

*Congreso Nacional de Tecnología Aplicada a Ciencias de la Salud,  
INAOE, Puebla, 5-7 Junio 2014*

# **Oportunidades de la electrónica molecular en biomedicina: el caso de nanopartículas orgánicas y su uso en obtención de bioimágenes, diagnóstico y terapia**

**Dr. Gabriel Ramos Ortiz**

**Director de Investigación**

*Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia (GPOM)*

*Centro de Investigaciones en Óptica*

*León, Gto.*



# Centro de Investigaciones en Óptica: CIO

## Centro Conacyt

### León, Guanajuato, México



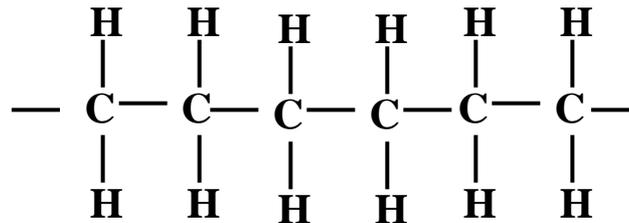
[www.cio.mx](http://www.cio.mx)

## *CONTENIDO*

- Breve introducción a la electrónica molecular
- Algunas aplicaciones de electrónica molecular
- Estrategia de Investigación sobre electrónica molecular en el CIO:  
*Investigación multidisciplinaria (física (óptica), química, biomedicina)*
- Electrónica molecular y el efecto de absorción de dos fotones
- Nanopartículas orgánicas y sus aplicaciones en biomedicina  
(bioimágenes, diagnóstico y terapia)

# Materiales orgánicos (plásticos) tradicionales

Polímero: macromolécula constituida por una cadena de moléculas idénticas que se repiten

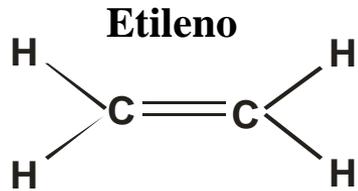


**Polietileno**

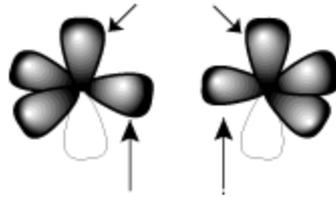
Propiedades tradicionales de polímeros:

- Moldeables, rígidos, buenos aislantes, etc

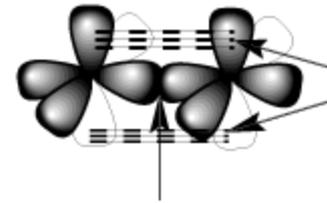
# Enlaces $\pi$



Orbitales  
no-híbridos  $p$



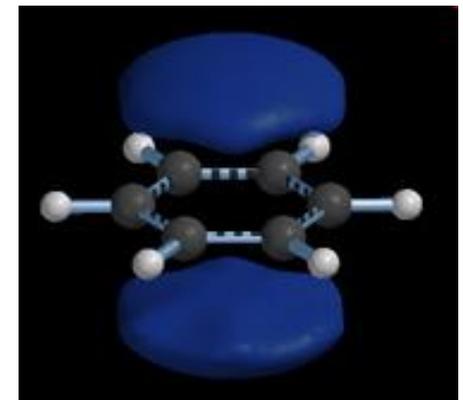
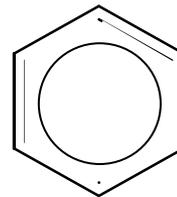
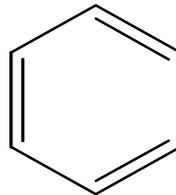
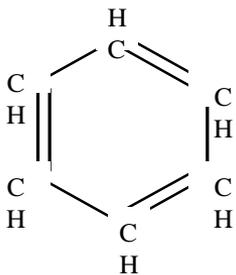
Orbitales  
híbridos  $sp^2$



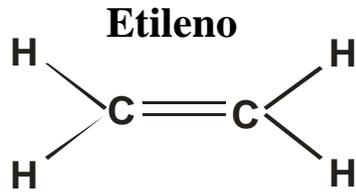
Enlaces  $\pi$

Enlaces  $\sigma$

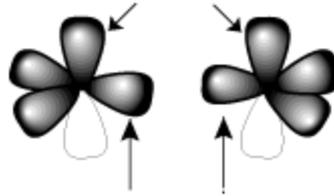
**Benceno:** Los electrones  $\pi$  pueden estar delocalizados a lo largo de toda la molécula



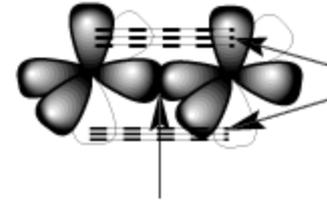
# Enlaces $\pi$ y moléculas conjugadas



Orbitales  
no-hibridos  $p$



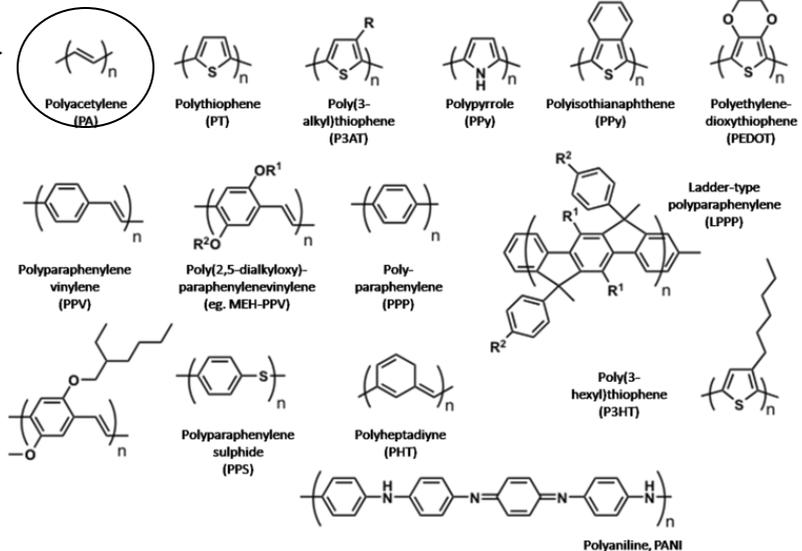
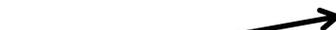
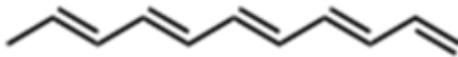
Orbitales  
hibridos  $sp^2$



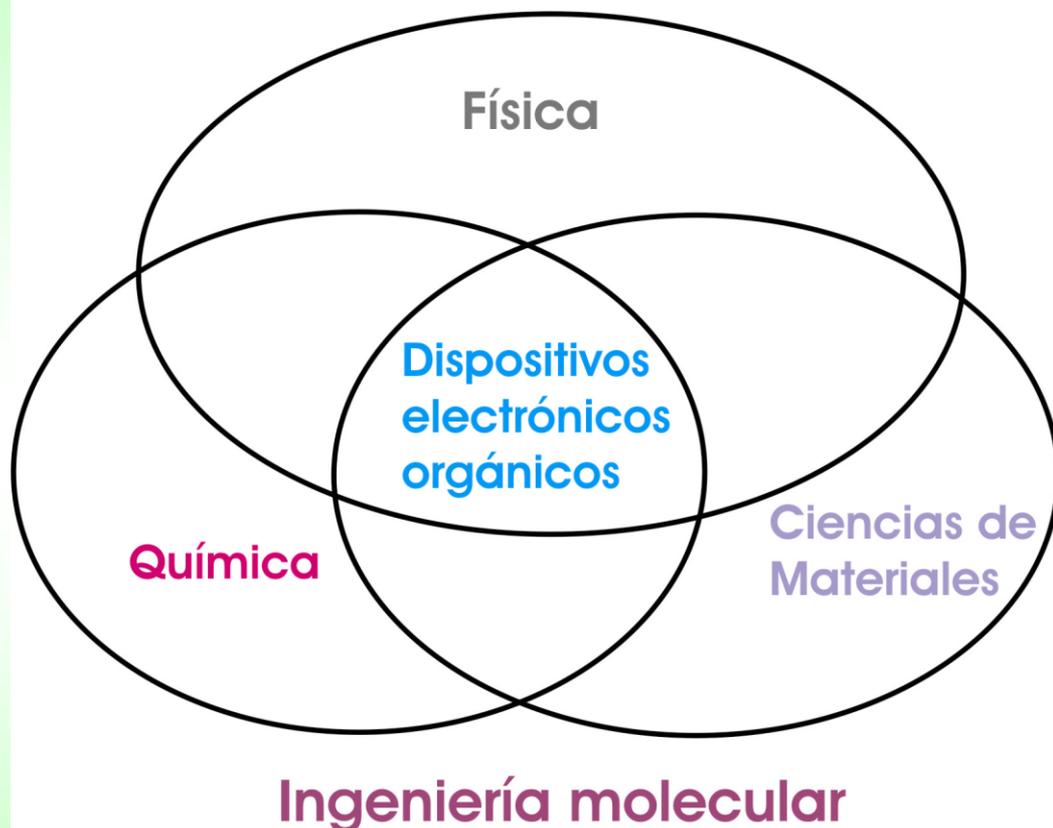
Enlaces  $\pi$

Enlaces  $\sigma$

## Ejemplos de polímeros conjugados



## Opto-electrónica plástica



## Polímeros y moléculas conjugadas $\pi$

### Nuevas propiedades:

- Conducen electricidad!
- Emiten luz!
- Propiedades ópticas no-lineales!



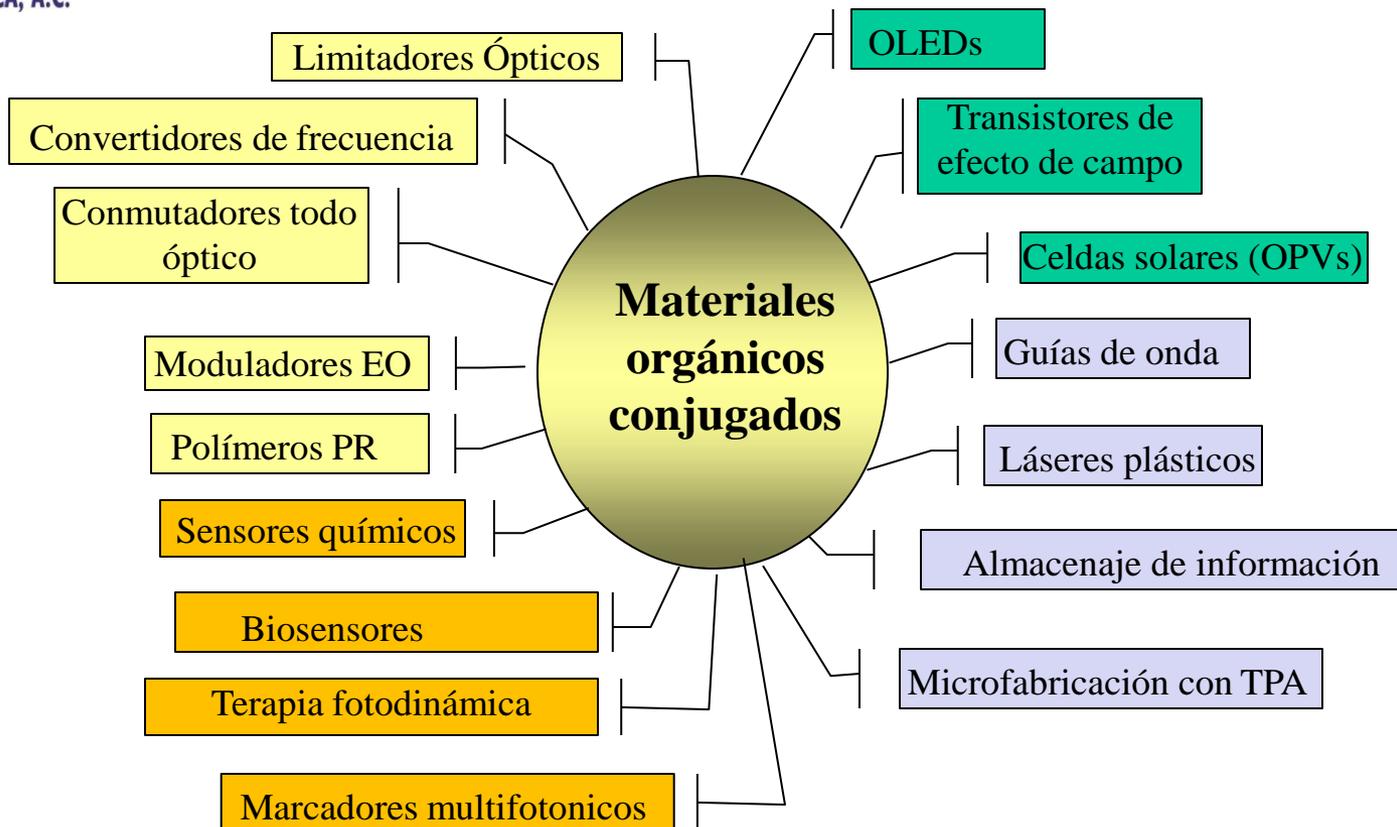
Moléculas y polímeros  $\pi$   
Conjugados  
**Polímeros semiconductores**

