junio del 2023)

Al continuar con el tratamiento de la aplicación del nanomaterial *Scmo/Zno-40-15*, se observa una mejoría en el desvanecimiento de la quemadura tipo A y no se observa inflamada la parte del antebrazo posterior y sus alrededores por la quemadura de tipo A. Figura 26.



Fig. 26. Quemadura tipo A en la parte posterior del antebrazo (9 de junio del 2023, izquierda, 10 de junio del 2023)

El día 12 de junio del 2023, último día de la aplicación del nanomaterial *Scmo/Zno-40-15*, en la parte afectada posterior del antebrazo, se observa un desvanecimiento del 80% y una corrección de la cicatrización de la quemadura tipo A del 90%. Figura 27.



Fig. 27. Quemadura tipo A en la parte posterior del antebrazo (11 de junio del 2023, izquierda, 12 de junio del 2023)

CONCLUSIONES

1. Se obtuvo el extracto alcohólico concentrado de las hojas del árbol de pirul al 90% por la técnica de Soxhlet
2. Se sintetizaron los nanomateriales de ZnO-40 y *Scmo/ZnO-40-15* por la técnica sol-gel.
3. Se identifican los grupos funcionales del nanomaterial de ZnO-40 (ν_{OH} , ν_{C-H} , δ_{OH} , δ_{H_2O} , ν_{C-O} , ν_{C-C} y principalmente el modo de vibración ν_{Zn-O}), de tipo alargamiento, flexión y deformación, correspondientes a las trazas de alcohol, alcóxido y PVP, de la síntesis del ZnO-40.
4. Se identifican los grupos funcionales del nanomaterial *Scmo/ZnO-40-15* (ν_{OH} , ν_{C-H} , δ_{OH} , δ_{H_2O} , ν_{C-O} , ν_{C-C} y ν_{Zn-O}), de tipo alargamiento, flexión y deformación, correspondientes a las moléculas del extracto alcohólico concentrado *Scmo-90* (α -pineno, verbeneno, limoneno, sabineno) y del óxido de zinc.
5. El estudio de Espectroscopia de Energía Dispersa (EDS) indican la presencia de moléculas de *Schinus molle L.* en la malla del ZnO-40.
6. La concentración del extracto de *Schinus molle L.* al 90% no modifica la fase cristalina del ZnO-40 del tipo hexagonal wurzita.
7. El tamaño promedio de partícula del nanoreservorio *Scmo/ZnO-40-15* es de 20 nm, lo que indica la presencia de nanomateriales.
8. Se demuestra la presencia del extracto de *Schinus molle L.* en la malla del ZnO-40, de acuerdo al estudio de EDS.
9. El nanomaterial *Scmo/ZnO-40-15*, es un gran candidato para ser aplicado como corrector de cicatrices causadas por quemaduras de tipo A y para el desvanecimiento de la cicatriz, ya que tiene una efectividad en 13 días de haberse aplicado del 90%, mejorando las condiciones de salud y estéticas del paciente masculino de 47 años.

PERSPECTIVAS

1. Realizar más técnicas de caracterización de los nanoreservorios obtenidos (DRX) para conocer sus propiedades fisicoquímicas.
2. Realizar más pruebas farmacéuticas y farmacocinéticas al nanoreservorio *Scmo/ZnO-40-15* para poder aplicarlo con más seguridad y calidad sobre pacientes que presentan quemaduras de tipos AB-A, AB-B Y B.
3. Realizar pruebas histológicas para comprobar si el nanoreservorio presenta actividad de regeneración celular o establecer el tipo de regeneración que puede presentar.

Bibliografía

1. Artigas R: Diagnóstico de la lesión local y su evolución. Quemaduras. Santiago, Sociedad de Cirujanos de Chile, 1995: 29-42
2. Barhoum, A., García-Betancourt, M. L., Jeevanandam, J., Hussien, E. A., Mekkawy, S. A., Mostafa, M., Omran, M. M., Abdalla, M. S., & Bechelany, M. (2022). Review on Natural, Incidental, Bioinspired, and Engineered Nanomaterials: History, Definitions, Classifications, Synthesis, Properties, Market, Toxicities, Risks, and Regulations. *Nanomaterials*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/nano12020177>
3. Basky Z, Almasi A, 2005. Differences in aphid transmissibility and translocation between PVYN and PVYO isolates. *Journal of Pest Science*, 78(2):67-75.
4. Boyadzhiev V, Natskova V, 1984. The 'Electrodyn' portable sprayer. *Rastitelna Zashchita*, 32(10):40-43
5. Carrasco Raymunde, E. (1998). *Estudio de los aceites y determinaciones de la actividad antimicrobiana del fruto de Schinus molles L. "Molle."*
6. Castillo D., P. (2003). Quemaduras: Conceptos para el médico general. *Cuadernos de Cirugía*, 17(1), 58–63. <https://doi.org/10.4206/cuad.cir.2003.v17n1-10>
7. Chomali T: Quemaduras: Etiologías. Quemaduras.Santiago, Sociedad de Cirujanos de Chile, 1995:24-8
8. Craddock; P. T. (1998). «Zinc in India». 2000 years of zinc and brass. British Museum. p. 27.
9. Craddock, P. T. (2008). «Mining and Metallurgy, chapter 4». En Oleson, John Peter, ed. *The Oxford Handbook of Engineering and Technology in the Classical World*. Oxford University Press. pp. 111-112.
10. El-Kady, M. M., Ansari, I., Arora, C., Rai, N., Soni, S., Verma, D. K., Singh, P., & Mahmoud, A. E. D. (2023). Nanomaterials: A comprehensive review of applications, toxicity, impact, and fate to environment. *Journal of Molecular Liquids*, 370. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.121046>
11. Ershov, B. G. (1997). Metal ions in unusual and unstable oxidation states in aqueous solutions: Formation and properties. *Uspekhi Khimii*, 66(2), 115–116. <https://doi.org/10.1070/RC1997V066N02ABEH000264/XML>
12. Fernandez, A., Caballero, A., Gonzalez-Elipe, A. R., Herrmann, J. M., Dexpert, H., & Villain, F. (1995). In situ EXAFS study of the photocatalytic reduction and deposition of gold on colloidal titania. *Journal of Physical*

