

NANOPARTÍCULAS INORGÁNICAS: SÍNTESIS, CARACTERIZACIONES Y SUS APLICACIONES

Prof. Alicia M. Díaz García

4 de noviembre de 2025

Tópicos

- ☐ Obtención de nanopartículas de óxidos metálicos (IONPs, ZnONPs)
- ☐ Nanopartículas de oro
- ☐ Modificación de superficies
- ☐ Aplicaciones



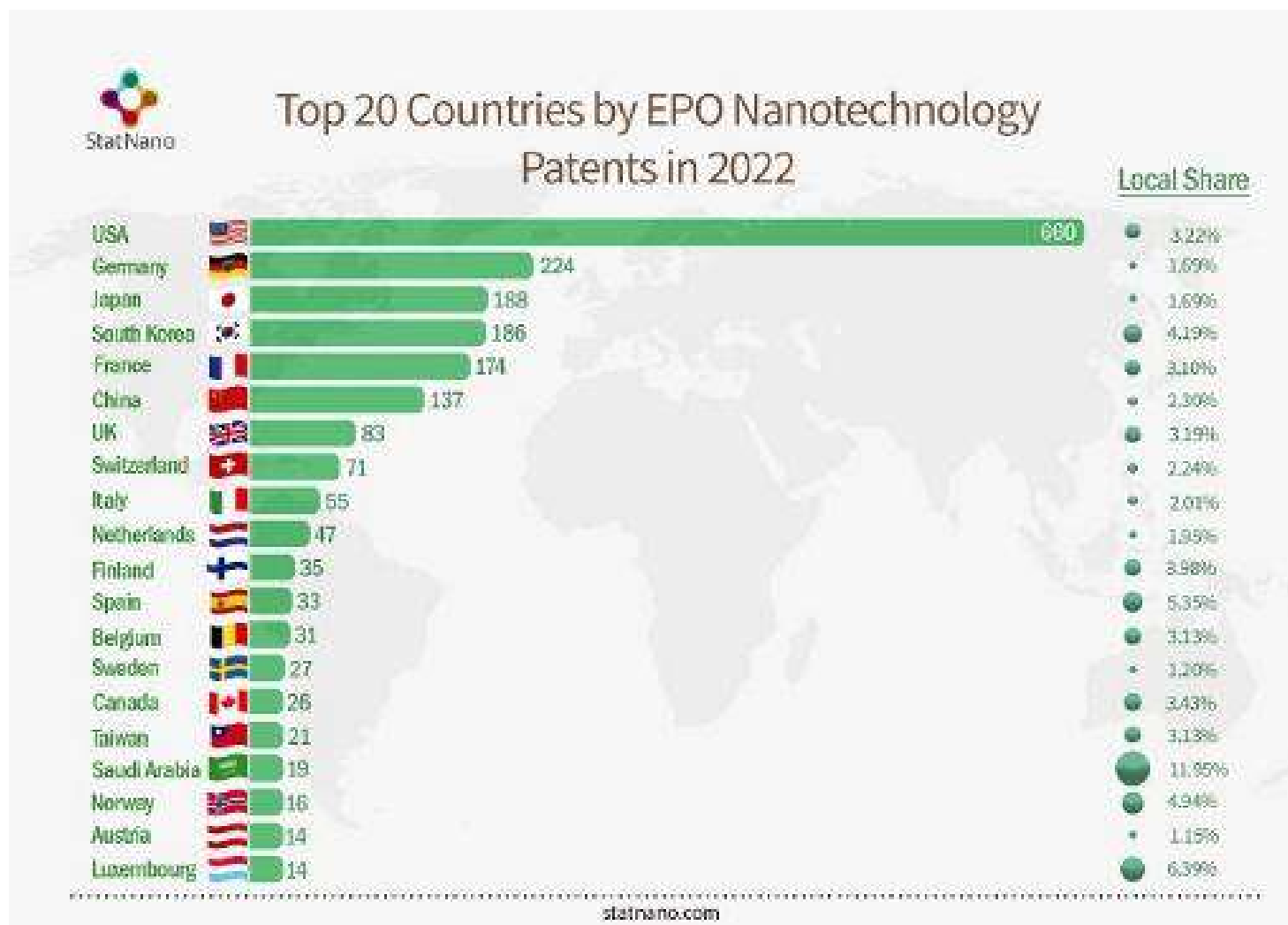
Top 10 Countries in Publishing Nanotechnology Standards

Number of standards at the end of 2022

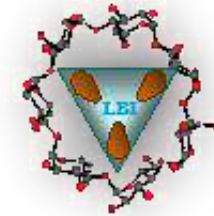


statnano.com

<https://statnano.com/news/72058>



<https://statnano.com/news/72238>



Métodos de síntesis de IONPs

Coprecipitación

Hidrotermal/Solvotermal

Descomposición Térmica

Método del Poliol

Método sol-gel

Información relacionada con las nanoestructuras

Características físicas

Características químicas

dimensiones

composición

Propiedades

- Eléctricas
- Magnéticas
- Térmicas
- Mecánicas
- Ópticas

Quiralidad

Reactividad

Características
Biológicas

Topografía de la superficie

Enlace

Estructura

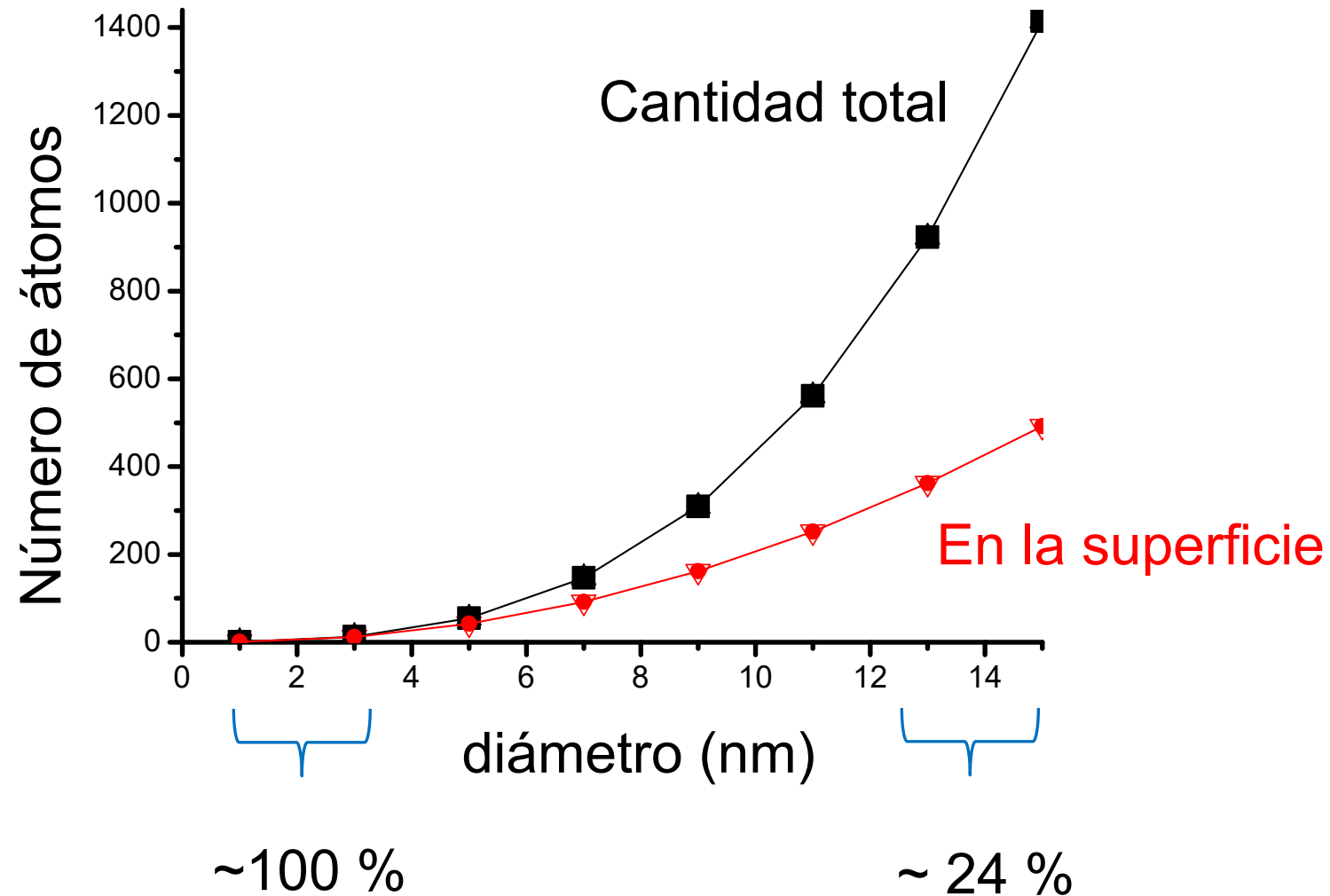
- Toxicidad
- Difusión a través de la membrana
- Biotransformación
- Interacciones entre las células y los microorganismos

Nanoestructuras.





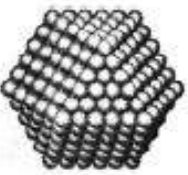
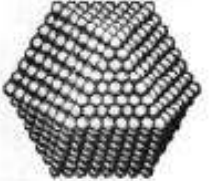
Las dimensiones nanométricas definen dos características fundamentales:

- ❑ la naturaleza cuántica del material: confinamiento cuántico
- ❑ un alto % o hasta la totalidad de los átomos se encuentran en la superficie

Número de átomos en NPs metálicas con una estructura cúbica compacta centrada en las caras (FCC)



Número de átomos en NPs metálicas con una estructura cúbica compacta centrada en las caras (FCC)

Full-shell Clusters		Total Number of Atoms	Surface Atoms (%)
1 Shell		13	92
2 Shells		55	76
3 Shells		147	63
4 Shells		309	52
5 Shells		561	45
7 Shells		1415	35

Algunas propiedades sobre las que influye las dimensiones nanométricas

☐ Físicas

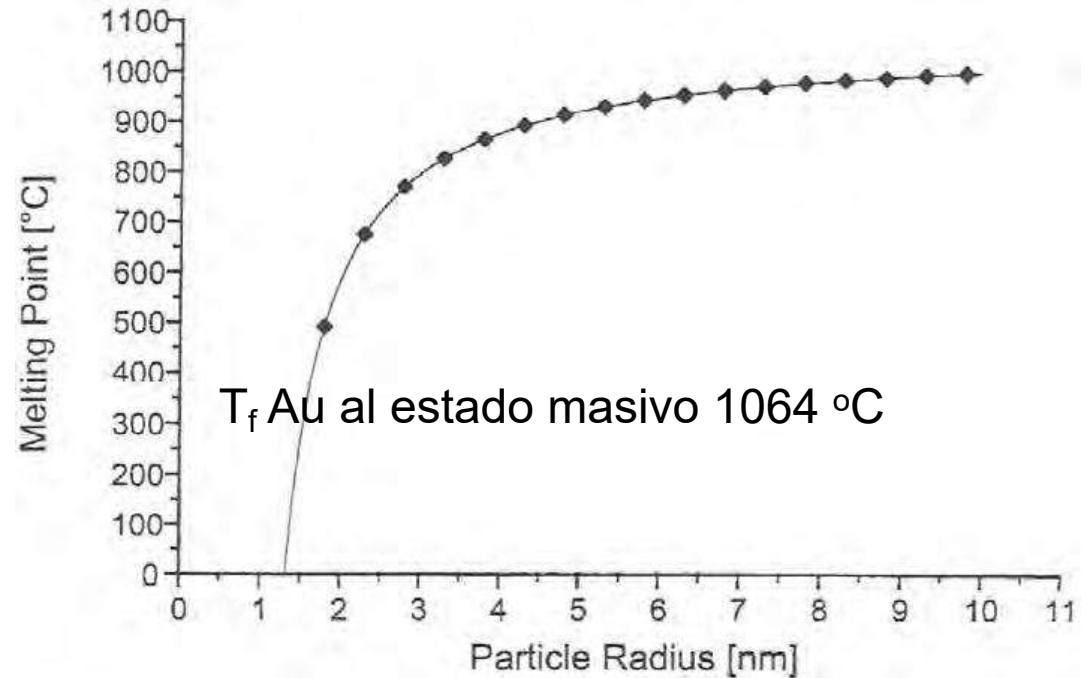
Punto de fusión, color, propiedades magnéticas