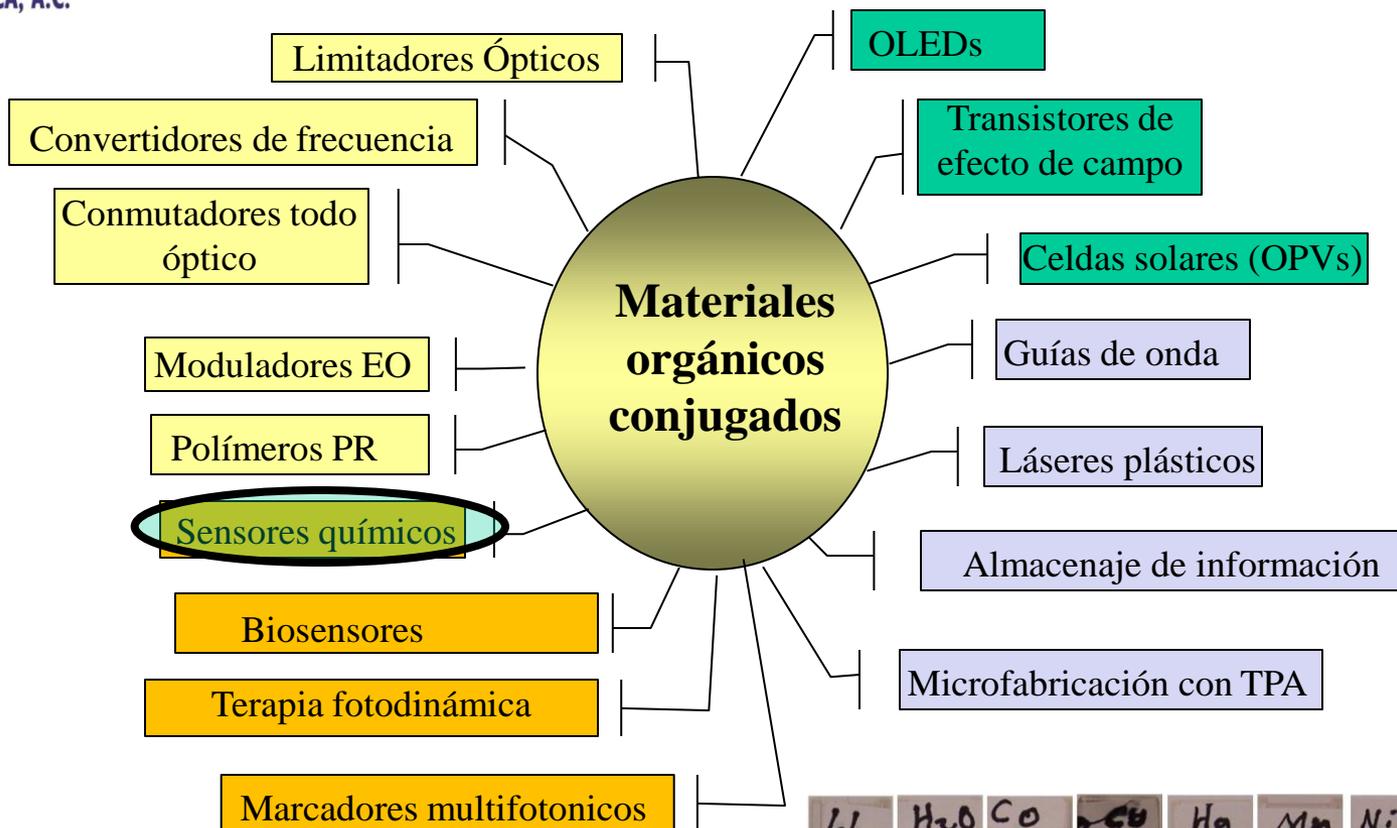


## *Premio Nobel de Química 2000*

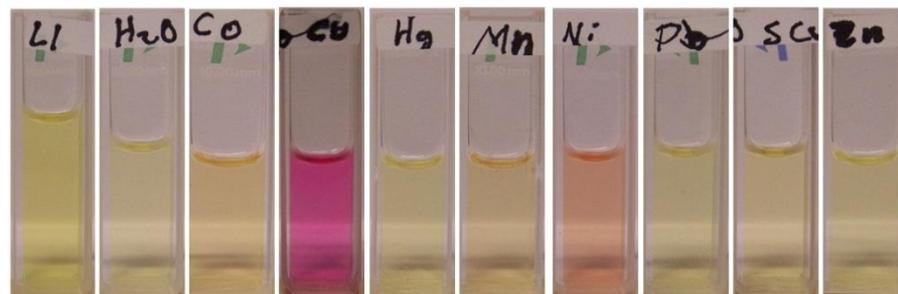
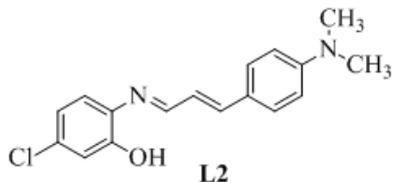
Alan Heeger, Alan MacDiarmid (†) and Hideki Shirakawa: 1974: Discovery of metallic conductivity in iodine doped *trans*-polyacetylene (CH)<sub>x</sub>

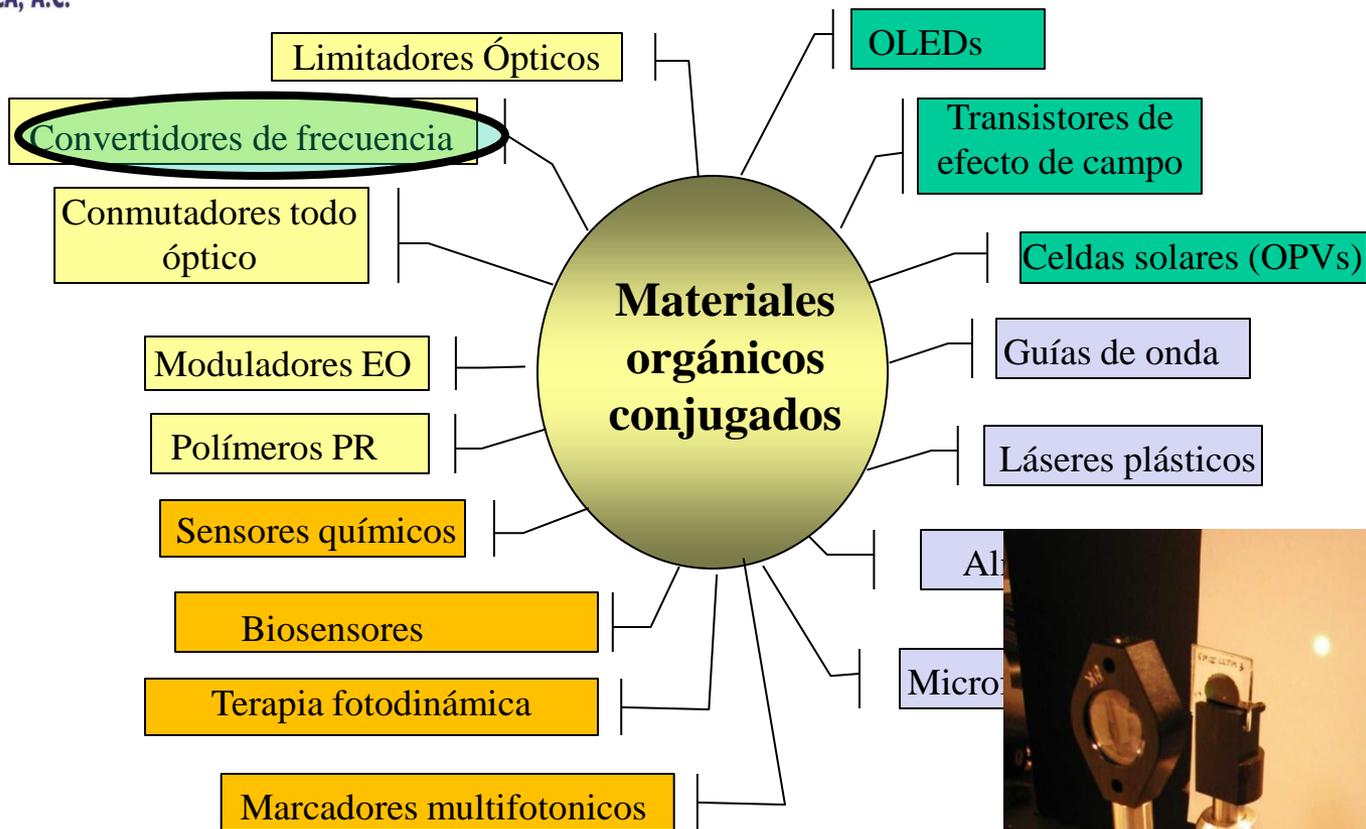
**Algunos ejemplos de  
aplicaciones de electrónica  
molecular**



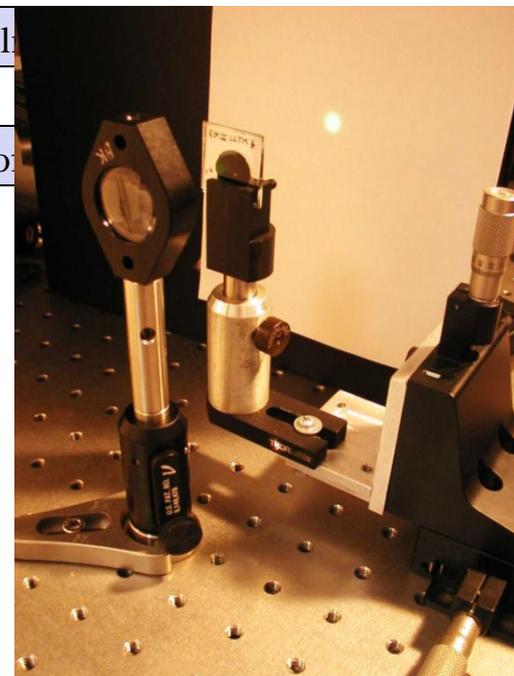
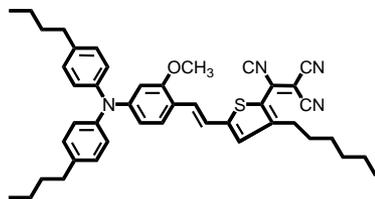


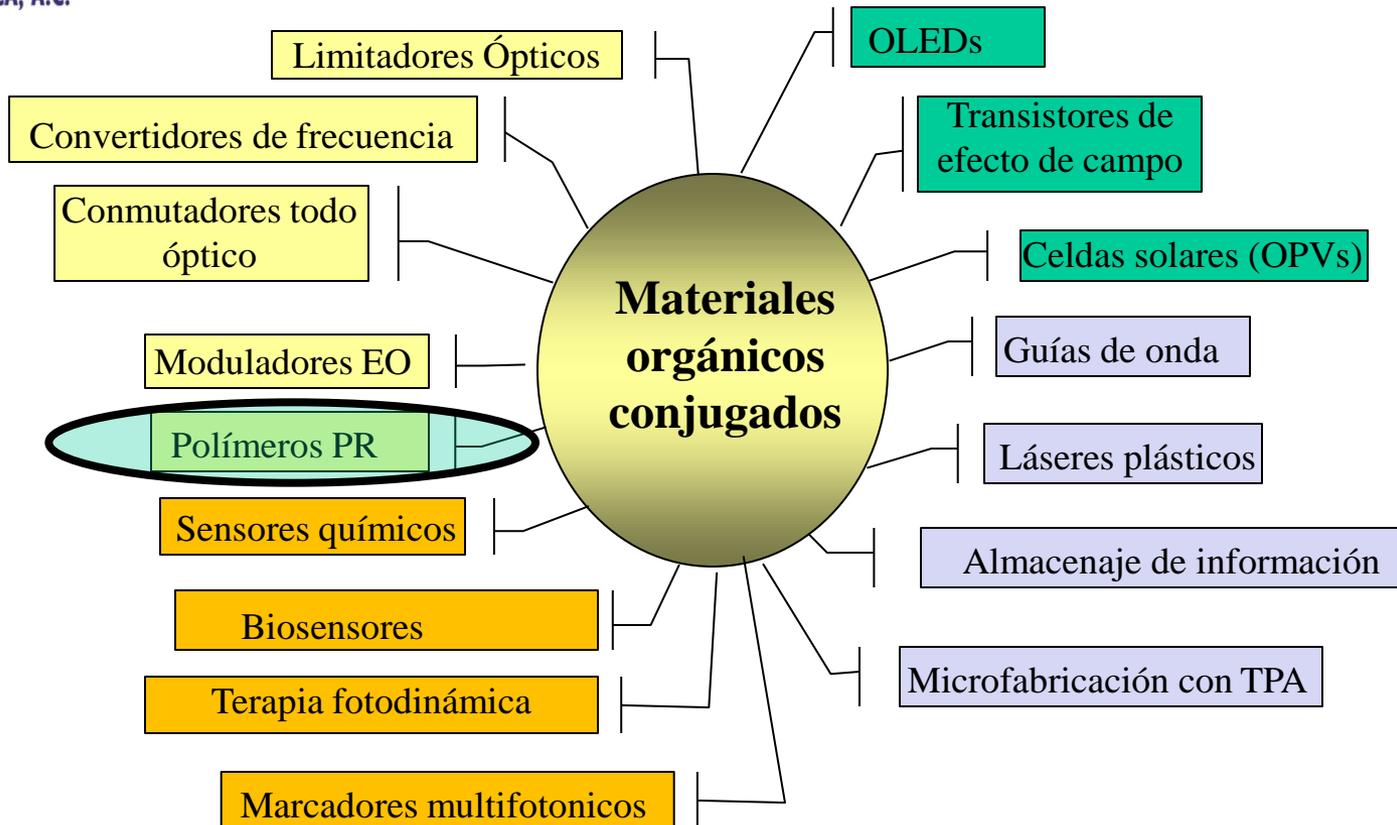
5-chloro-2-((E)-((E)-3-(4-(dimethylamino)phenyl)allylidene)amino)phenol





JM-I-120



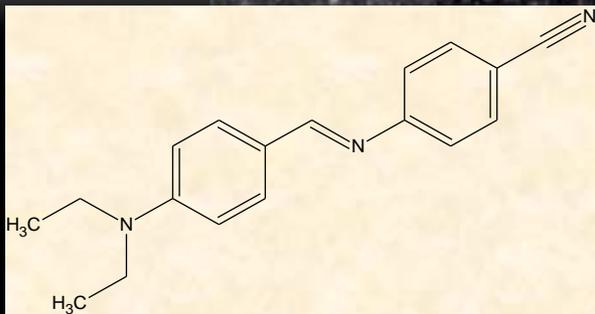




CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN ÓPTICA, A.C.