- Chemistry*, 99(10), 3303–3309.
https://doi.org/10.1021/J100010A047/ASSET/J100010A047.FP.PNG_V03
13. Fonseca Chávez, R. E., Rivera Levario, L. A., Vázquez García, L., Flores García, V., Bercerril Cruz, C., Zamora Pérez, N., Regino Montes, A., Dimas Huacuz, B., & Lincona, G. I. M. (2020). *Guía Ilustrada de Plantas Medicinales en el Valle de México*. Instituto Nacional de los Pueblos Indígenas. <https://www.gob.mx/inpi/articulos/guia-ilustrada-de-plantas-medicinales-en-el-valle-de-mexico-descarga-el-nuevo-libro>
 14. Guerrero Becerril, L. E., & Pacheco López, R. C. (2015, 10 julio). Epidemiología del paciente quemado en un centro de referencia hospitalario. <https://www.imbiomed.com.mx/articulo.php?id=106433>
 15. Harding, Fred John (2007). *Breast Cancer: Cause – Prevention – Cure*. Tekline Publishing. p. 83.
 16. Heiligtag, F. J., & Niederberger, M. (2013). The fascinating world of nanoparticle research. *Materials Today*, 16(7–8), 262–271. <https://doi.org/10.1016/J.MATTOD.2013.07.004>
 17. INSHT. (2015). Seguridad y Salud en el Trabajo con Nanomateriales. In *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo INSHT* (Abril, 201). <http://publicacionesoficiales.boe.eshttp://www.insht.es/catalogopublicaciones/>
 18. Jeevanandam, J., Sundaramurthy, A., Sharma, V., Murugan, C., Pal, K., Kodous, M. H. A., & Danquah, M. K. (2020). Sustainability of One-Dimensional Nanostructures: Fabrication and Industrial Applications. *Sustainable Nanoscale Engineering: From Materials Design to Chemical Processing*, 83–113. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814681-1.00004-7>
 19. Jin, H., Guo, C., Liu, X., Liu, J., Vasileff, A., Jiao, Y., Zheng, Y., & Qiao, S. Z. (2018). Emerging Two-Dimensional Nanomaterials for Electrocatalysis. *Chemical Reviews*, 118(13), 6337–6408. https://doi.org/10.1021/ACS.CHEMREV.7B00689/ASSET/IMAGES/MEDIUM/CR-2017-00689W_0051.GIF
 20. Johnson-Mcdaniel, D., Barrett, C. A., Sharafi, A., & Salguero, T. T. (2013). Nanoscience of an ancient pigment. *Journal of the American Chemical Society*, 135(5), 1677–1679. https://doi.org/10.1021/JA310587C/SUPPL_FILE/JA310587C_SI_001.PDF
 21. Jong, K. de. (2009). *Synthesis of solid catalysts*. [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=uBS9rZ-dAnMC&oi=fnd&pg=PR13&dq=de-Jong,+K.+P.+\(2009\).+Synthesis+of+solid+catalysts.+Weinheim:+Wiley-VCH&ots=i5ls6pc6t1&sig=Y_RAJhhDRnh5u6ArwvM1EkM4bto](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=uBS9rZ-dAnMC&oi=fnd&pg=PR13&dq=de-Jong,+K.+P.+(2009).+Synthesis+of+solid+catalysts.+Weinheim:+Wiley-VCH&ots=i5ls6pc6t1&sig=Y_RAJhhDRnh5u6ArwvM1EkM4bto)
 22. Leire, A. B. (2004, 1 octubre). Quemaduras. *Farmacia Profesional*. <https://www.elsevier.es/es-revista-farmacia-profesional-3-articulo-quemaduras-13068673>
 23. Lim, T. K. (2012). *Schinus molle*. In *Species Plantarum* (Issue 1753, pp. 153–159). https://doi.org/10.1007/978-90-481-8661-7_21
 24. Michael D. Peck. «Epidemiology of burnos throughout the world. Part I: Distribution and risk factors.». *Burns* (37). 2011
 25. Moctezuma-Paz LE, Páez-Franco I, Jiménez-González S, et al.