☐ Espectroscópicas

Nuevas técnicas, efecto cuadrupolar en NP de Au

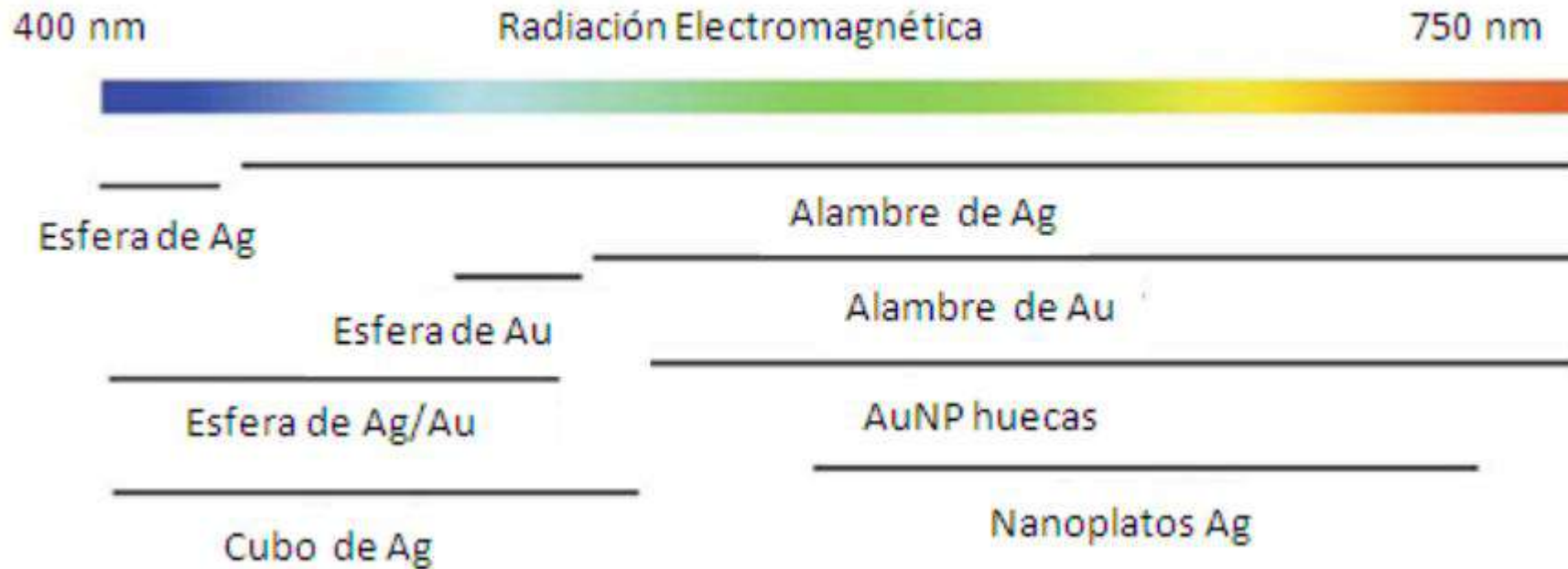
☐ Químicas

reactividad (catálisis)



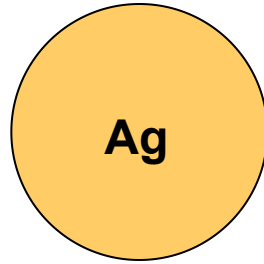
Temperatura de fusión de AuNPs en función del diámetro de la partícula

AgNP y AuNP

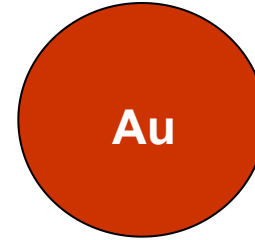


Serie de AgNP y AuNP con diversas morfologías, composición y estructuras en relación con la posición de la Banda de Resonancia Plasmónica e la región del visible

Nanopartículas de oro y plata, conocidas desde la antigüedad

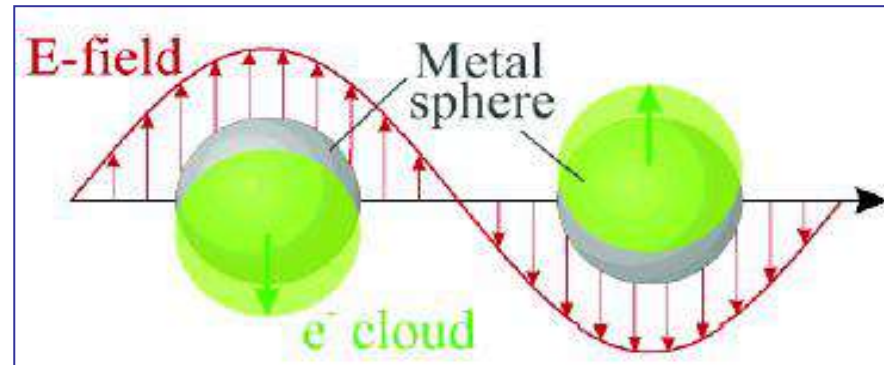


$\lambda_{\text{max}} \sim 410 - 435 \text{ nm}$



$\lambda_{\text{max}} \sim 508 - 560 \text{ nm}$

Resonancia plasmónica de superficie



AuNPs. Aplicaciones

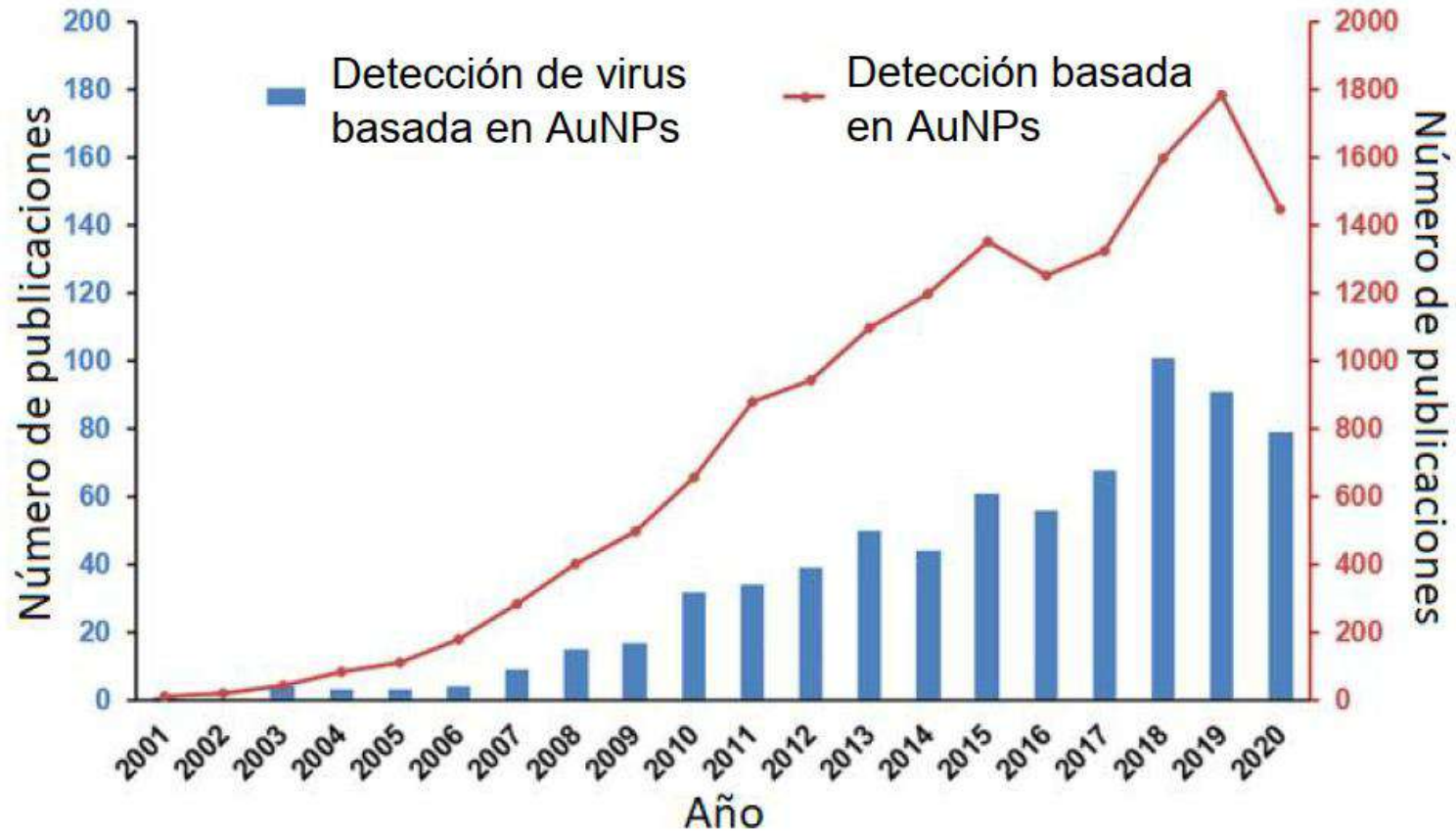
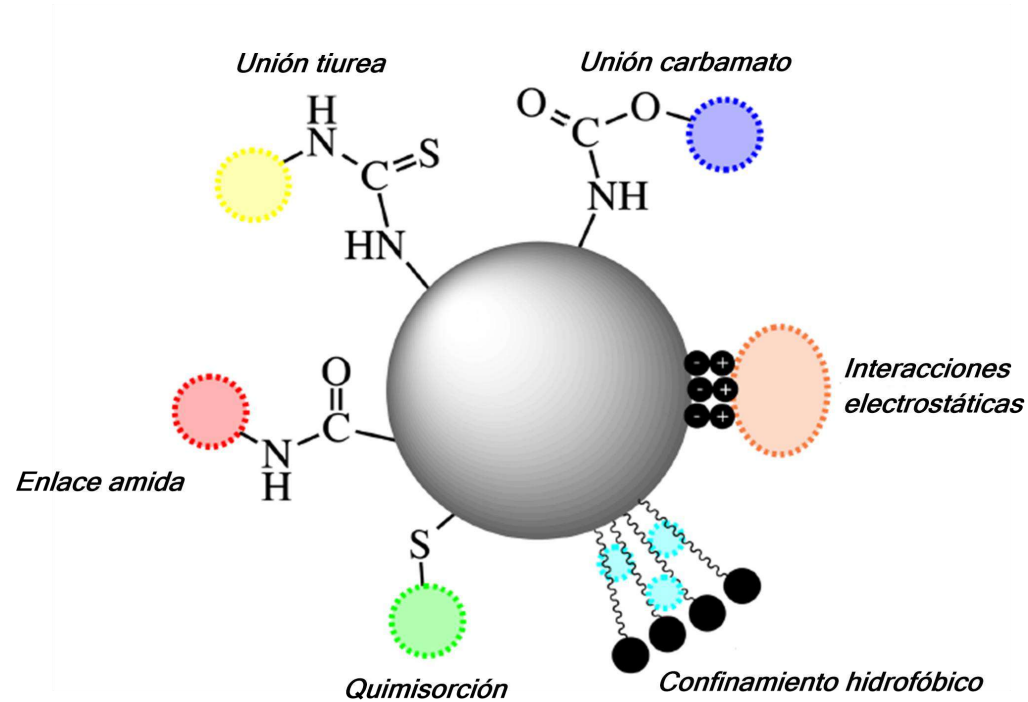


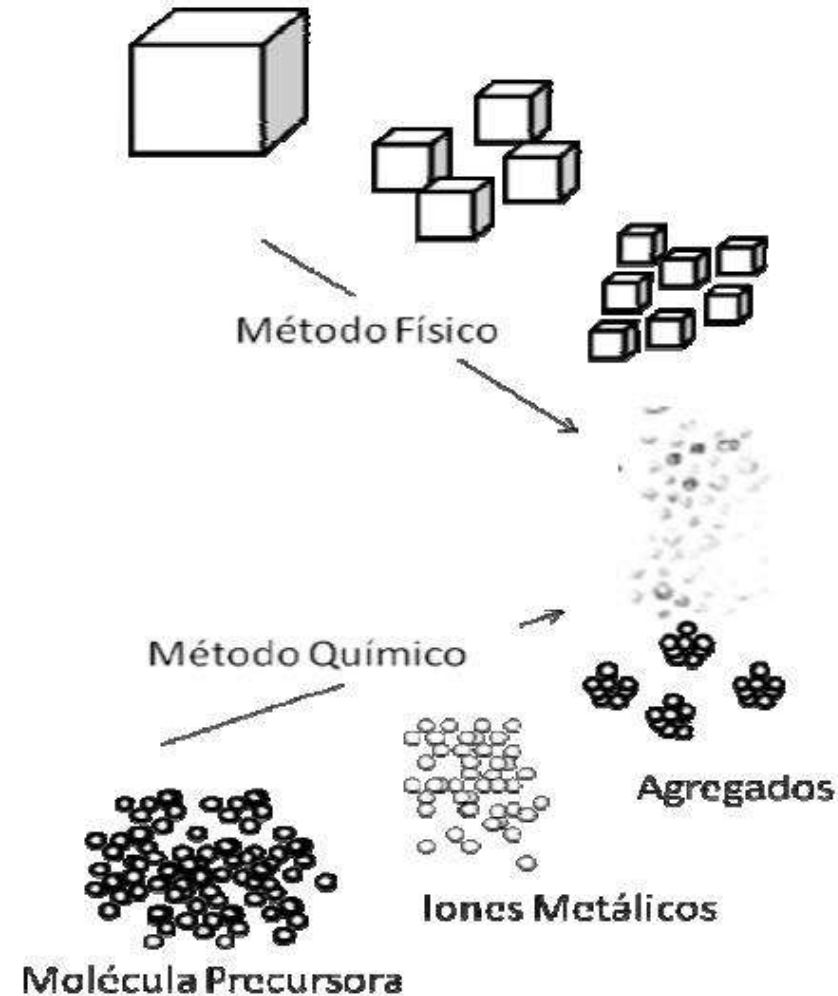
Gráfico que muestra el número de publicaciones en el sitio PubMed sobre la detección de virus y otras enfermedades mediante el uso de AuNPs.
Adaptado de Wang y col (Nanomedicine and nanobiotechnology 2022, 14 (1), e1754)