EN ÓPTICA, A.C.

## Holografía Dinámica: PR



CN-S-OH a 25 %

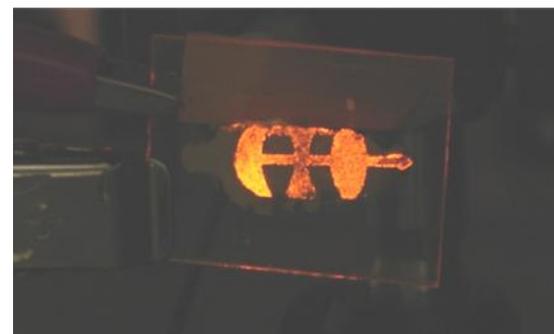
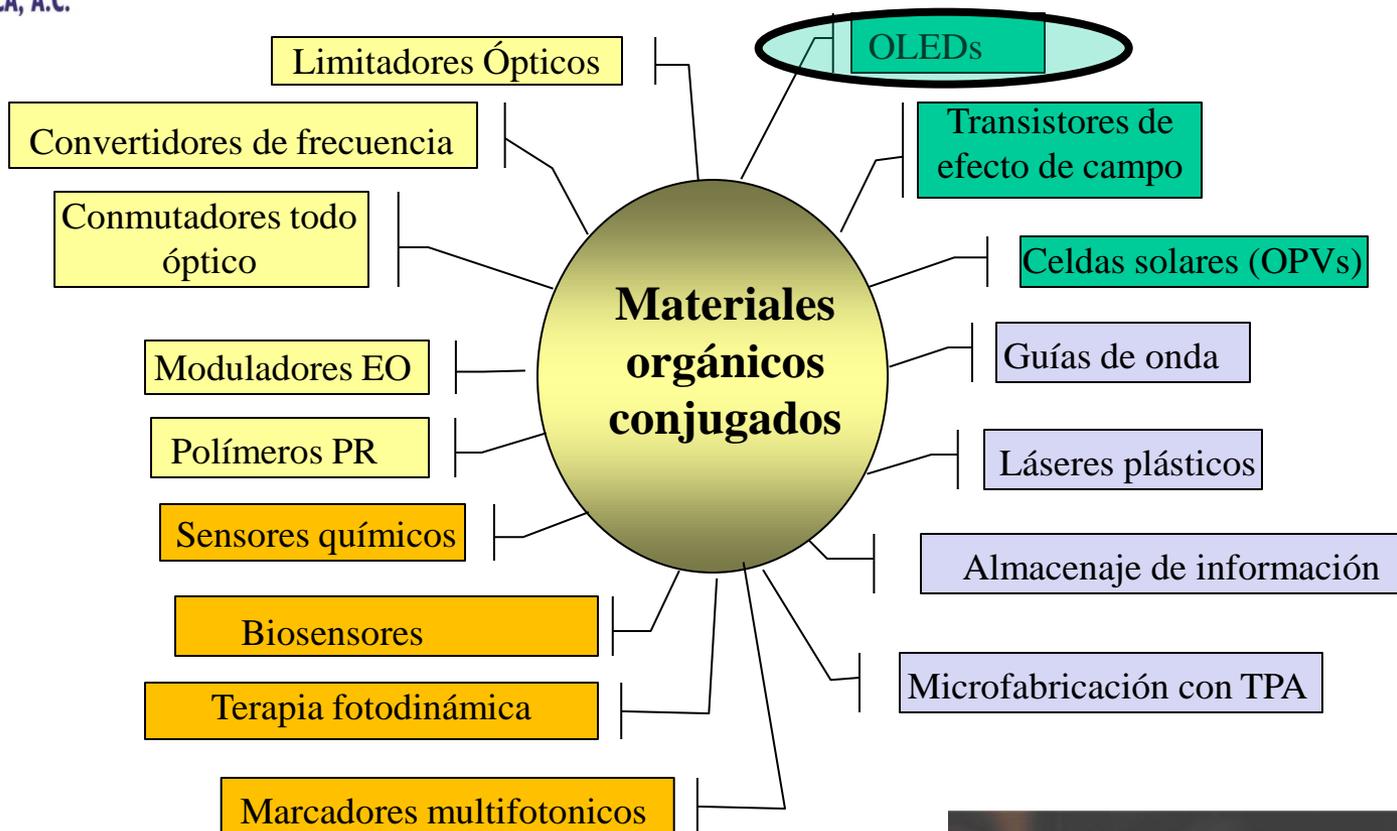
$E = 23 \text{ V}/\mu\text{m}$

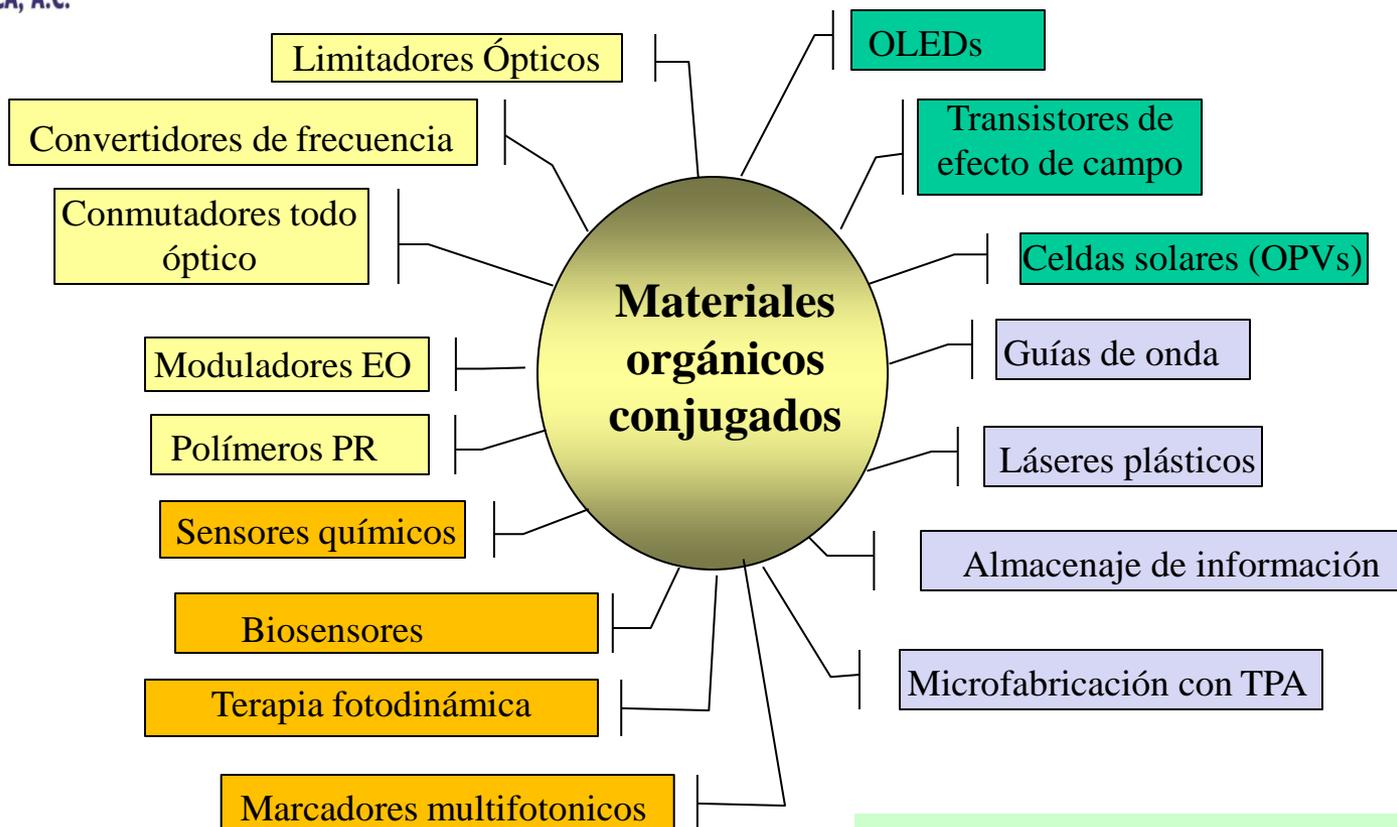
### Características

- ONL con lasers de mW
- Hologramas reversibles
- Una sola película puede almacenar mayor densidad de información que un DVD

- J. Phys. D: Appl. Phys. **42**, 075102 (2009)
- Inter. J. Mod. Phys. B, **21** 2625 (2007)

Grupo de Propiedades Ópticas de la Materia





## Ventajas:

- Fácil procesamiento
- Procesables en áreas grandes y flexibles
- Bajo costo
- Posibilidad de optimizar sus propiedades mediante ingeniería molecular



TVs de OLED





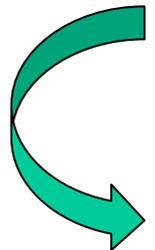
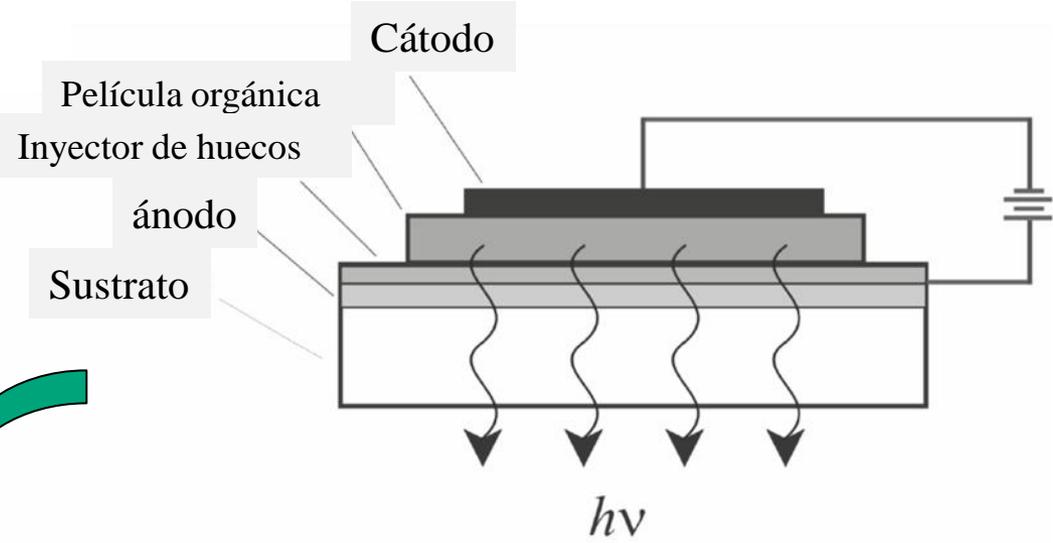
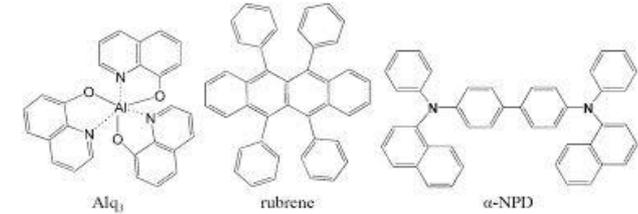
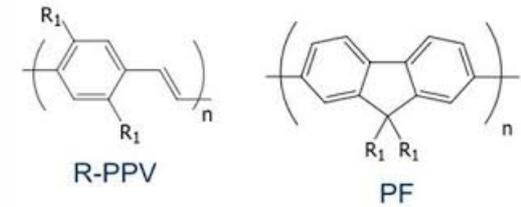
OH'DO, y ahora que hago??  
compré al contado un hermoso  
televisor LED, pagándolo con mis  
ahorros, y ahora sale esto nuevo!  
OH' DOOO!!