- Epidemiología de las quemaduras en México. *Rev Esp Med Quir.* 2015;20(1):78-82.
26. Mubeen, B., Ansar, A. N., Rasool, R., Ullah, I., Imam, S. S., Alshehri, S., Ghoneim, M. M., Alzarea, S. I., Nadeem, M. S., & Kazmi, I. (2021). Nanotechnology as a Novel Approach in Combating Microbes Providing an Alternative to Antibiotics. *Antibiotics*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/antibiotics10121473>
 27. Muzafarov, A. M., & Rebrov, E. A. (2000). Current trends in the chemistry of dendrimers. *Polymer Science - Series C*, 42(1), 55–77.
 28. Özgür, Ü., Alivov, Y. I., Liu, C., Teke, A., Reshchikov, M. A., Doğan, S., Avrutin, V., Cho, S. J., & Morkoç, H. (2005). A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of Applied Physics*, 98(4), 1–103. <https://doi.org/10.1063/1.1992666>
 29. Rao, C. N. R., Müller, A., (eds), A. K. C., & KGaA, W.-V. V. G. & C. (2004). The chemistry of nanomaterials - C. N. R. Rao, A. Müller, A. K. Cheetham (eds), WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2004. ISBN 3-527-30686-2, 741 pages. *Colloid and Polymer Science 2004 283:2*, 283(2), 234–234. <https://doi.org/10.1007/S00396-004-1140-1>
 30. Schmid, G. (2004). *Nanoparticles: from theory to application*. Wiley-VCH. <https://www.wiley.com/en-us/Nanoparticles%3A+From+Theory+to+Application-p-9783527604043>
 31. Sergeev, G. (2006). *Nanochemistry*. [https://ds.amu.edu.et/xmlui/bitstream/handle/123456789/6137/Nanochemistry - G. Sergeev %28Elsevier%2C 2006%29 WW.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ds.amu.edu.et/xmlui/bitstream/handle/123456789/6137/Nanochemistry-G-Sergeev-%28Elsevier%2C-2006%29-WW.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
 32. Takeuchi, N. (2010). *Nanociencia Y Nanotecnología La construcción de un mundo mejor átomo por átomo la ciencia/222 para todos* (Fondo de Cultura Económica (ed.); Primera ed). <https://doi.org/10.2307/j.ctv1xxvv8.7>
 33. Turkevich, J., Stevenson, P. C., & Hillier, J. (1951). A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold. *Discussions of the Faraday Society*, 11(0), 55–75. <https://doi.org/10.1039/DF9511100055>
 34. Walter, P., Welcomme, E., Hallégot, P., Zaluzec, N. J., Deeb, C., Castaing, J., Veyssièrè, P., Bréniaux, R., Lévêque, J. L., & Tsoucaris, G. (2006). Early use of PbS nanotechnology for an ancient hair dyeing formula. *Nano Letters*, 6(10), 2215–2219. <https://doi.org/10.1021/nl061493u>
 35. Wang, Z., Hu, T., Liang, R., & Wei, M. (2020). Application of Zero-Dimensional Nanomaterials in Biosensing. *Frontiers in Chemistry*, 8, 538454. <https://doi.org/10.3389/FCHEM.2020.00320/BIBTEX>
 36. Xie, R. C., & Shang, J. K. (2007). Morphological control in solvothermal synthesis of titanium oxide. *Journal of Materials Science*, 42(16), 6583–6589. <https://doi.org/10.1007/S10853-007-1506-0>
 37. Zanella, R., Delannoy, L., & Louis, C. (2005). Mechanism of deposition of gold precursors onto TiO₂ during the preparation by cation adsorption and deposition-precipitation with NaOH and urea. *Applied Catalysis A: General*, 291(1–2), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2005.02.045>
 38. Zanella, R., Giorgio, S., Henry, C. R., & Louis, C. (2002). Alternative Methods for the Preparation of Gold Nanoparticles Supported on TiO₂. *Journal of*

- Physical Chemistry B*, 106(31), 7634–7642.
<https://doi.org/10.1021/JP0144810>
39. Zhao, H., & Lei, Y. (2020). 3D Nanostructures for the Next Generation of High-Performance Nanodevices for Electrochemical Energy Conversion and Storage. *Advanced Energy Materials*, 10(28), 2001460.
<https://doi.org/10.1002/AENM.202001460>
40. Zhu, H. T., Zhang, C. Y., & Yin, Y. S. (2004). Rapid synthesis of copper nanoparticles by sodium hypophosphite reduction in ethylene glycol under microwave irradiation. *Journal of Crystal Growth*, 270(3–4), 722–728.
<https://doi.org/10.1016/J.JCRYSGRO.2004.07.008>