Estrategias para la conjugación de biomoléculas

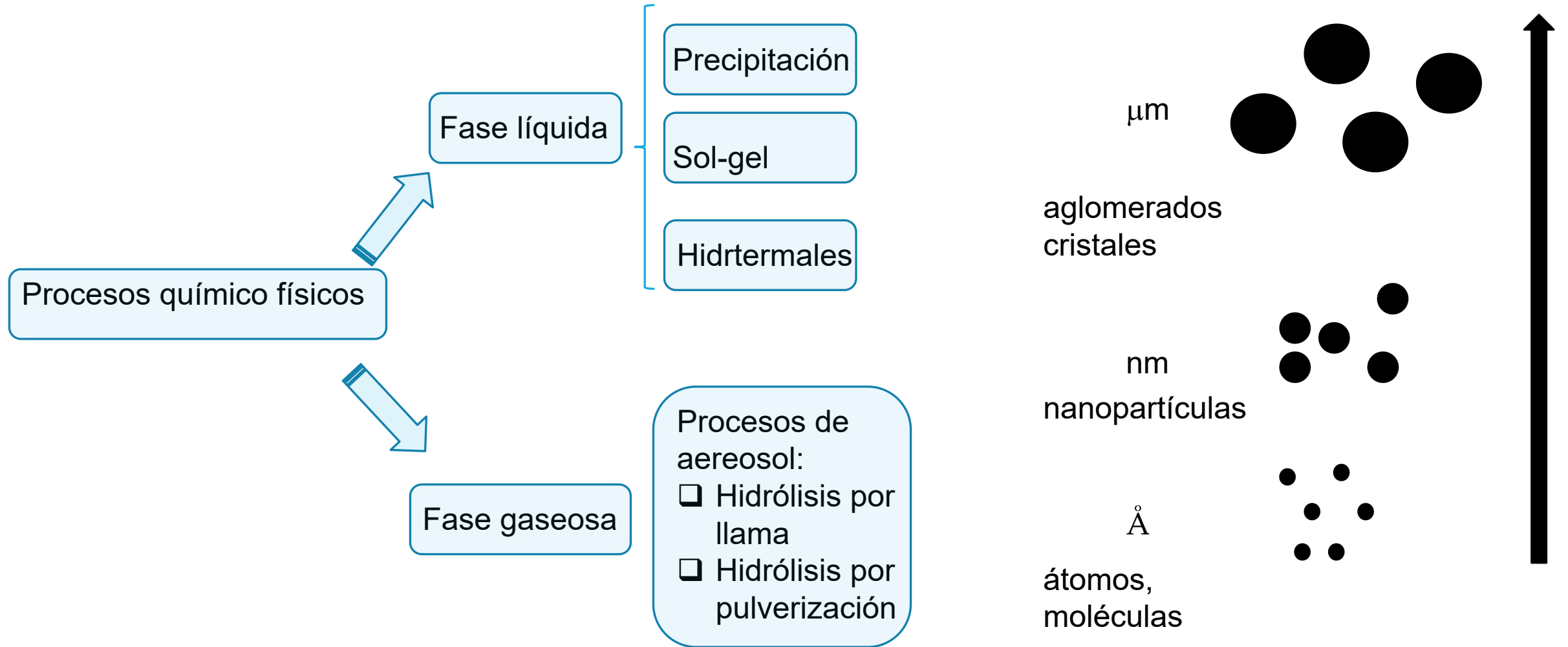


Métodos de síntesis de nanopartículas

Representación esquemática de los métodos de síntesis químico (método bottom - up) y físico (método top - down) de NPs.



Formación de nanopartículas



❑ Método de Reducción química

- Faraday (1857) $[\text{AuCl}_4]^-$ reducción con P/CS₂¹
- Turkevich (1951) $[\text{AuCl}_4]^-$ reducción con $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ²
- Frens (1973) $[\text{AuCl}_4]^-$ reducción con $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (diferentes $c(\text{Au})$ y $c(\text{citrato}) \rightarrow$ variaba el tamaño de partícula)³
- ✓ otros agentes reductores empleados: ácido láctico, ácido ascórbico

❑ Método de crecimiento de semillas⁴

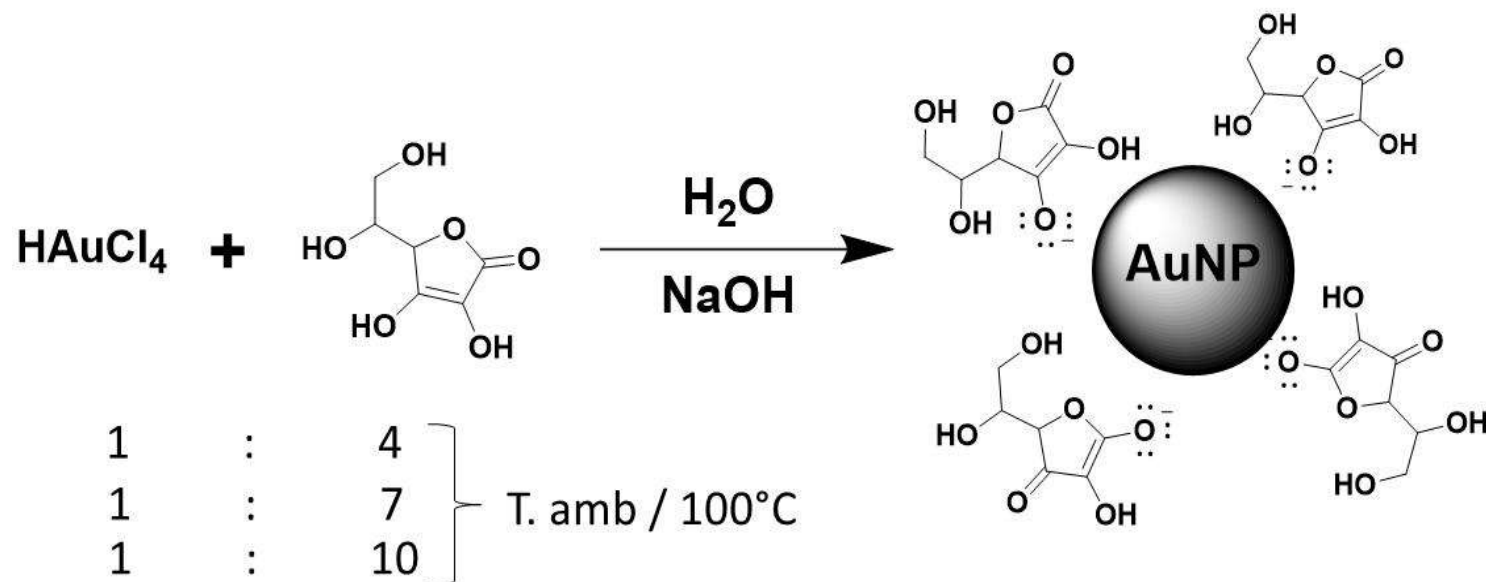
1. Faraday, M., X. The Bakerian Lecture; Experimental relations of gold (and other metals) to light. **1857**, 147, 145-181.

2. Turkevich, J.; Stevenson, P. C.; Hillier, J., A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold. Discussions of the Faraday Society 1951, 11 (0), 55-75.

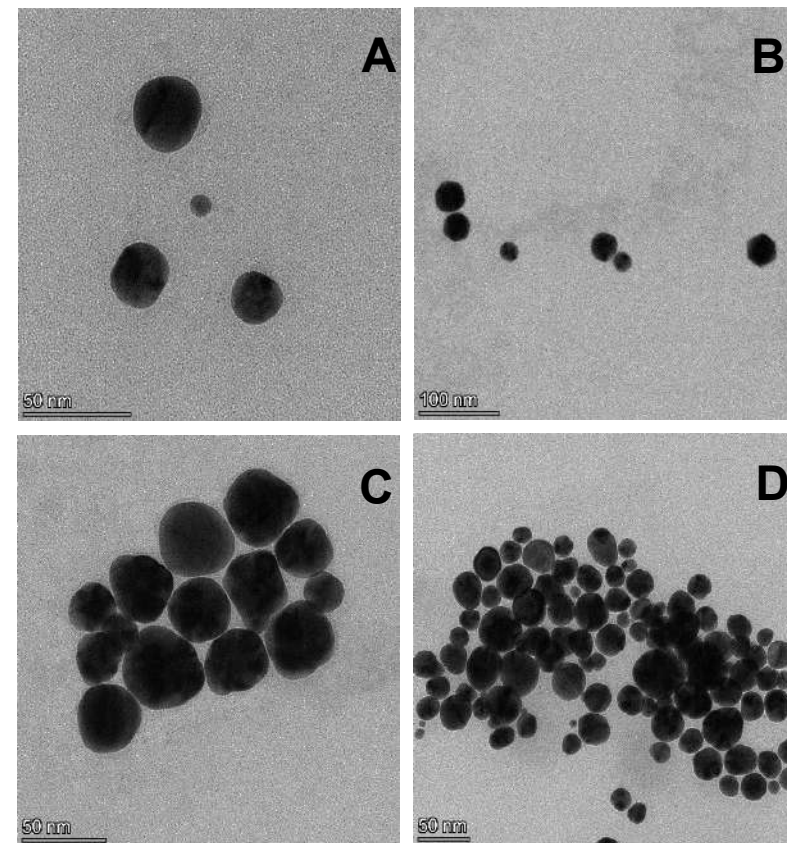
3. Frens, G., Controlled Nucleation for the Regulation of the Particle Size in Monodisperse Gold Suspensions. Nature Physical Science 1973, 241 (105), 20-22.

4. ana, N. R.; Gearheart, L.; Murphy, C. J., Seeding Growth for Size Control of 5–40 nm Diameter Gold Nanoparticles. Langmuir 2001, 17 (22), 6782-6786.

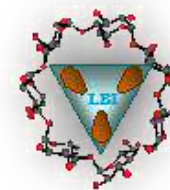
Síntesis de AuNPs



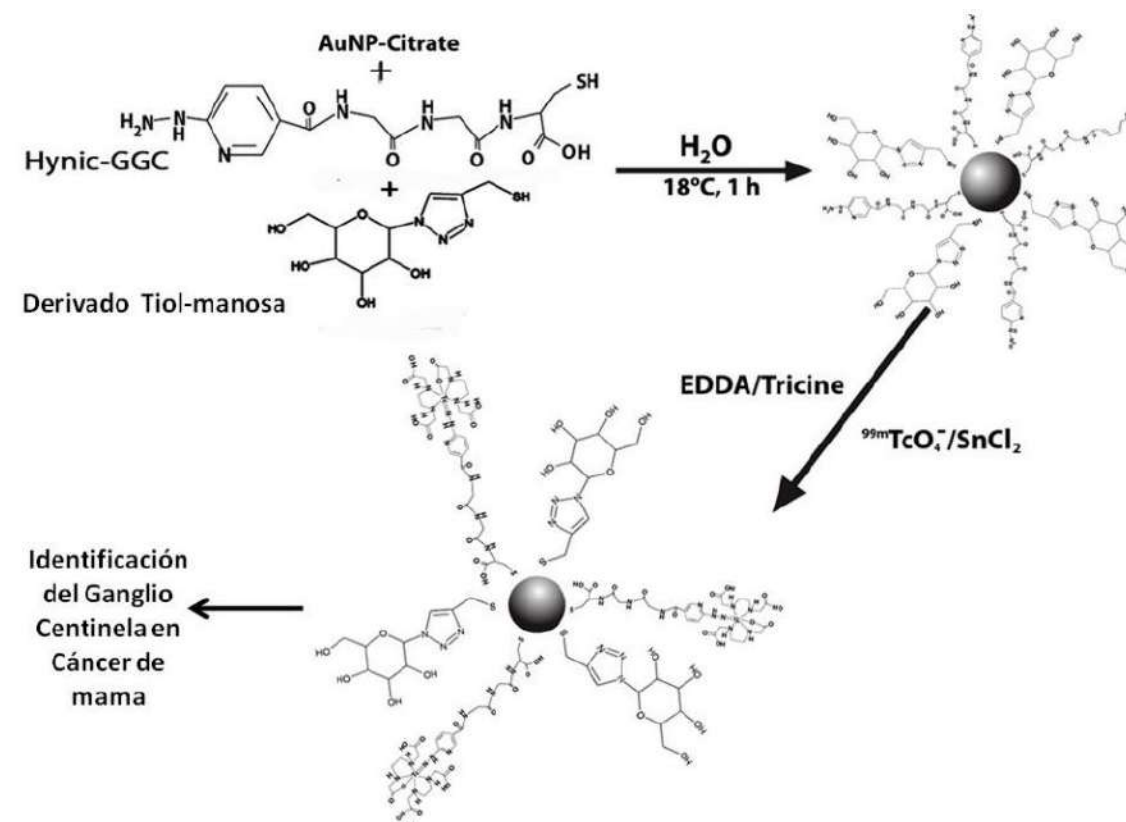
Síntesis de las AuNPs empleando ácido ascórbico como reductor



Imágenes por TEM de las AuNPs: A) relación 1:4 Tamb, B) relación 1:4 con reflujo, C) relación 1:7 Tamb, D) relación 1:10 Tamb