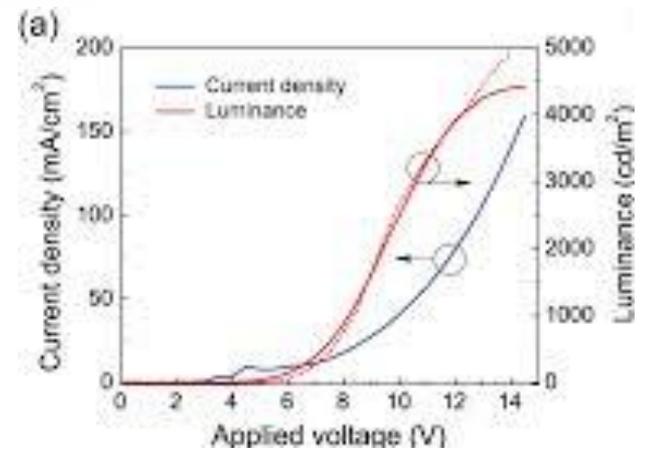
## Pantallas de OLED

# Estructura OLED

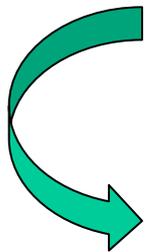
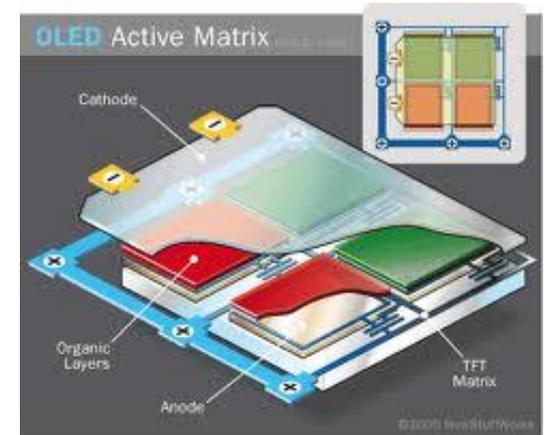
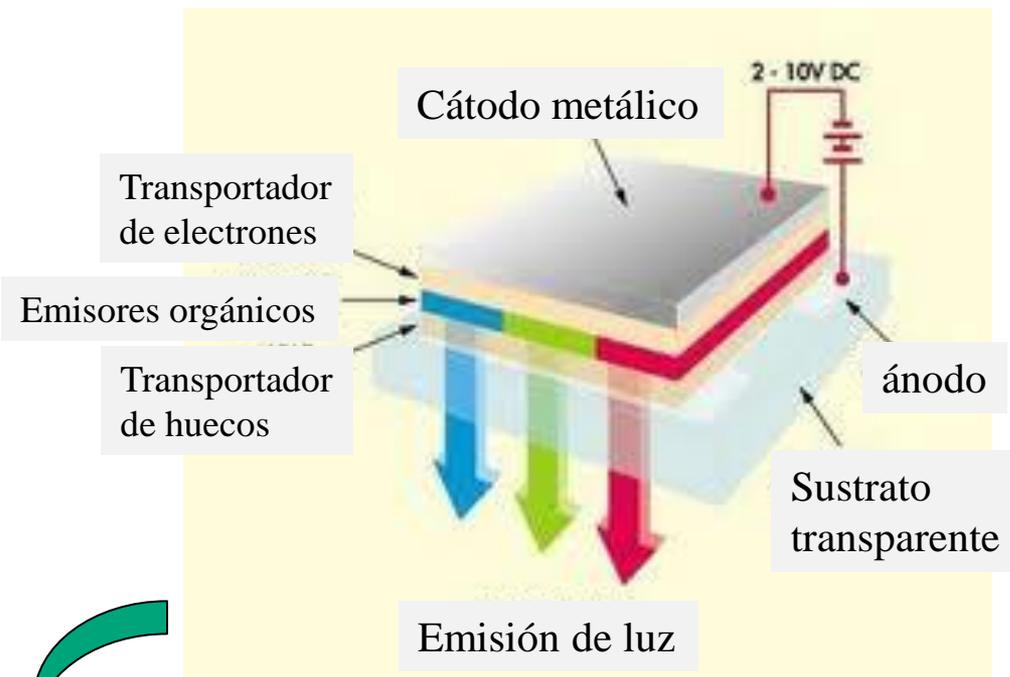
OLED (organic light emitting diode)



Efecto de electroluminiscencia

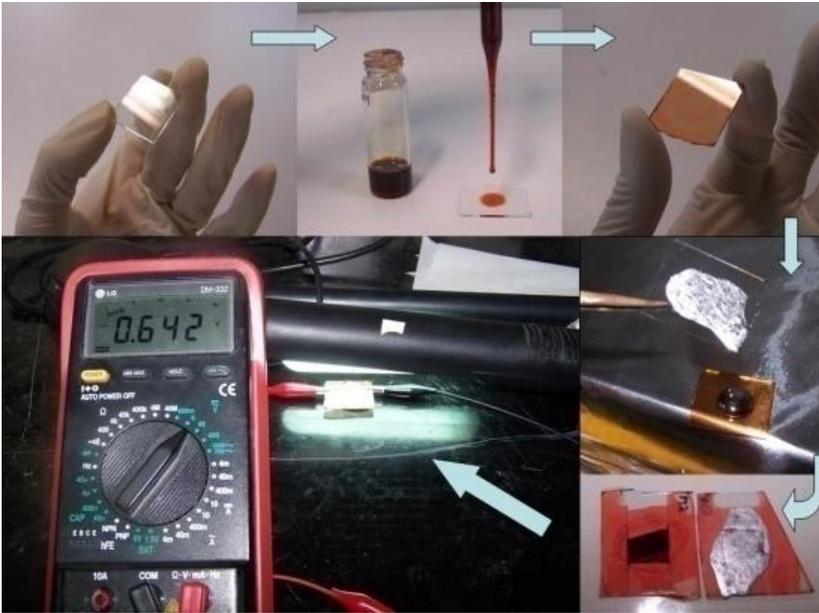


OLED (organic light emitting diode)

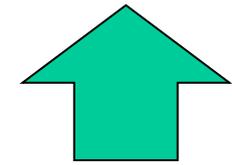
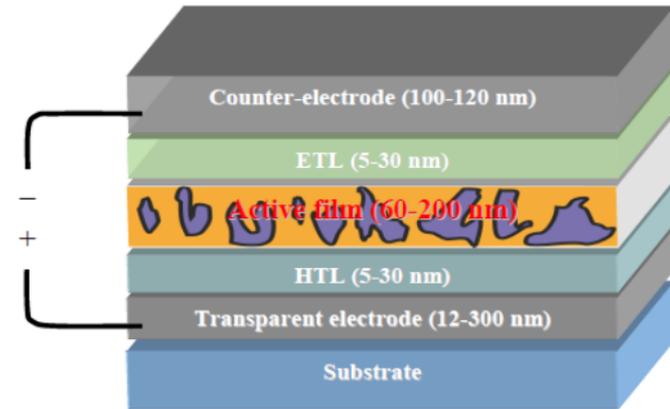


Efecto de electroluminiscencia

# Los primos hermanos de los OLEDs: las celdas solares orgánicas (OPVs)



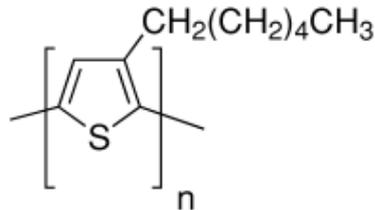
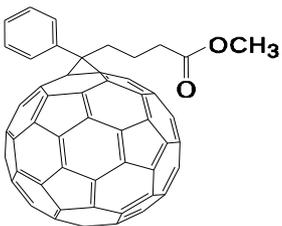
## Celdas solares orgánicas



Iluminación



Efecto fotovoltaico

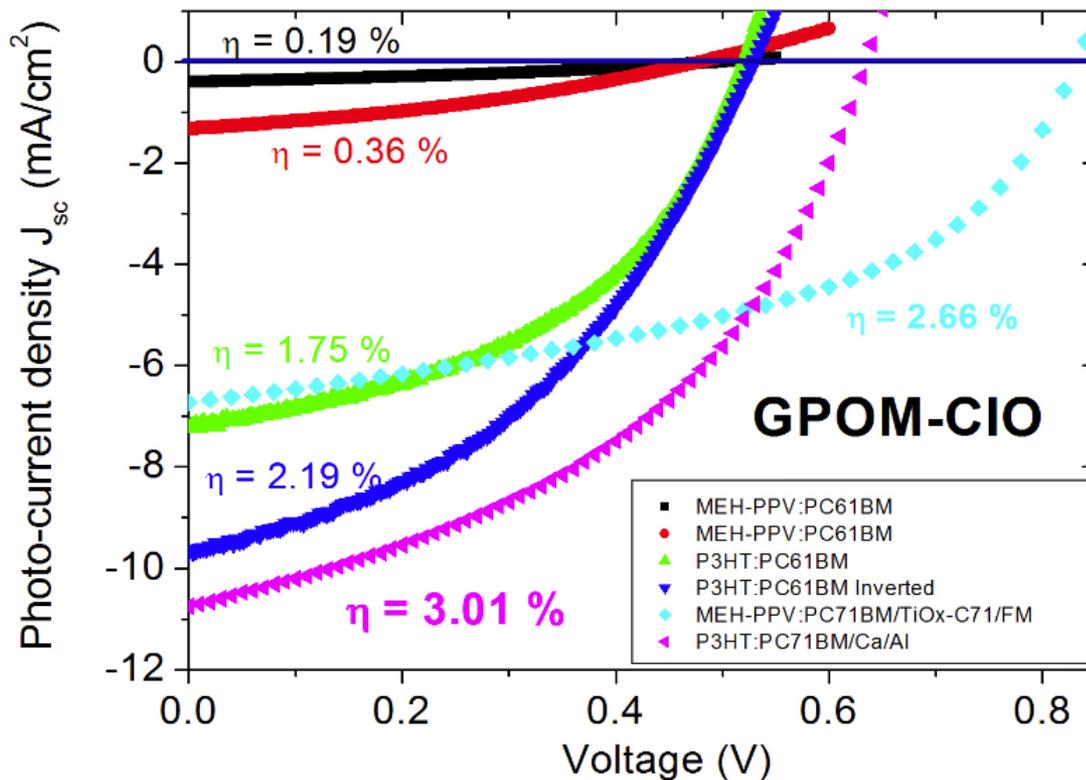




CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN ÓPTICA, A.C.

# Desarrollo de celdas solares en el CIO

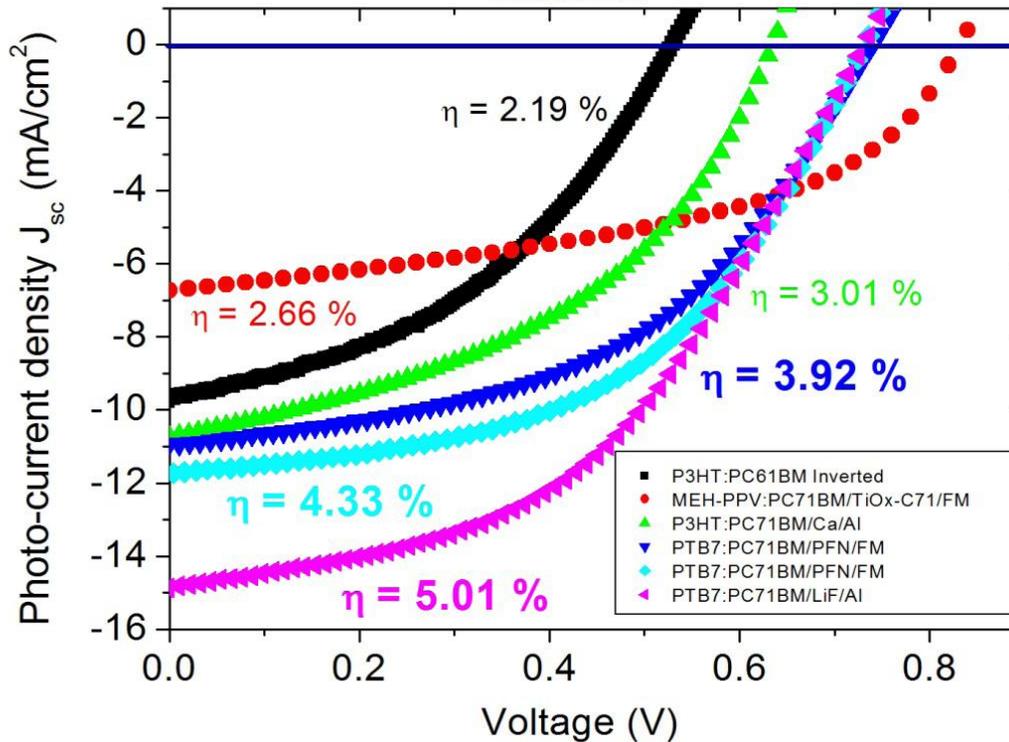
## OPVs efficiency: improvement



- \* J.L. Maldonado, G. Ramos-Ortiz, *et al.*, *Am. J. Phys.* **76**, 1130-1136 (2008)
- \* J.F. Salinas, J.L. Maldonado, G. Ramos-Ortiz, Barbosa-García, *et al.*, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* **95**, 595 (2011)
- \* C. Salto, J.F. Salinas, J.L. Maldonado, G. Ramos-Ortiz, Barbosa-García, *et al.*, *Synthetic Metals* **95**, 595-601 (2011)
- \* J. C. Nolasco, G. Ramos-Ortiz, J.L. Maldonado, Barbosa-García, *et al.*, En arbitraje.
- \* E. Pérez-Gutiérrez, J.L. Maldonado, G. Ramos-Ortiz, Barbosa-García, *et al.*, En arbitraje.
- \* J.A. Del-Oso, J.L. Maldonado, Gabriel Ramos-Ortíz, *et al.*, En arbitraje.

## GPOM-CIO: OPVs efficiency improvement

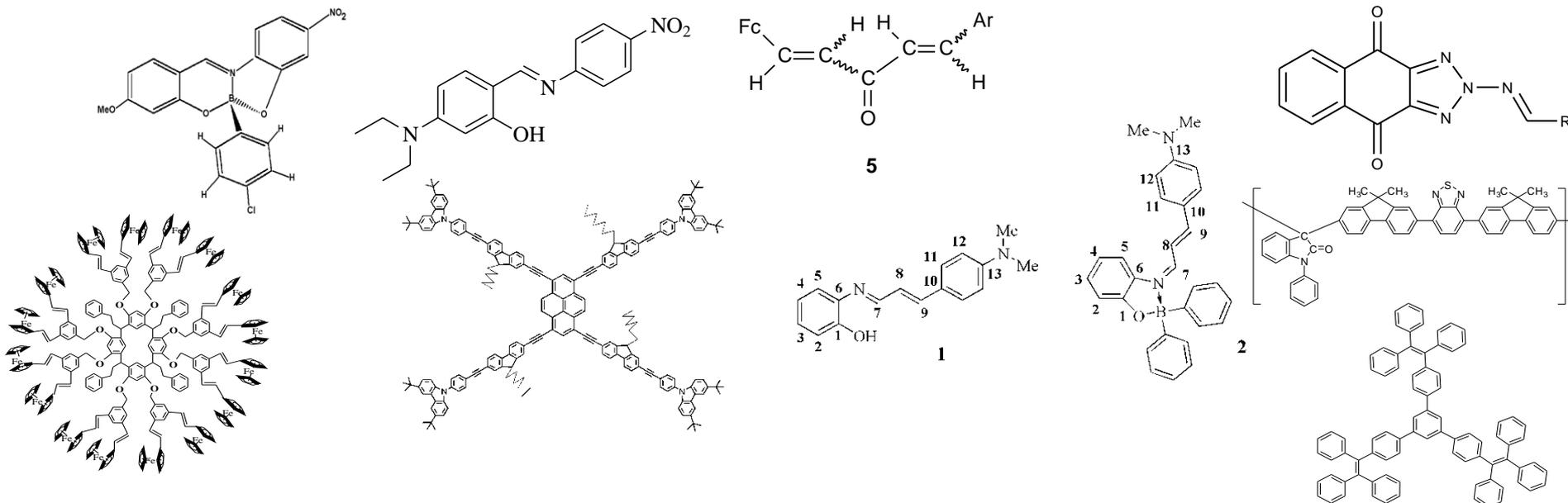
Feb-2014



ITO/PEDOT:PSS/PTB7:PC71BM (1:1.5)/PFN/FM

**Estrategia de Investigación  
sobre electrónica molecular en  
el CIO: conjunción de física,  
química y biomedicina**

# Investigación con materiales orgánicos en el CIO



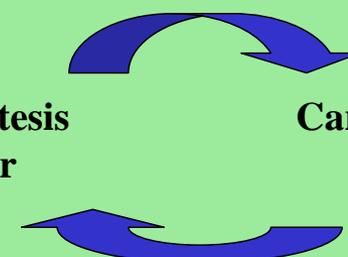
• **Diseño y síntesis de nuevos materiales orgánicos con propiedades eléctricas y ópticas (en colaboración con varios grupos)**

• **Caracterización óptica de materiales**

• **Implementar su uso en dispositivos**

**Diseño y síntesis  
molecular**

**Caracterización  
óptica**



*Efectos ópticos (no lineales)  
para aplicaciones fónicas*

- Moléculas de bajo peso molecular (dipolares, cuatropolares, octopolares)
- Dendrimeros, Polímeros, Polímeros hiper-ramificados

*Celdas Solares*

*Holografía dinámica (PR)*

*OLEDs*

- Moléculas fotosensibles
- Polímeros semiconductores
- Moléculas fluorescentes

*Aplicaciones biomédicas*

- Nanopartículas Orgánicas, sensores



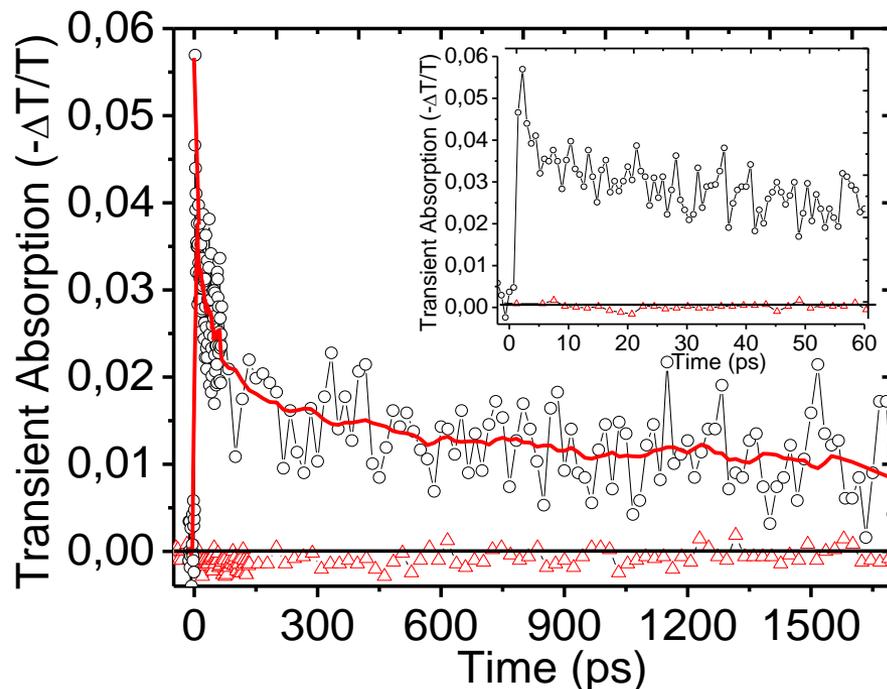
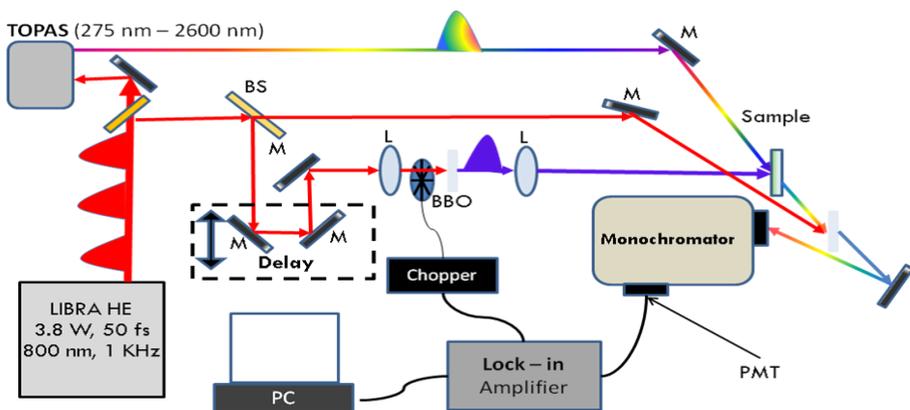
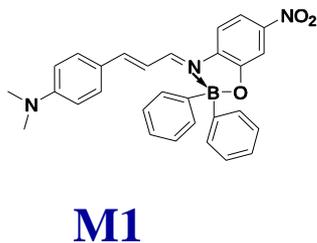
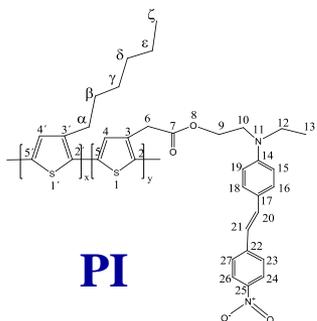
CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN ÓPTICA, A.C.

# Espectroscopia de fs



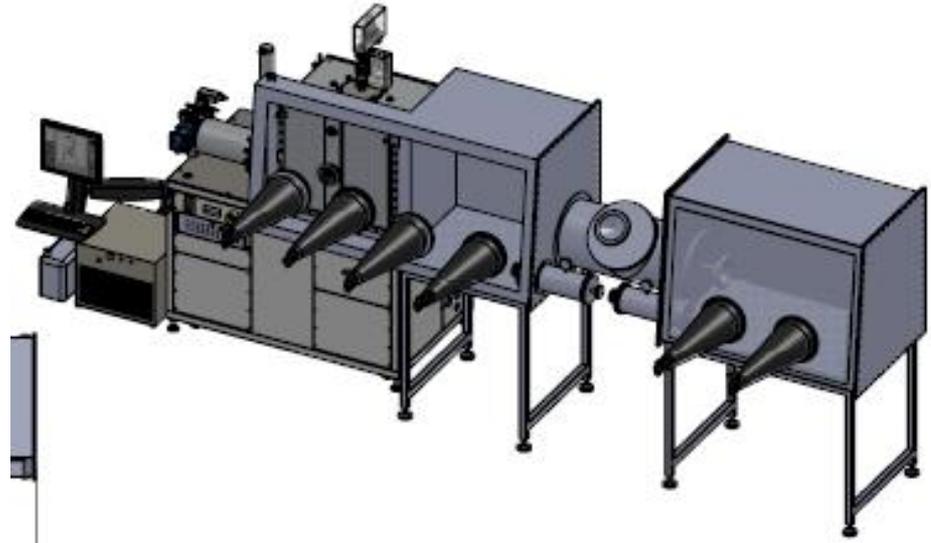
GRUPO DE PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA MATERIA

## Espectroscopia de Absorción transiente con resolución de fs



S. Romero-Servin, G. Ramos-Ortíz, R. Carriles-Jaimes, J.L. Maldonado, M. Güizado-Rodríguez, et al., ***“Transient absorption studies on organo-boron molecule blended with new polythiophenes...”*** Under preparation

# Sistema de deposición al vacío: **Organicos** **e inorganicos** + caja de guantes

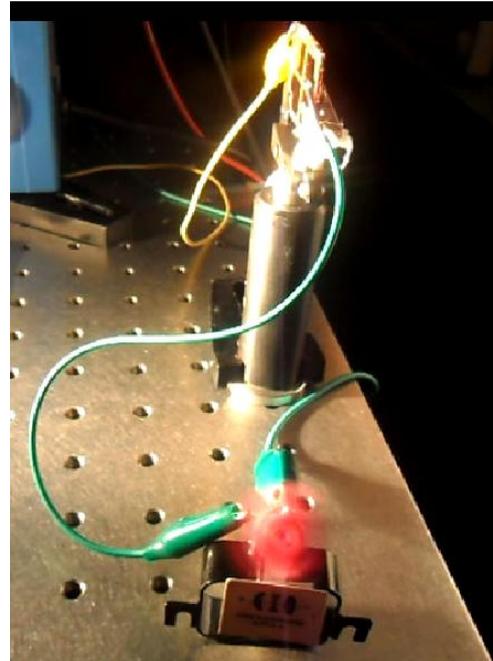
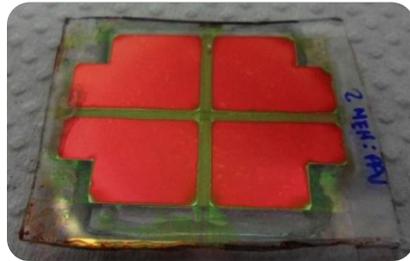


## Películas delgadas

- 4 fuentes de inorganicos (metales)
- 4 fuentes de organicos
- Atmosfera inerte
- Espesor de muestras
  - Topografía
  - Morfología