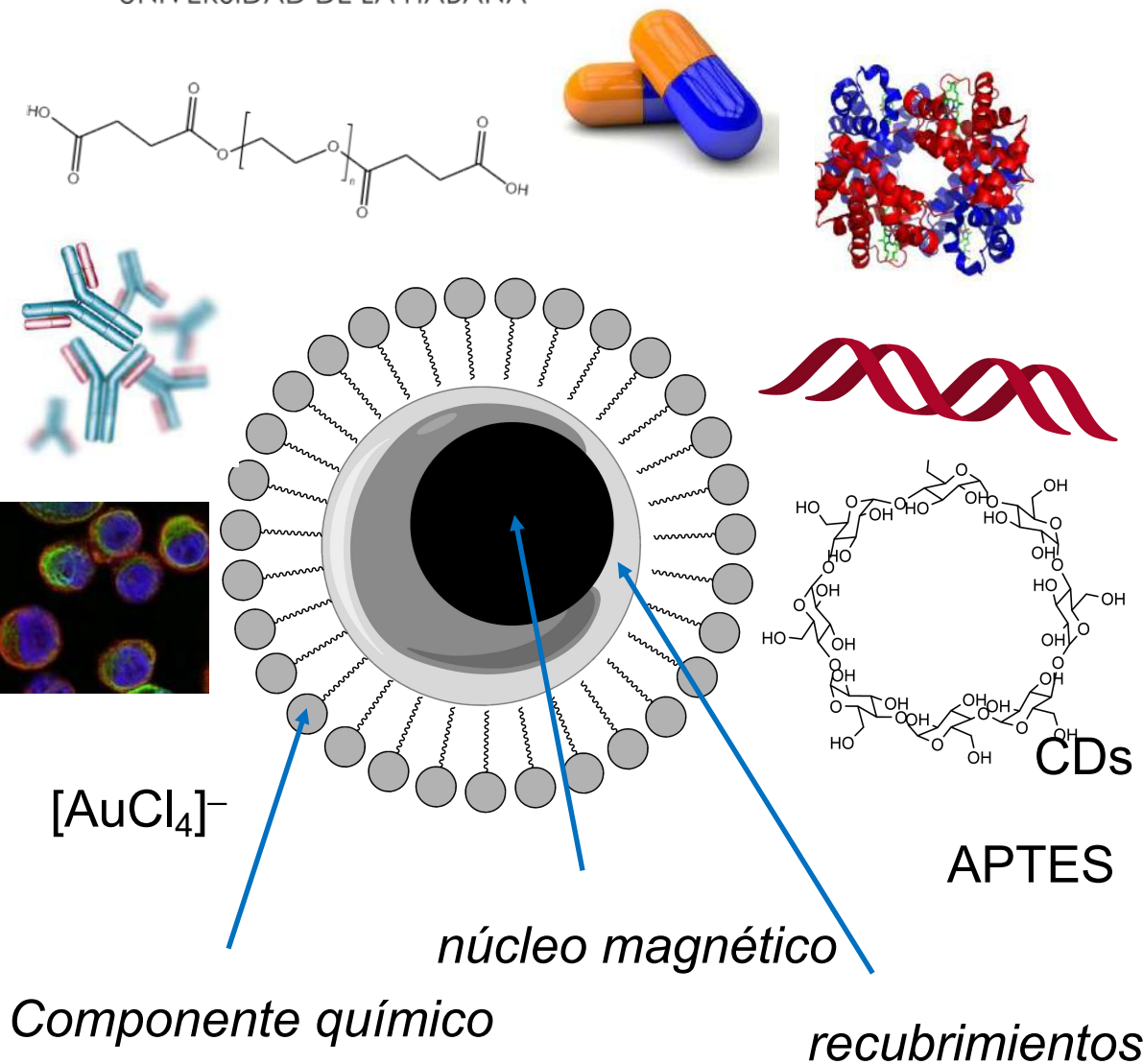
- ❑ AuNPs marcaje directo con ^{99m}Tc mediante reducción de $[\text{}^{99m}\text{Tc}]\text{NaTcO}_4$ reducción con SnCl_2
- ❑ Emplear agentes acomplejantes que formen complejos muy estables con ^{99m}Tc con un elevado rendimiento y baja concentración del mismo



Representación esquemática de la preparación del sistema multifuncional ^{99m}Tc -EDDA/HYNIC-GGC-AuNP-manosa

G. Ferro Flores *et al.* Cap 2. Radiofármacos: nanopartículas como sistemas multifuncionales para la obtención in vivo de imágenes moleculares.
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. México

Modificación de la superficie de las IONPs



Núcleo magnético

- ☐ Propiedades magnéticas
- ☐ tamaño, forma
- ☐ toxicidad
- ☐ Estabilidad

Recubrimientos y componente químico

- ☐ Biocompatibilidad
- ☐ Unión de biomoléculas

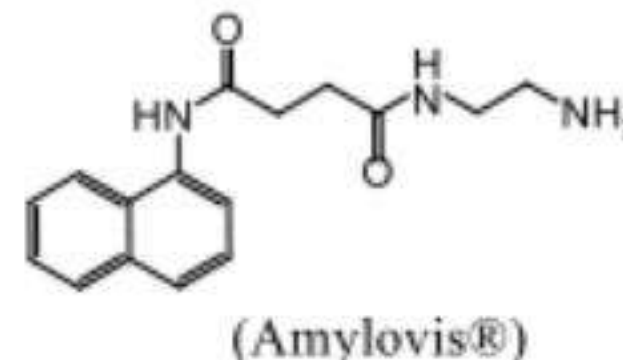
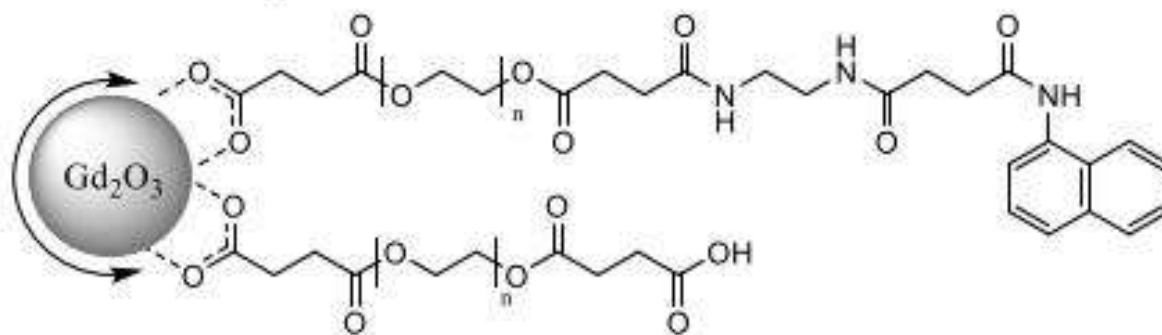
Aplicaciones

- ☐ Biomedicina
- ☐ Biotecnología

Agentes de Contraste para MRI

Nanopartículas Inorgánicas para el diagnóstico de la Enfermedad de Alzheimer

IONPs and G_2O_3 NPs





En el mundo al menos 55 millones de personas viven con Alzheimer u otras demencias

Estadísticas del año 2019

❑ Mortalidad por enfermedad de Alzheimer y otras demencias

❑ 5,097 muertes

<https://data.who.int/countries/192>

Top causes of death for females

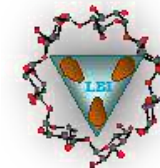
Deaths per 100 000 population. Cuba, 2019

Ischaemic heart disease	182	
Stroke	93	
Lower respiratory infections	72	
Alzheimer disease and other dementias	58	
Chronic obstructive pulmonary disease	43	
Trachea, bronchus, lung cancers	38	
Hypertensive heart disease	30	
Colon and rectum cancers	30	
Breast cancer	29	
Falls	26	

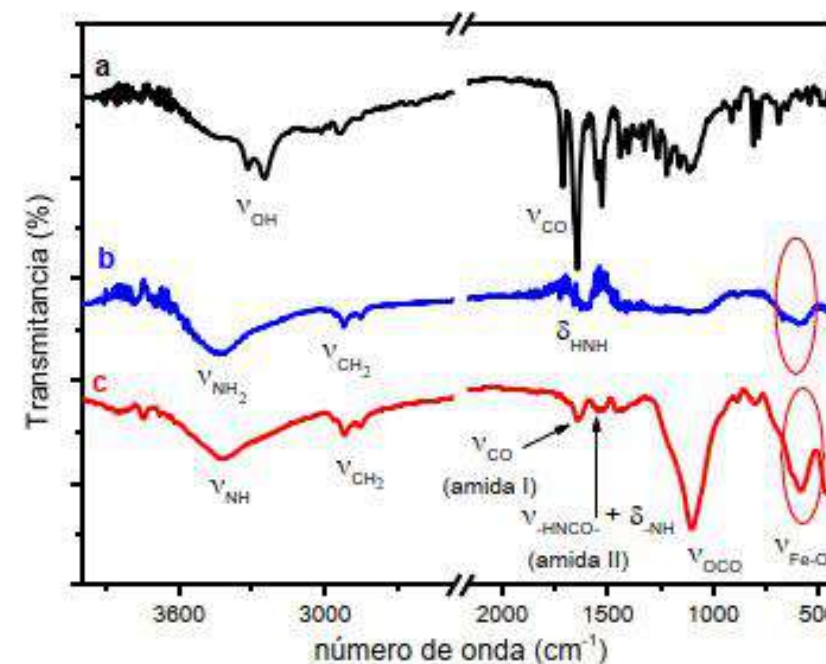
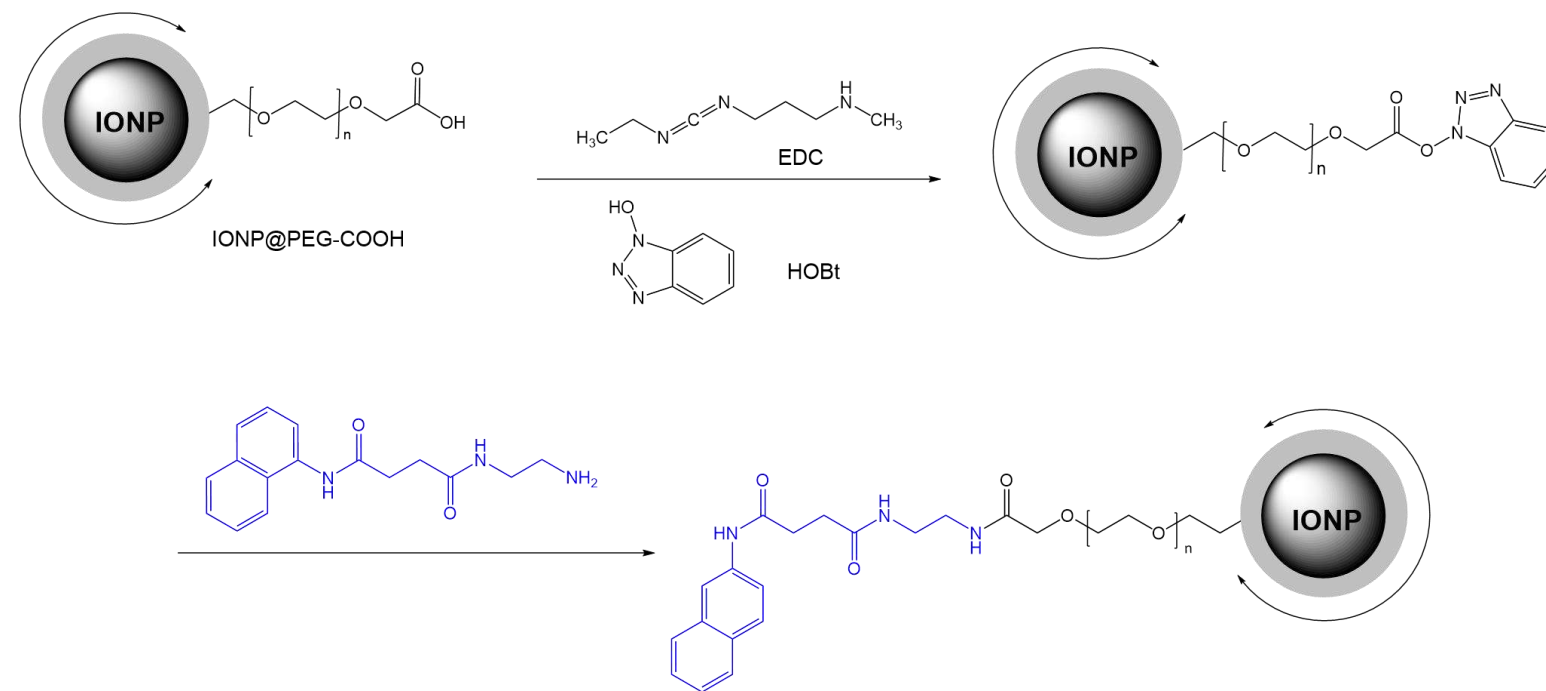
Top causes of death for males

Deaths per 100 000 population. Cuba, 2019

Ischaemic heart disease	208	
Stroke	97	
Lower respiratory infections	79	
Trachea, bronchus, lung cancers	68	
Prostate cancer	60	
Chronic obstructive pulmonary disease	54	
Alzheimer disease and other dementias	45	
Hypertensive heart disease	32	
Cirrhosis of the liver	27	
Falls	24	

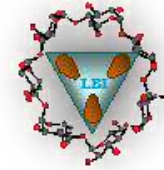
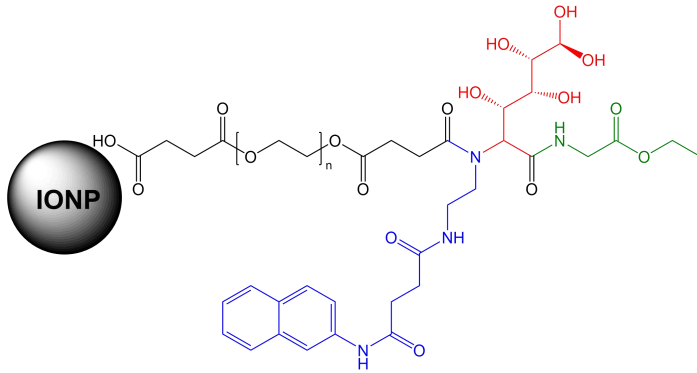


IONP@PEG_{1kDa}-COOH-Amylovis

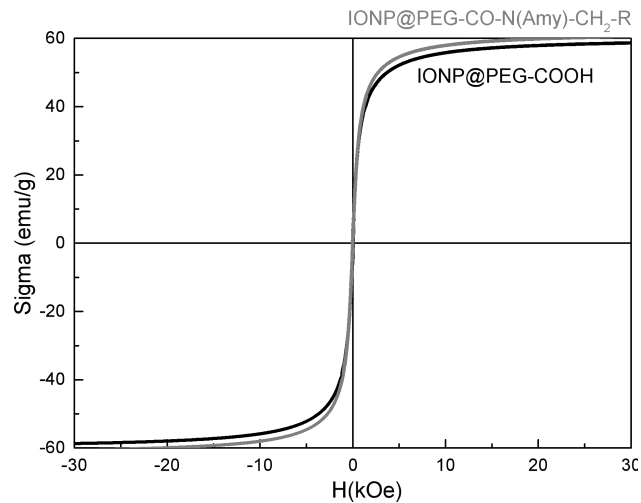
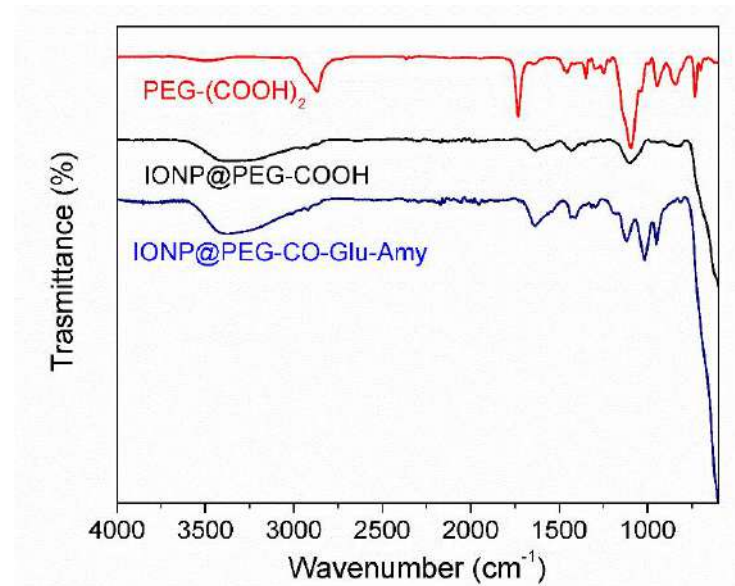


Patent (CNEURO-UH): Metal oxides nanoparticles conjugated with naphthalene derivatives as contrast agents for the detection of beta amyloid plaques by magnetic resonance image (Cuba: 4732/2021), Indo en Indonesia, South Africa, EUA

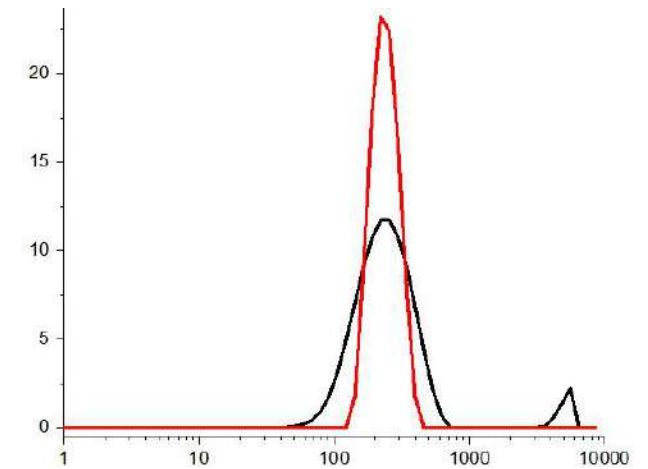
Conjugación IONP@PEG_{1kDa}-COOH - Amylovis mediante una reacción U-4C



FT-IR



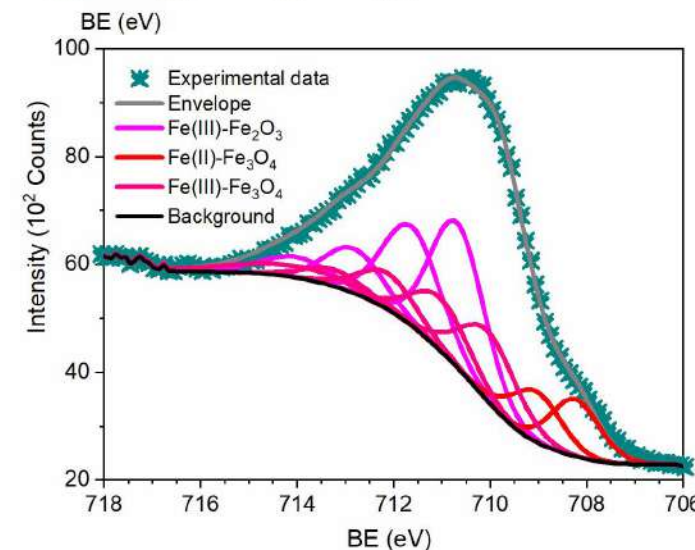
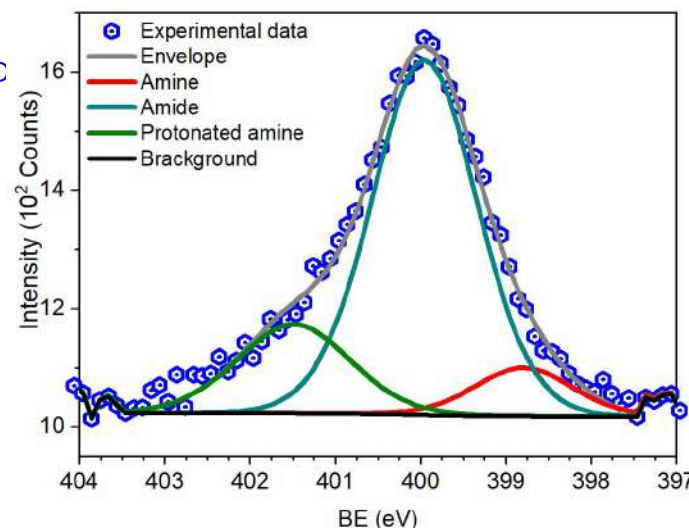
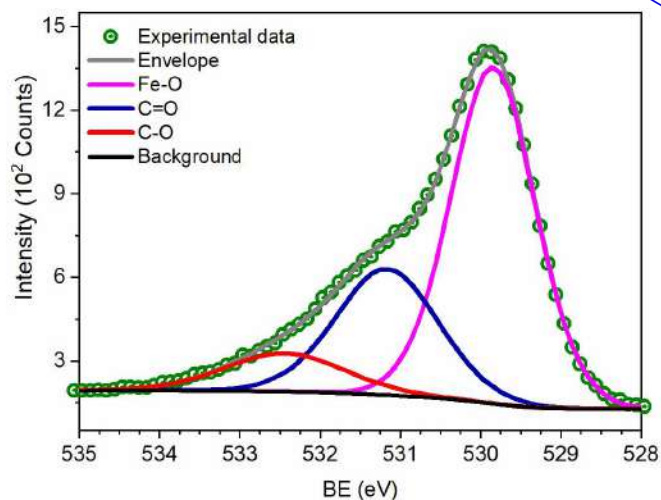
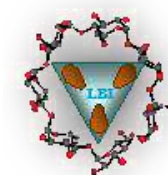
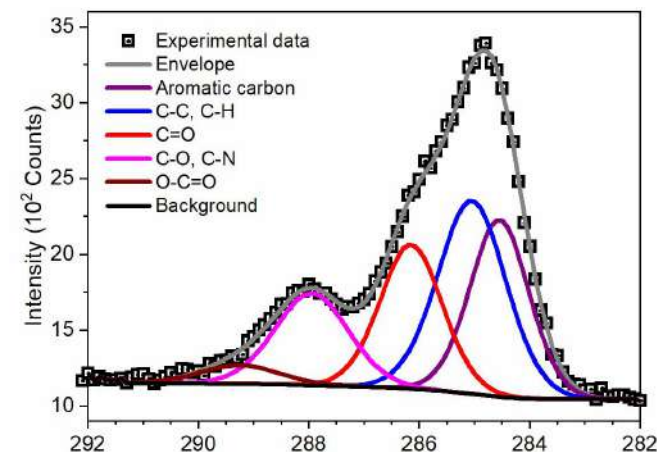
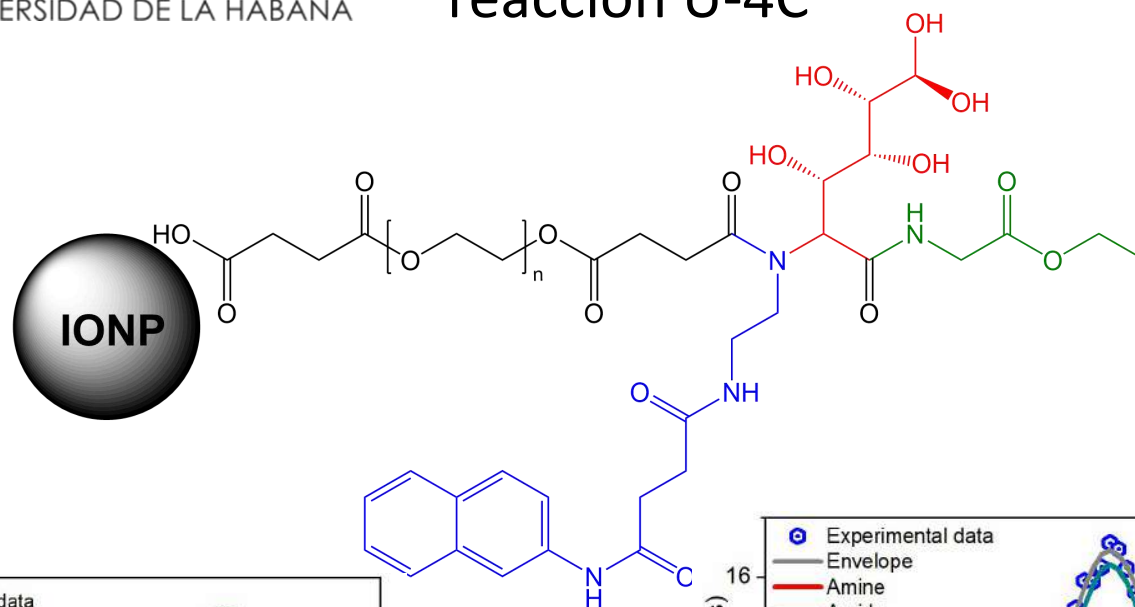
IONPs@PEG-COOH