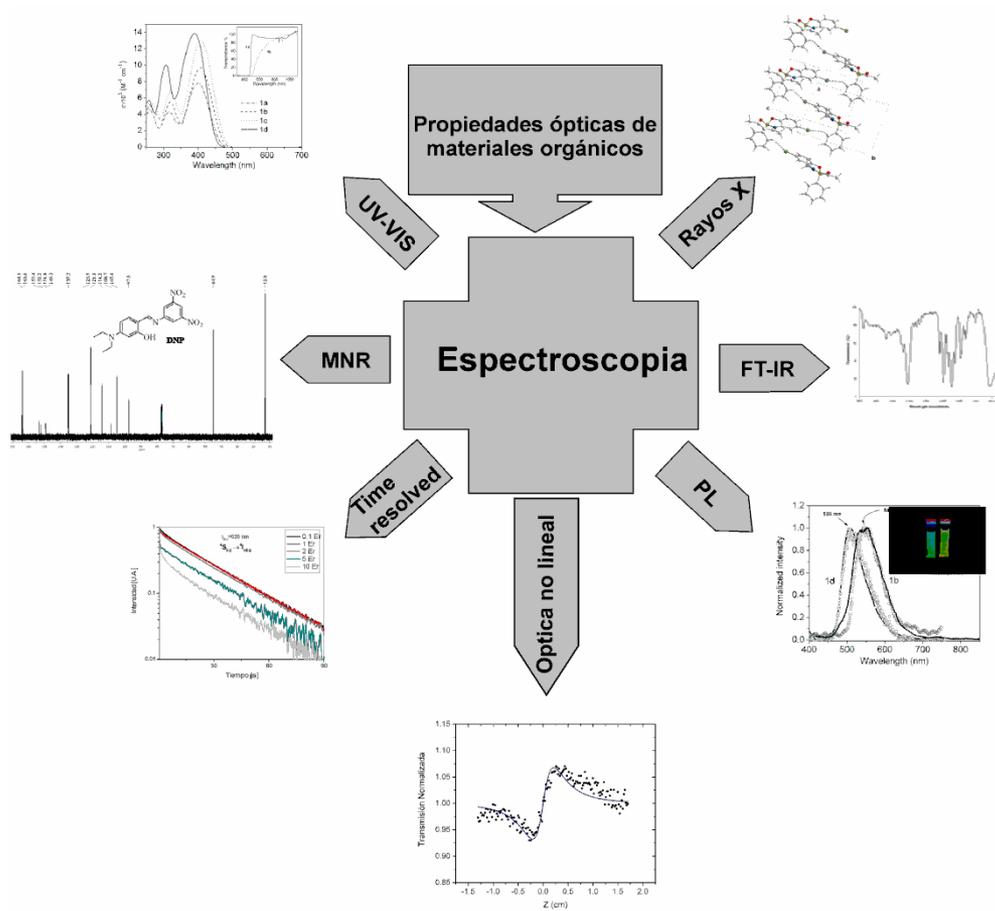


# Arreglo de Celdas solares organicas



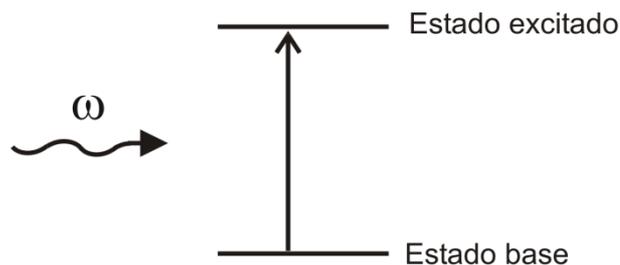
Motor  
eléctrico

## Estudios espectroscópicos



- **Z-scan**
- **THG Maker-Fringes**
- **Esparcimiento Hyper-Rayleigh**
- **Mezclado de dos y cuatro ondas**
- **Tiempo de vuelo (TOF)**
- **Fluorescencia inducida por absorción de dos fotones (TPEF)**
- **Espectroscopia resuelta en el tiempo (femtosegundos)**
- **Laser Breakdown spectroscopy (LIBS)**
- **Raman**
- **EFISH**
- **etc**

# **Electrónica molecular y el efecto de absorción de dos fotones**

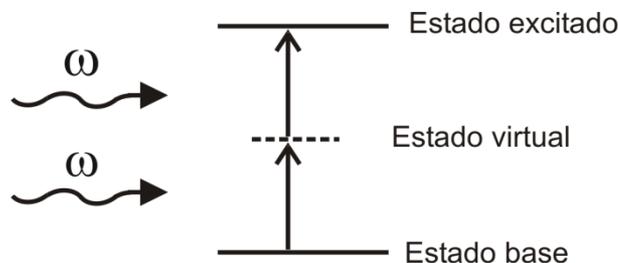


Proceso de absorción de un fotón

Condición:

$$\hbar\omega \geq E_e - E_g$$

*Se puede excitar la molécula si  $\hbar\omega < E_e - E_g$  ?*



Proceso de absorción de dos fotones

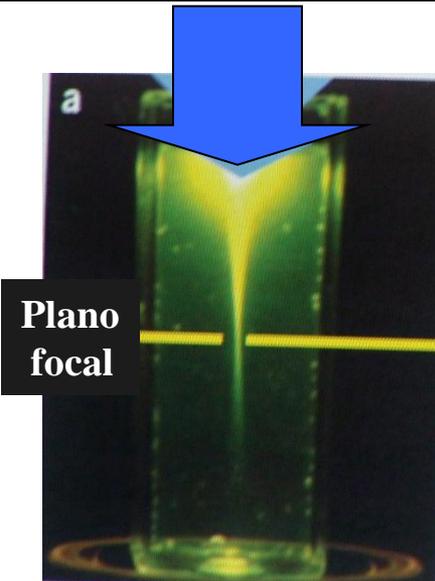
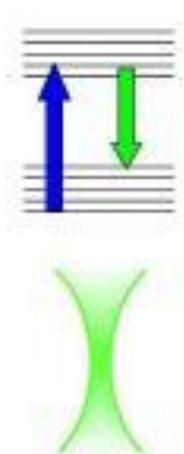
La absorción simultánea de dos fotones puede tener lugar si:

$$2\hbar\omega \geq E_e - E_g$$

*Efecto predicho teóricamente en 1931  
por Maria Goeppert-Mayer*

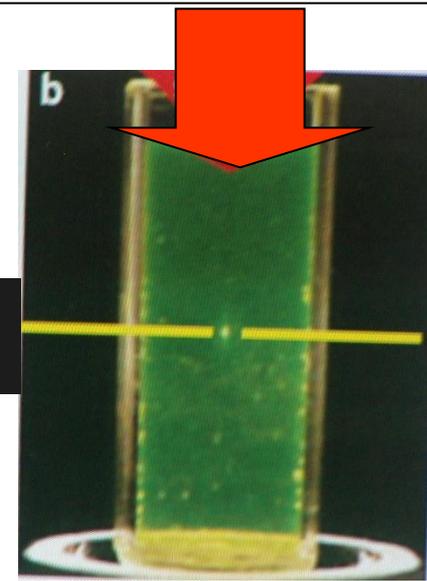
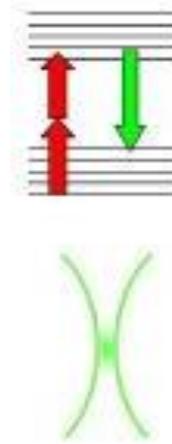
*TPA es un fenómeno dependiente de la intensidad, y por lo tanto produce excitación muy localizada en un material*

Absorción de un fotón a 400 nm



Plano focal

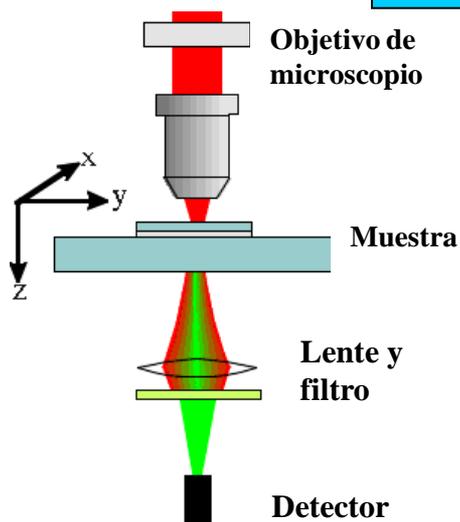
Absorción de dos fotones a 800 nm



Plano focal

Moléculas fluorescentes

## Microscopía de fluorescencia multifotón

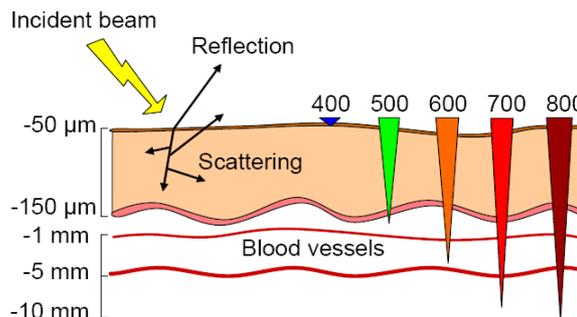


Pulsos laser son enfocados y escaneados (x,y,z) en la muestra. La señal de fluorescencia es recolectada punto a punto

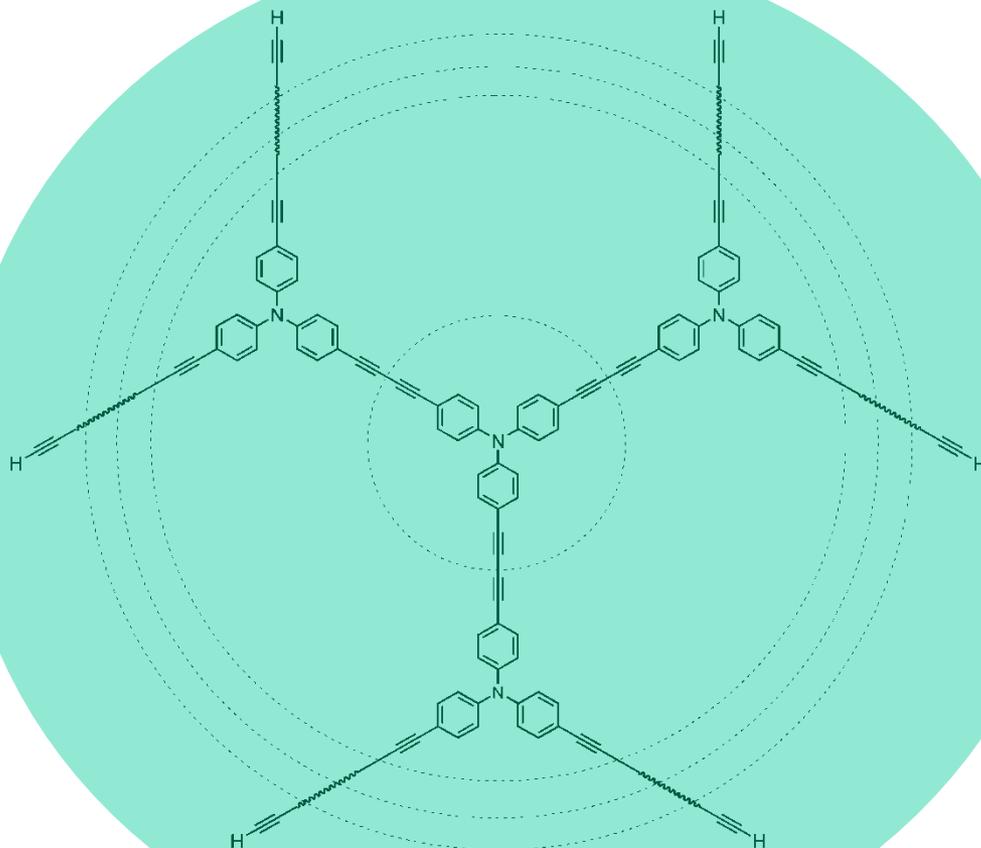
**Actividad de dos fotones en la ventana de interés biomédico (600 - 900 nm)**



**Cromoforos estándar de uso comercial tienen secciones de absorción bifotónica en el rango de 1 - 100 GM**



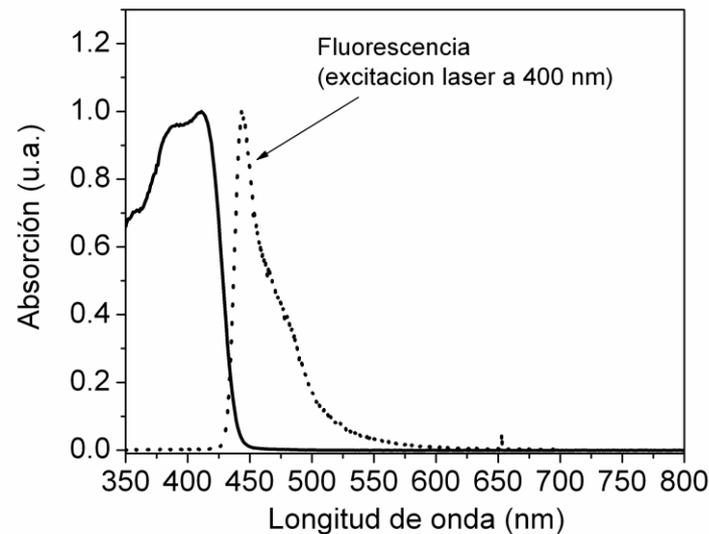
# Moléculas orgánicas con absorción de dos fotones



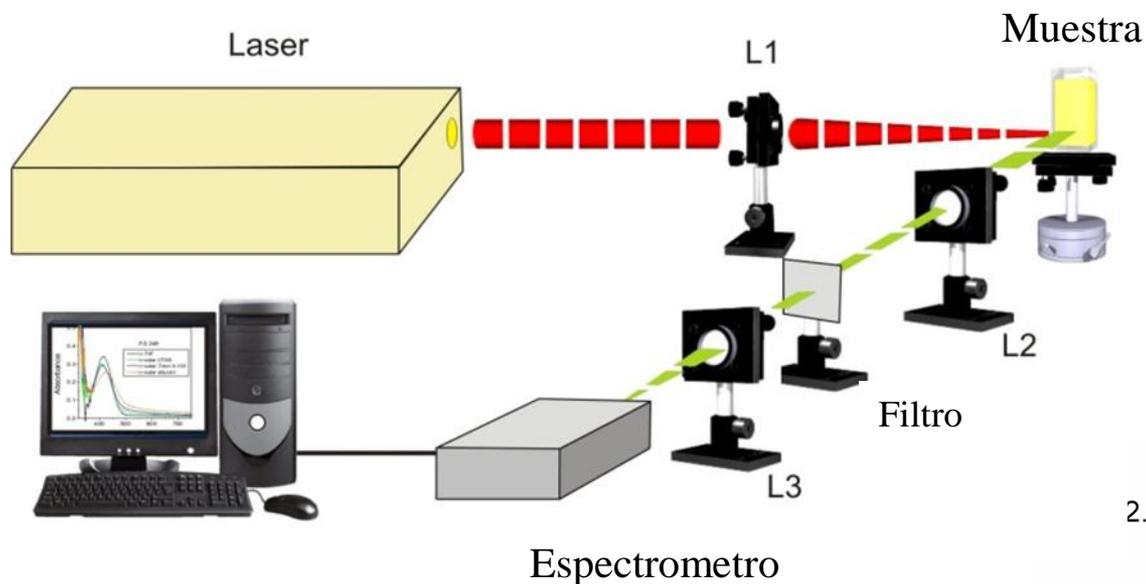
MW de 24 000 gr/mol

## Propiedades de Poliino-hiper-ramificado (*hb-Polyne*)

- Compuesto de unidades de trifenil-amino unidas por enlaces simples y triples alternados
- Abs. máxima en 412 nm
- Fluorescencia azul en 443