IONPs@PEG-CO-Amy-CH₂

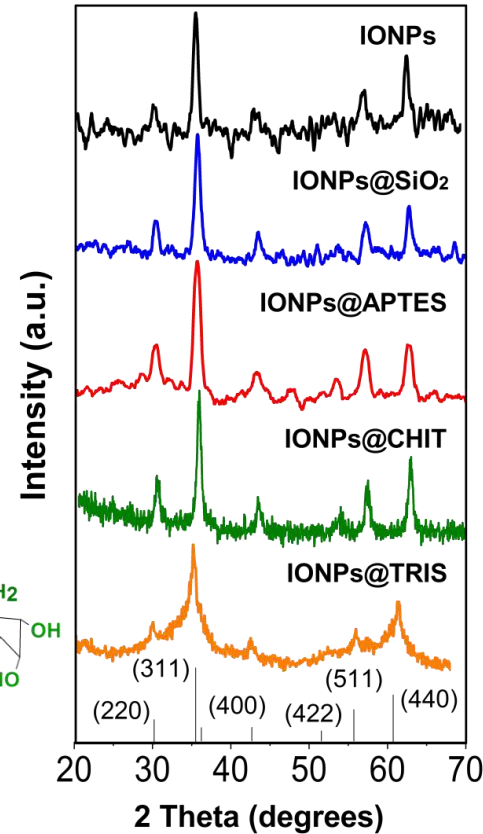
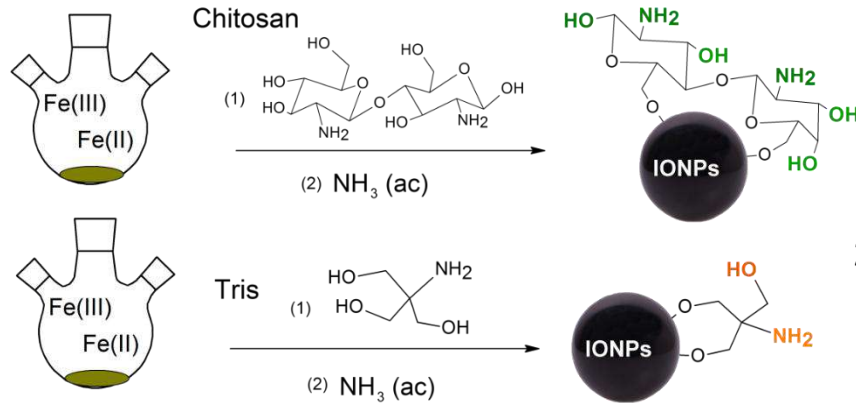
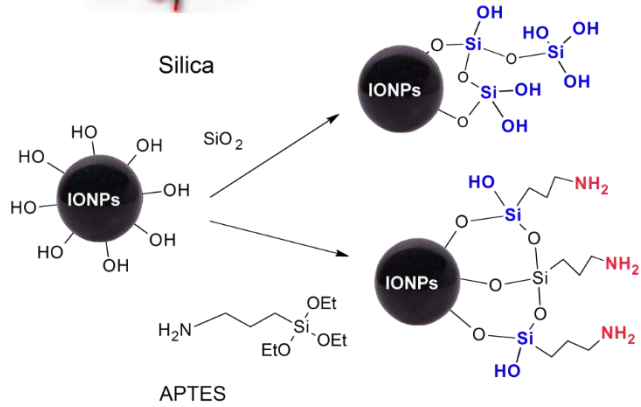
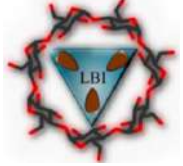
Dispersión dinámica de la luz (DLS)

Conjugación IONP@PEG_{1kDa}-COOH - Amylovis[®] mediante una reacción U-4C



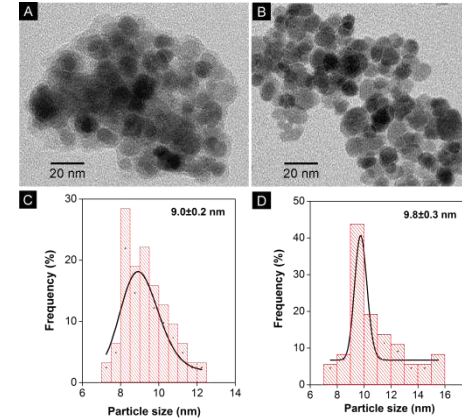
Ventanas de alta resolución **a)** C1s, **b)** O1s, **c)** N1s y **d)** Fe2p XPS de IONP@PEG_{1kDa}-CO-Gluc-Amy

Síntesis de IONPs por el método de coprecipitación

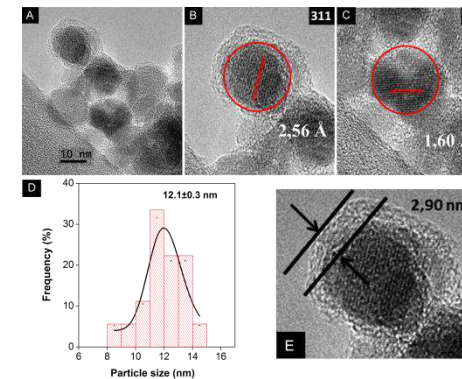


IONPs

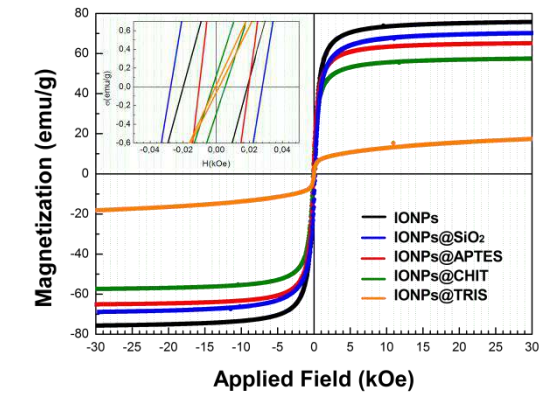
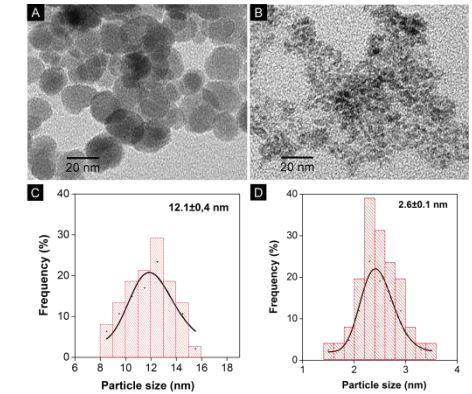
IONPs@SiO₂



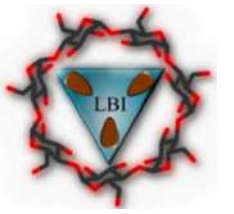
IONPs@APTES



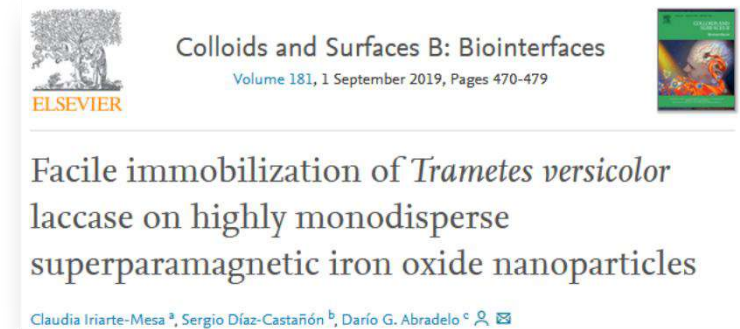
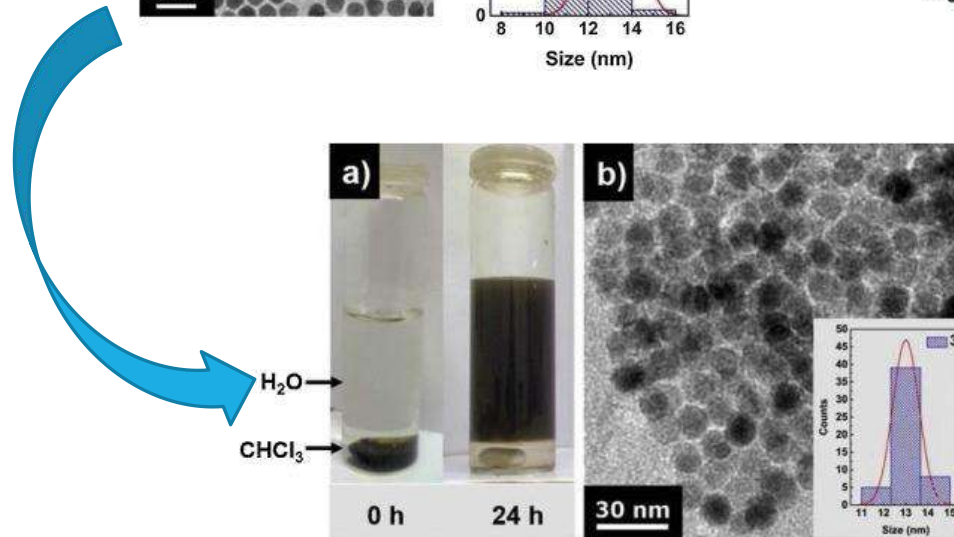
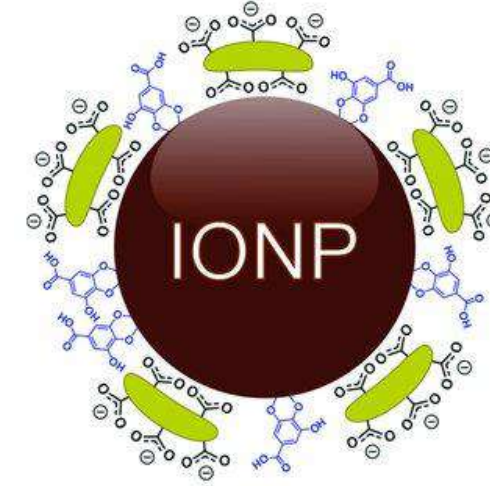
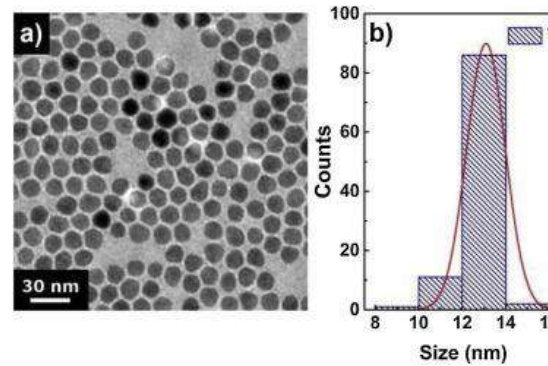
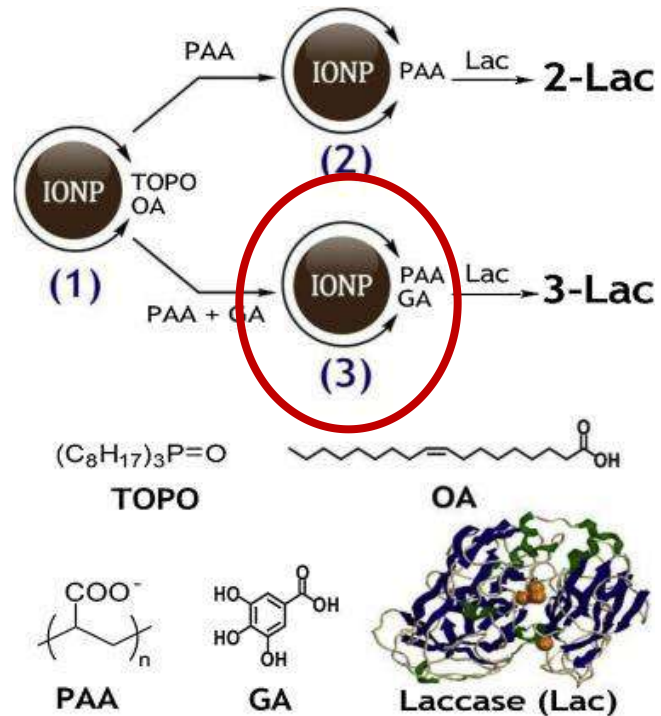
IONPs@chit IONPs@tris



Colloids and Surfaces A: 545, 167–178, 2018

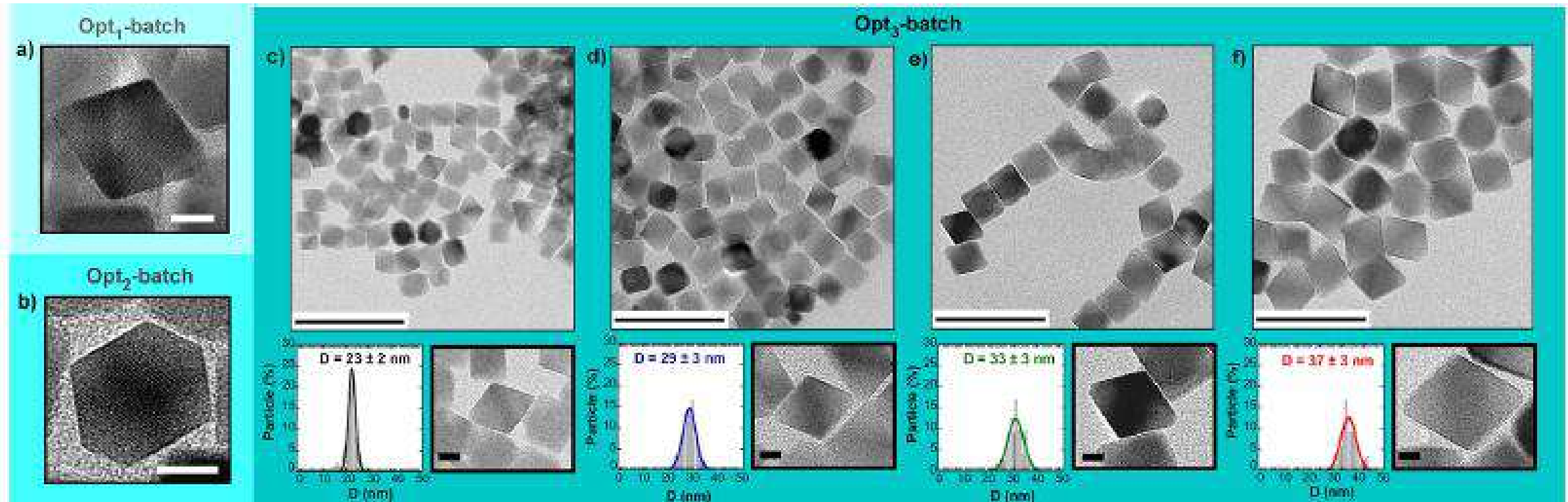


Descomposición Térmica e intercambio de ligando



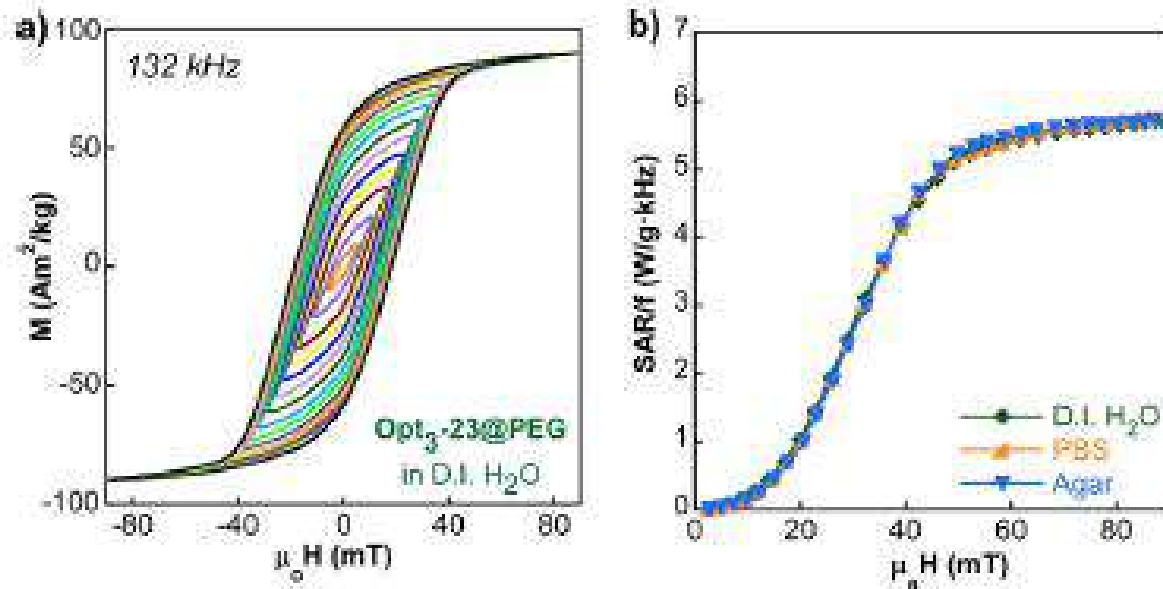
Colloids Surf. B Biointerfaces 2019. IP 3,973 2

Obtención de Fe_3O_4 NPs mediante descomposición térmica de diferentes tamaños y morfologías



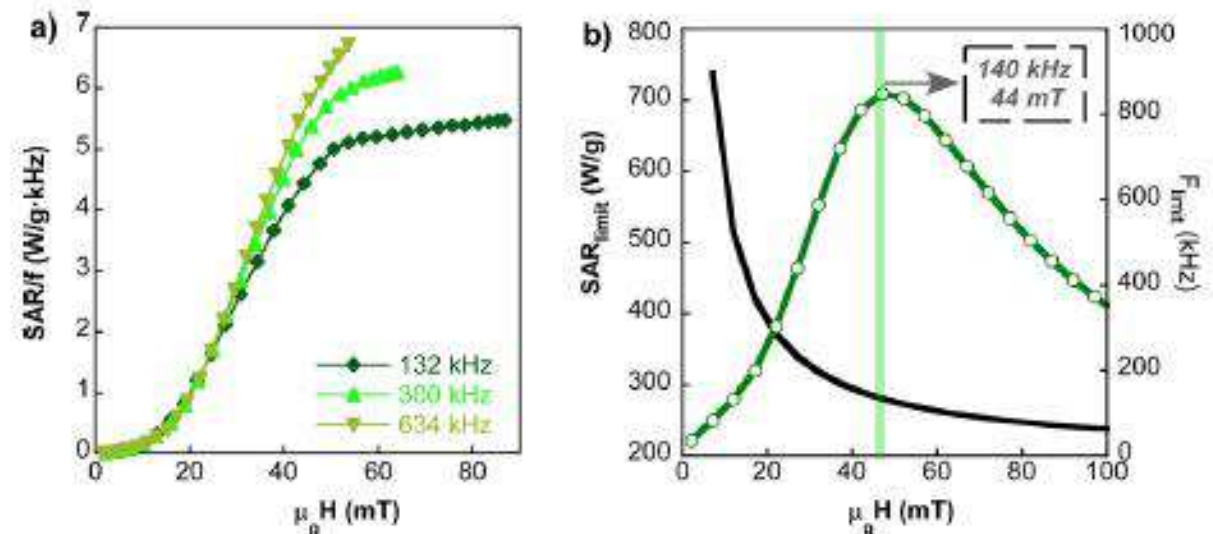
Idoia Castellanos-Rubio et al. A Milestone in the Chemical Synthesis of Fe_3O_4 Nanoparticles: Unreported Bulklike Properties Lead to a Remarkable Magnetic Hyperthermia, Chem. Mater. 2021, 33, 8693–8704. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.1c02654>

Magnetometría AC



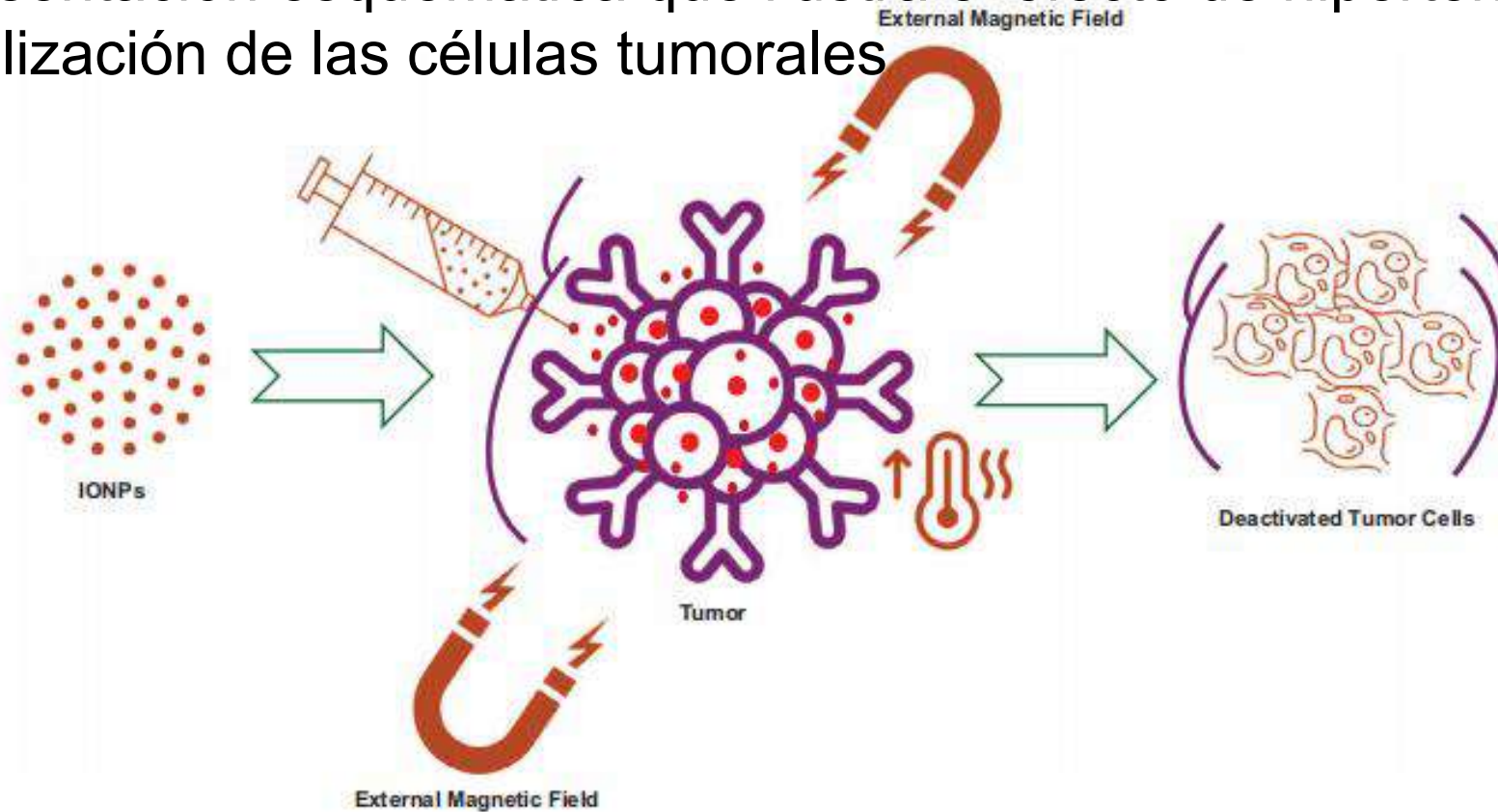
AC hysteresis loops of Opt3-23@PEG in D.I. H₂O at 132 kHz and (b) experimental SAR/f versus field curves

Experimental SAR/f versus field curves of Opt3-23@PEG at different frequencies (132, 300, and 634 kHz). (b) Maximum achievable SAR and SAR_{limit}



Idoia Castellanos-Rubio et al. A Milestone in the Chemical Synthesis of Fe₃O₄ Nanoparticles: Unreported Bulklike Properties Lead to a Remarkable Magnetic Hyperthermia, Chem. Mater. 2021, 33, 8693–8704. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.1c02654>

Representación esquemática que ilustra el efecto de hipertermia y su rol en la neutralización de las células tumorales



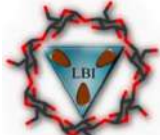
Cuando las NPs son inyectadas en el tumor y se aplica un campo magnético , la temperatura en la zona se eleva conllevando a la destrucción de la célula tumoral

Ejemplos de IONPs que han sido aprobadas o estan en pruebas clínicas por la FDA

Generic Name	Brand Name	Coating	Size	Applications
Ferumoxytol	Feraheme® (US) Rienso® (EU)	Carboxymethy-dextran	17-31 nm	Iron deficiency treatment, MRI contrast
Fermoxtran-10	Combidx® (US) Sinerem® (EU)	Dextran	15-30 nm	MRI contrast
Ferristene	Abdoscan®	Polystyrene	300 nm	MRI contrast
Ferumoxide	Feridex® (US) Endorem® (EU)	Dextran	50-100 nm	MRI contrast
N.A.	NanoTherm®	Aminosilane	12 nm	Cancer treatment
Ferucarbotran	Resovist® (US, EU) Ciavist™ (France)	Carboxydextran	80 nm	MRI contrast
Feruglose	Clariscan™	PEGylated starch	20 nm	Blood pool agent
Ferumoxsil	Lumirem® (US) GastroMARK™ (EU)	Siloxane	300 nm	Oral gastrointestinal imaging

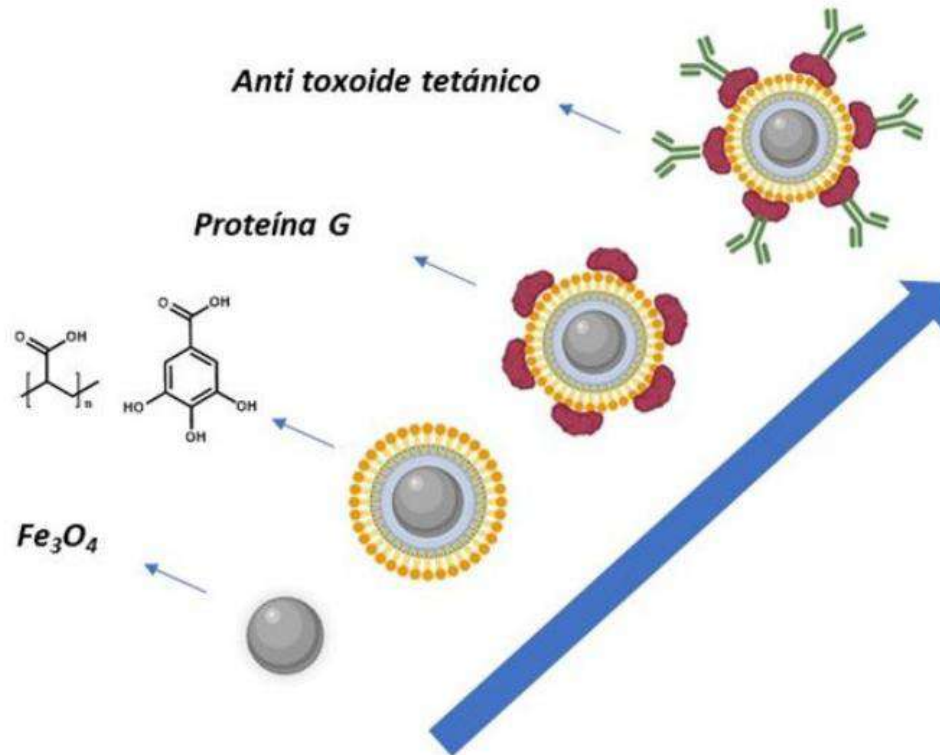
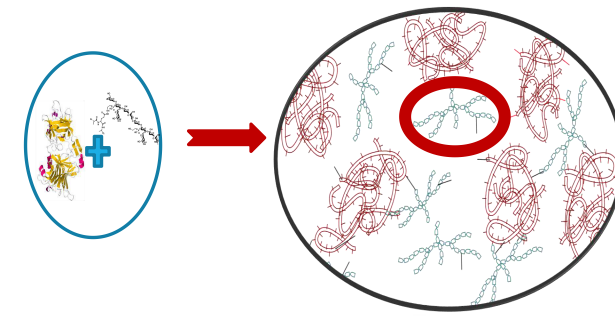
N.A.: Not Available