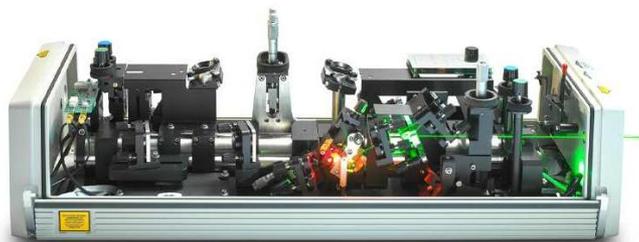
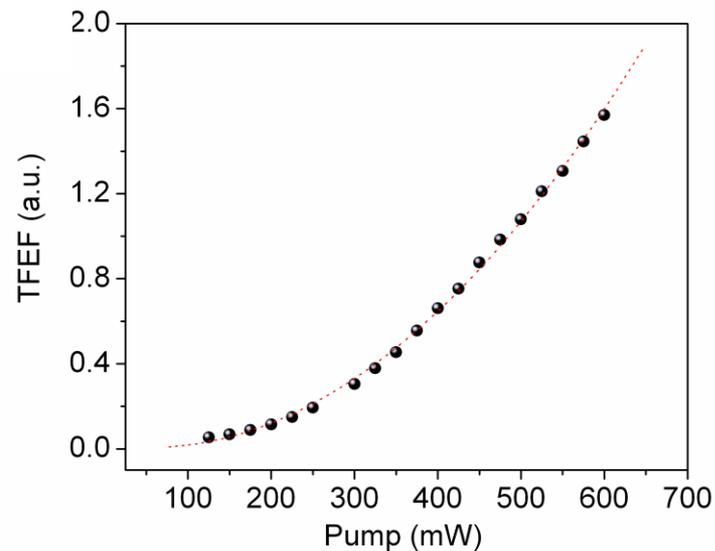


# Fluorescencia excitada por TPA (TPEF)



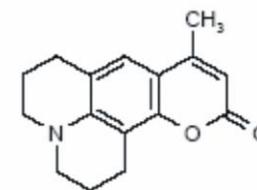
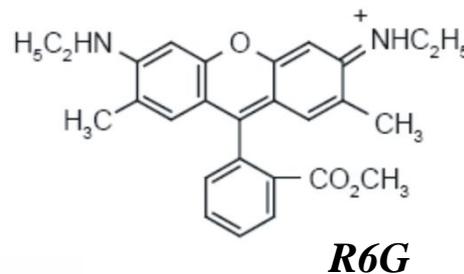
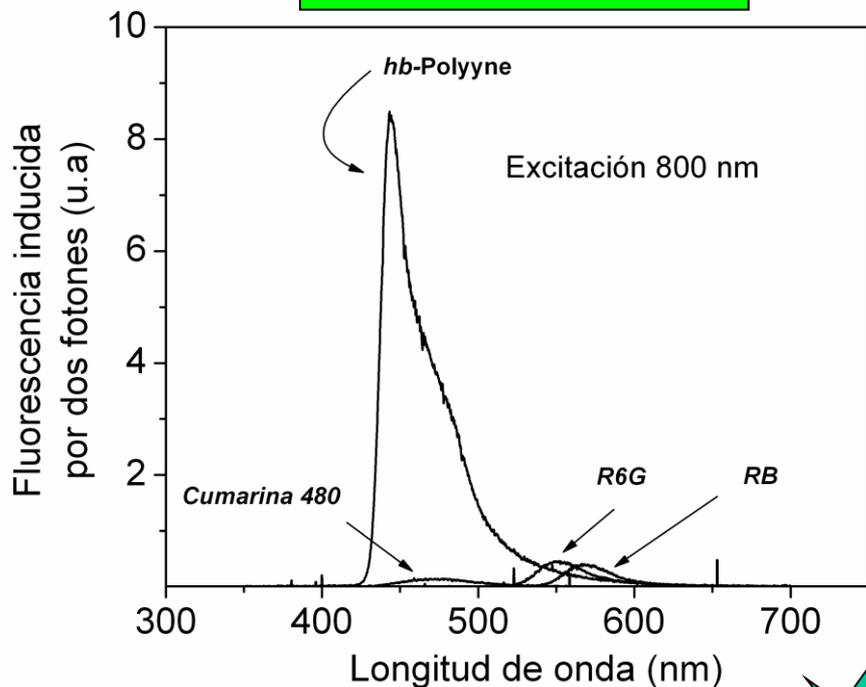
*hb-Polyne* en  
solucion de chloroformo  
 $C = 1E-5$  mol/L

*Arreglo experimental de fluorescencia  
excitada por absorción de dos fotones*



# TPEF de diferentes moléculas

Soluciones  $C = 1E-5 M$



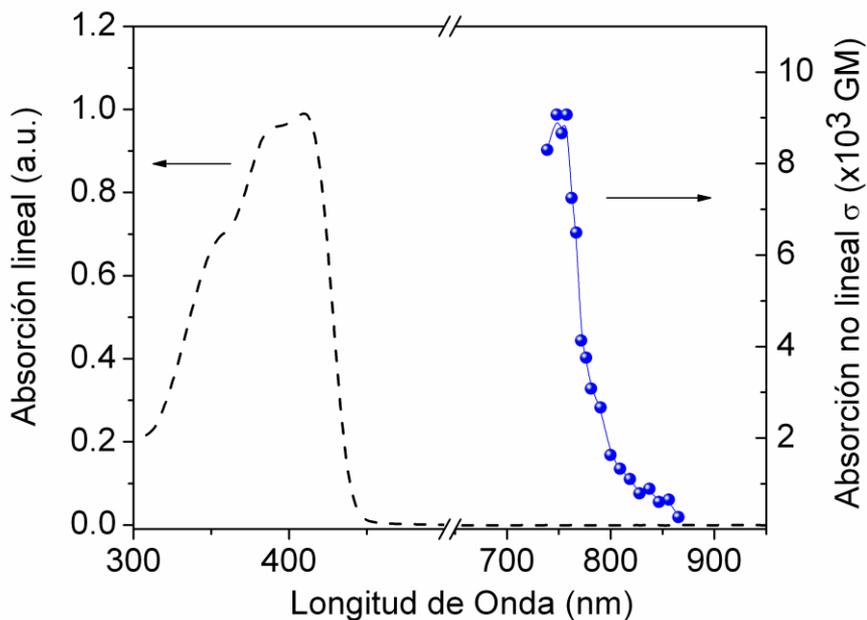
Colorante láser	$\phi$	Coefficiente de absorción no lineal $\sigma$ (a 800 nm)
R6G (rodamina 6G)	0.95	65 GM
RB (Rodamina B)	0.71	120 GM
hb-Polylyne	0.62	??

Calculo del coeficiente de absorción no lineal por comparación

$$\sigma = \sigma_{ref} \frac{\phi_{ref}}{\phi} \frac{c_{ref}}{c} \frac{n_{ref}}{n} \frac{F}{F_{ref}}$$

$\sigma = 1328 \text{ GM}$   
a 800 nm

# Espectro de absorción de dos fotones



$\sigma = 9000$  GM !!!!!!! (a 740 nm)

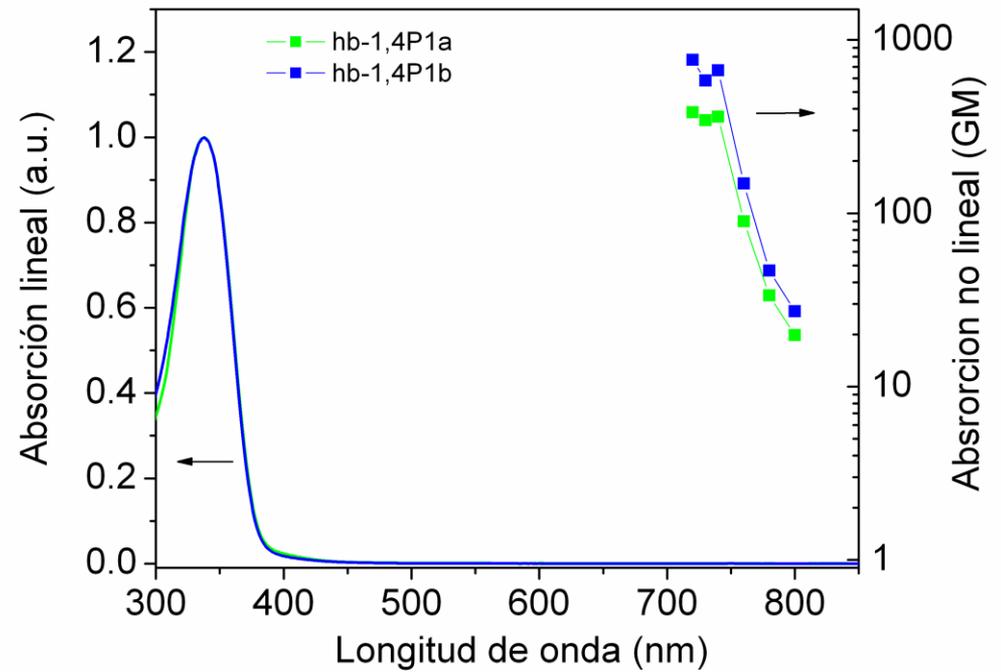
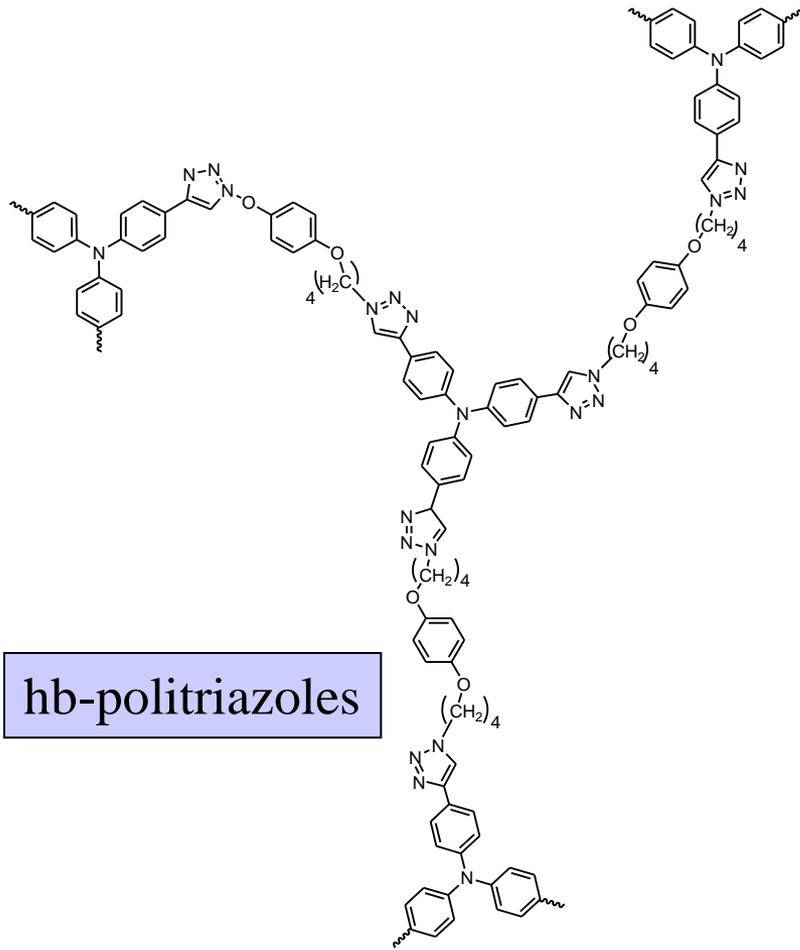
## •Ventajas de *hb-polyyne*

- Valores de  $\sigma$  en el rango  $10^3$  GM (entre los máximos valores reportados)

## •Ventajas de *hb-polyyne*

- De utilidad para aplicaciones biomedicas. Ej: la alta eficiencia de fluorescencia azul inducida por absorción no lineal puede ayudar a discriminar la luz de fondo y la autofluorescencia roja y verde emitida en proteínas contenidas en algunas células cuando se estudian con métodos de microscopia multifotón.