Theranostics 2022, 12 (2) 796–816. doi: 10.7150/thno.67375



Nanoplataforma para separación magnética

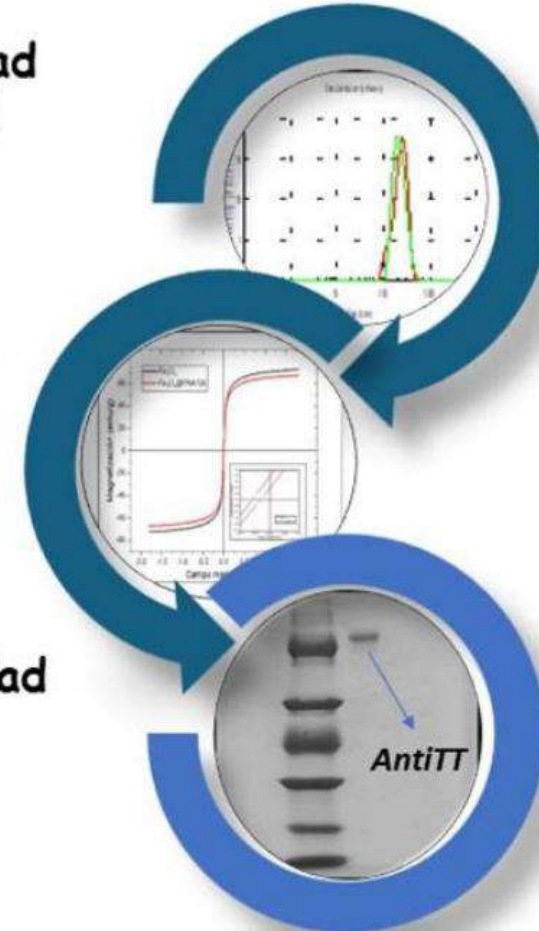
Interacciones específicas



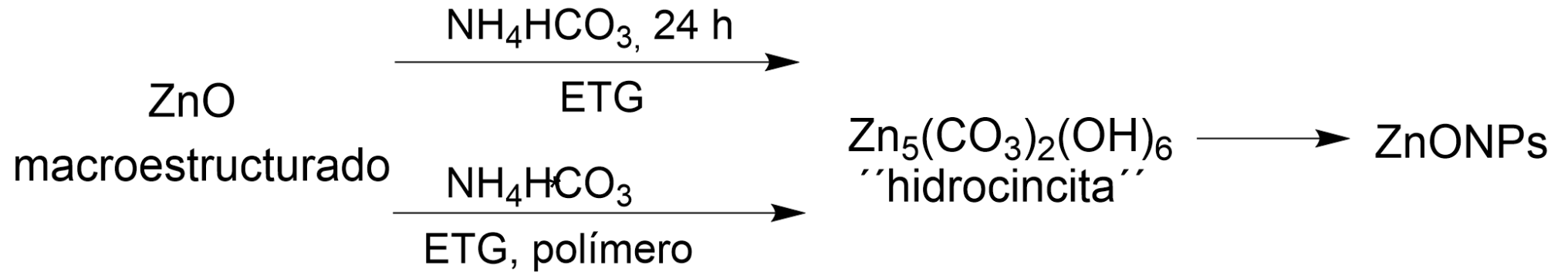
✓ **Estabilidad coloidal**

✓ **Respuesta magnética**

✓ **Funcionalidad**

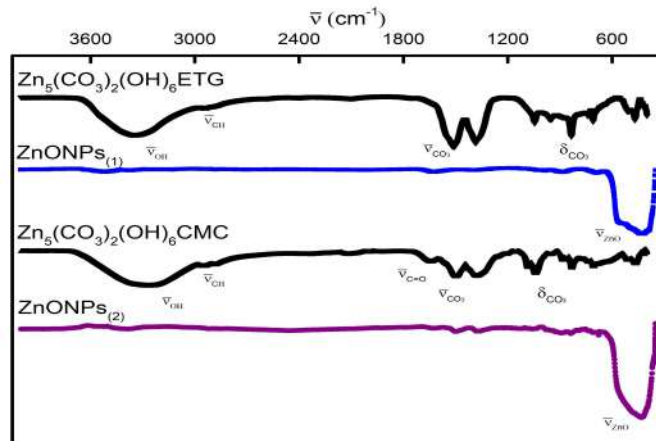


Síntesis de las ZnONPs

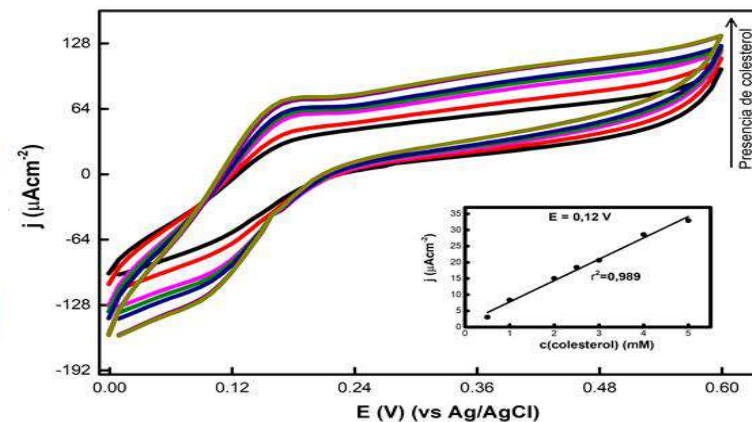


- ✓ No se necesita un proceso de purificación para eliminar posibles contraiones
- ✓ Económico

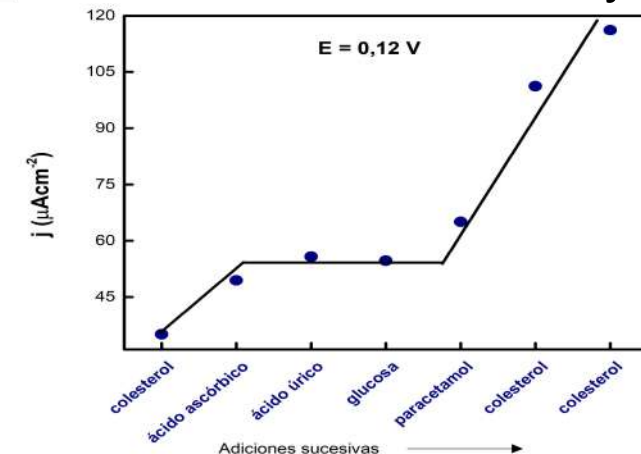
FTIR



Electrochemistry response

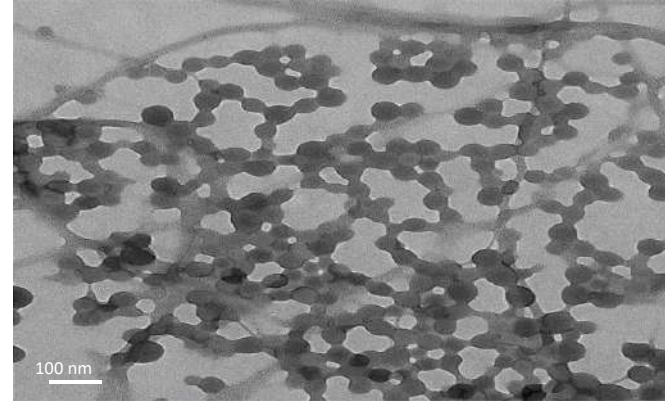
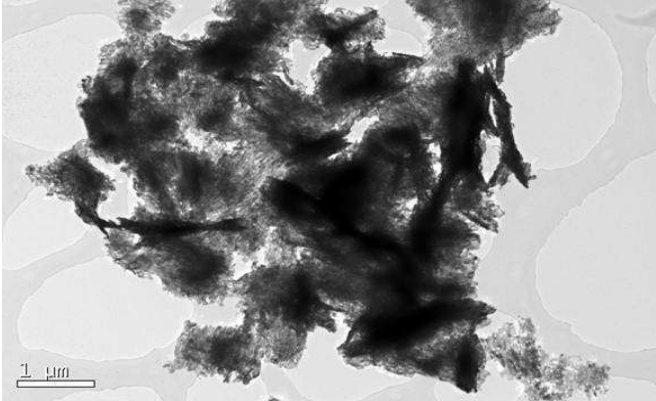


Interference study



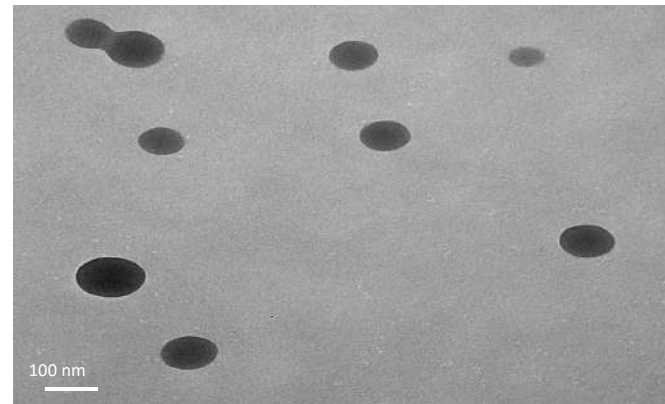
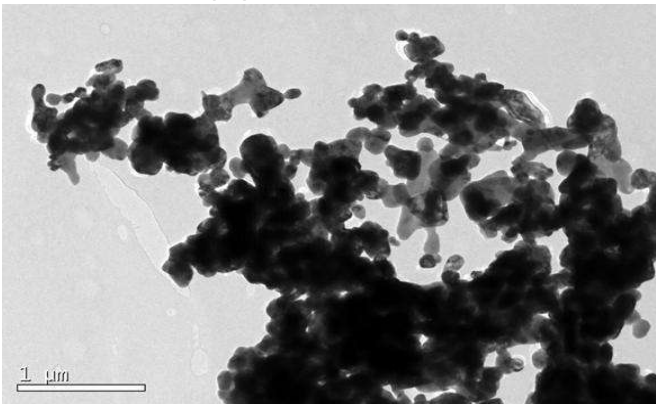
Síntesis de las ZnONPs

ZnONPs₍₁₎



ZnONPs ₍₁₎	$65 \pm 7 \text{ nm}$
ZnONPs ₍₂₎	$54 \pm 11 \text{ nm}$

ZnONPs₍₂₎



Agradecimientos

LBI

MSc. Marcos Muñoz Arias

Daniel Díaz Casas

José Wilson

MSc. Fernando Bordallo

MS. Gabriel Guerrero

Cesar Escalante

Rubén Parra

IFV

Lic. Lauren Quintero

Lic. Dayreli Santana Mederos

MSc. Aloyma Lugos

Lic Jean Pierre

CNEURO

Dra. Chryslaine Rodríguez

Dra. Marquiza Sablón

Dr. Evelio R. González

MSc. Claudia González

MSc. Suchitil Rivera

Lic. Claudia Natalie Jeréz

CIGB

MSc. J. A Silva-Guirado

Dra. Hilda Garay

CEA

MSc. Amira Paez Rodríguez

Lic. José Raúl Sosa

Acosta

MSc. Greter Ortega

Dra. Mayreli Ortiz

Dr. Julio Cesar Zuaznabar

MSc. Claudia Iriarte Mesa

MSc. Yeisy Clara López

IPICYT, México

Dr. Sergio Díaz-Castañón

Teramo University

Dr. Marcello Mascini

UPV

Dra. Maite Insausti

Dr. Luis Lezama

Dr. Teofilo Rojo

Dra. Izaskun Gil de Muro

CICATA, México

Dr. Edilso Reguera

McMaster University

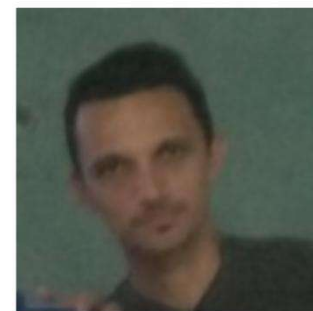
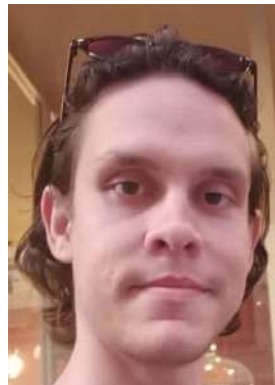
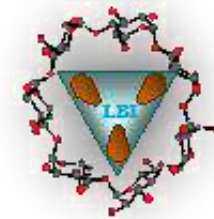
Dr. José Morán-Mirabal

Dr. Eduardo González

Martínez

A todos los estudiantes del LBI

FACULTAD DE QUÍMICA UNIVERSIDAD DE LA HABANA Acknowledgements



INMUNOENSAYO



Muchas gracias