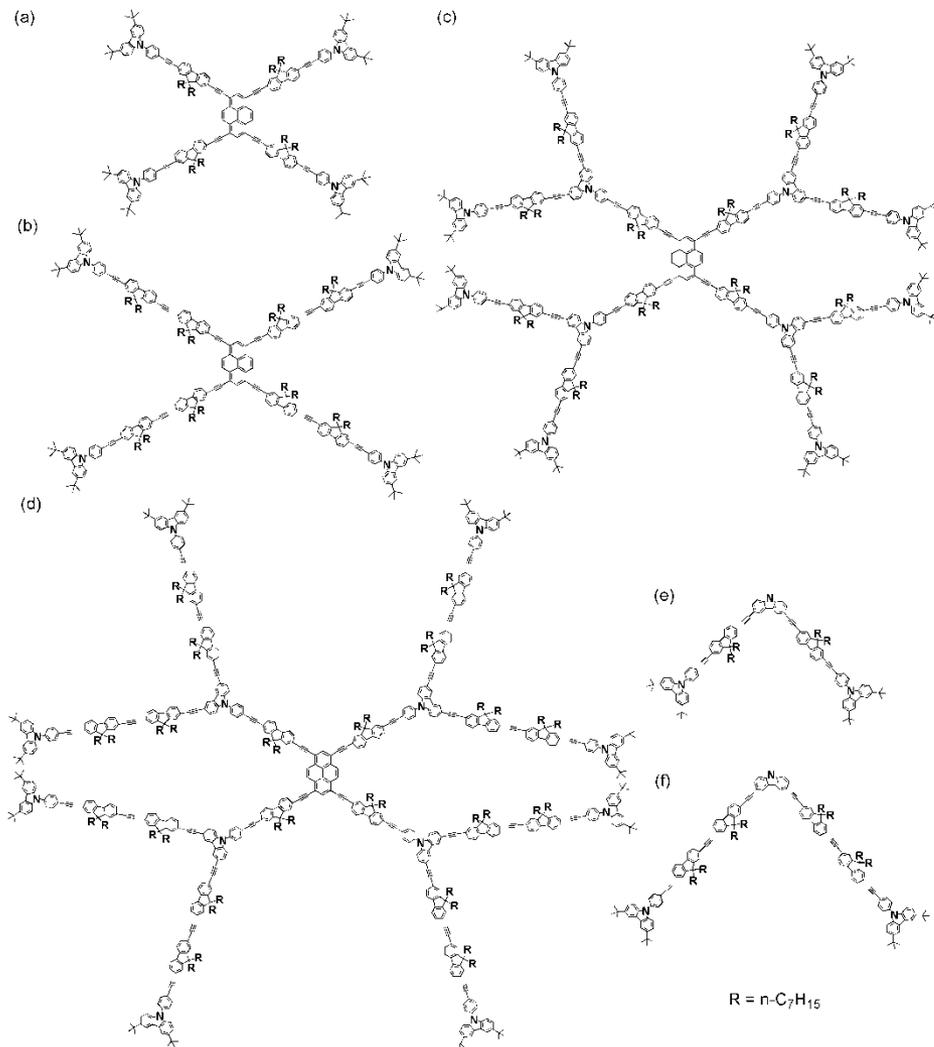
# Otros polímeros ramificados





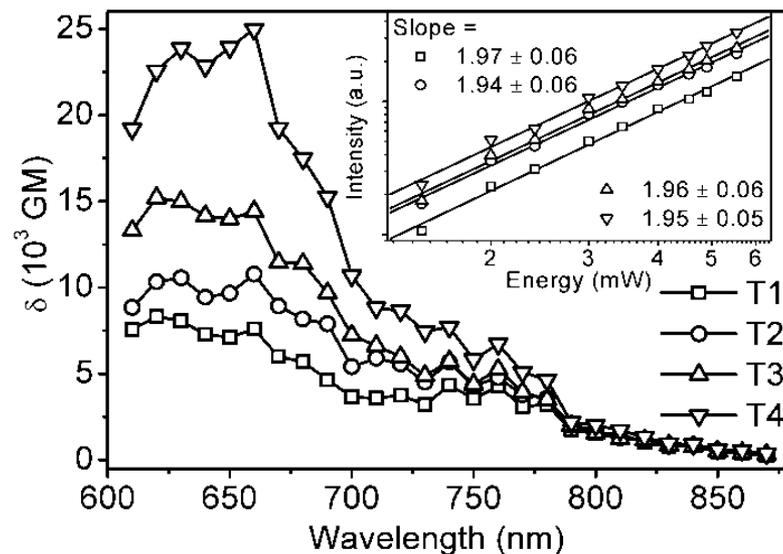
# Absorción no lineal Gigante en dendrímeros

CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN OPTICA, A.C.



Este dendrimero consiste en:

- Centro de Pireno
- Dendromes de fluoreno/carbazol
- Puentes de acetileno



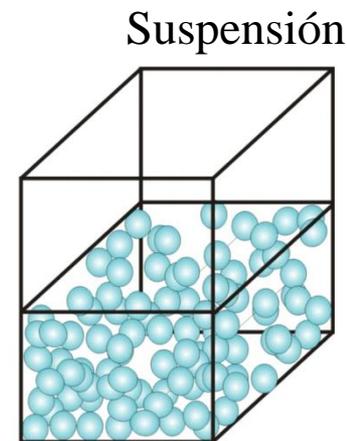
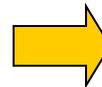
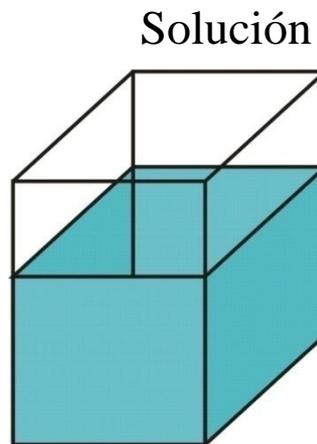
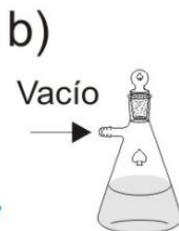
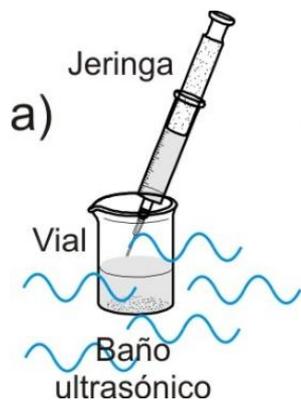
**Nanopartículas orgánicas  
y sus aplicaciones en ciencias de la  
vida (*biofotonica*)**

*Molécula/polímero insoluble in agua*

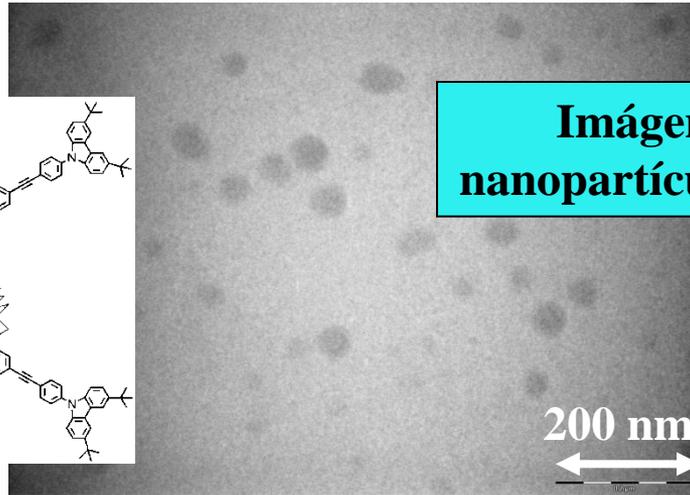
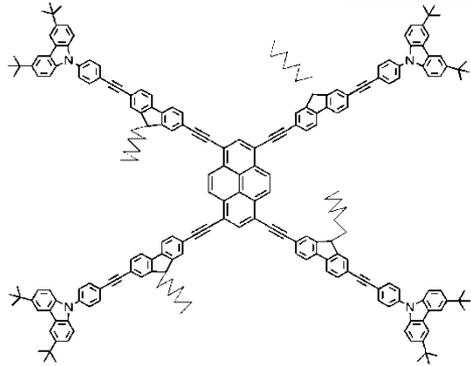
*Molécula/polímero soluble en THF, Cloroformo, etc*

Agua y solvente miscibles

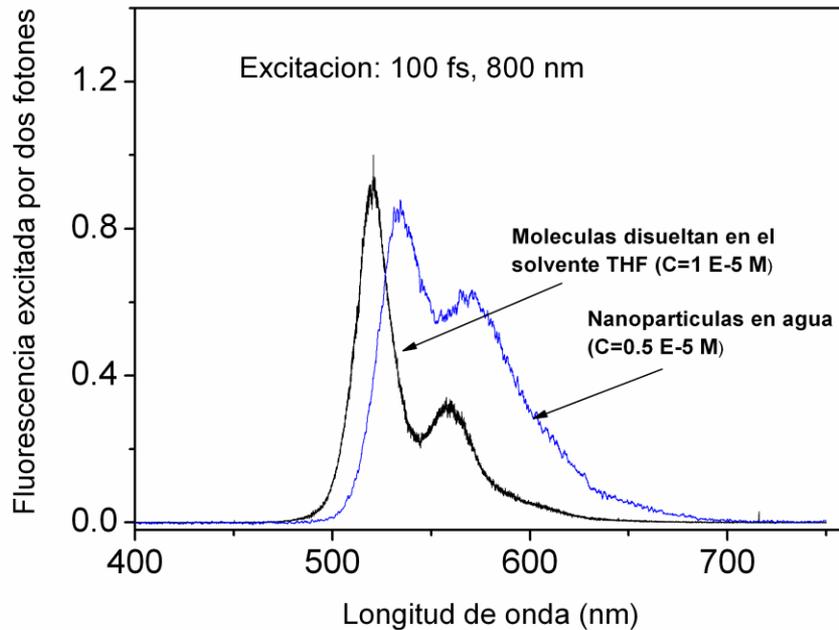
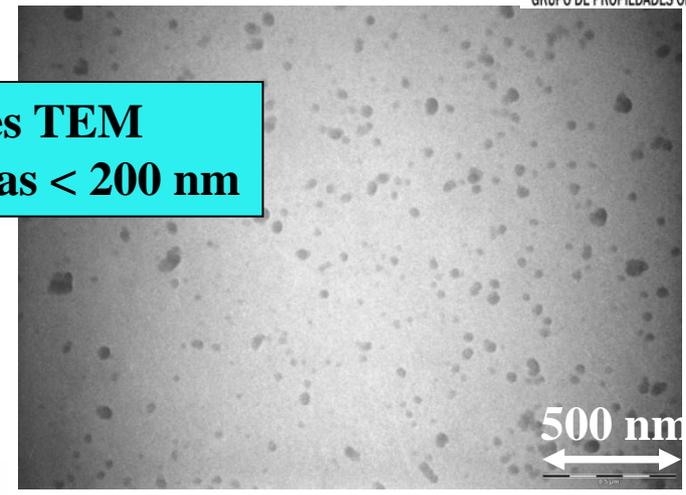
Por medio de método de reprecipitación es posible suspender nanopartículas orgánicas en agua



# Nanopartículas de dendrímeros



**Imágenes TEM  
nanopartículas < 200 nm**



**Nanopartículas < 200 nm**

**Las partículas exhiben alta  
eficiencia cuantica**

**Las partículas exhiben  
absorción de dos fotones  
eficiente**

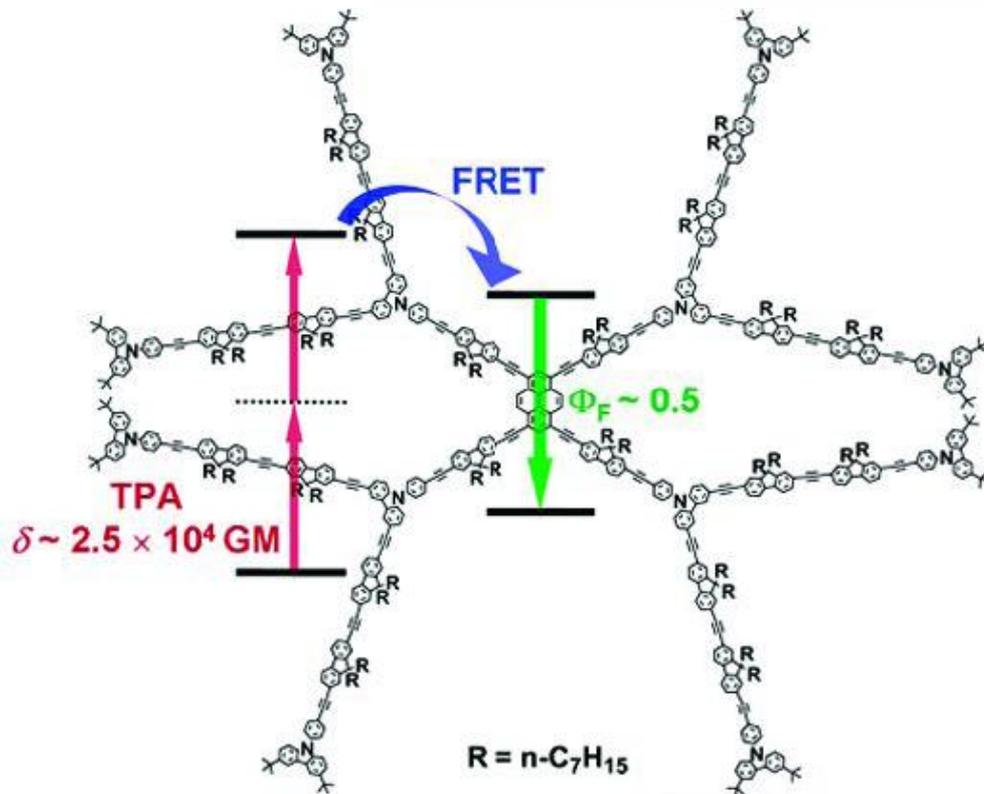


# TPEF en nanopartículas de dendrímeros

CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN OPTICA, A.C.

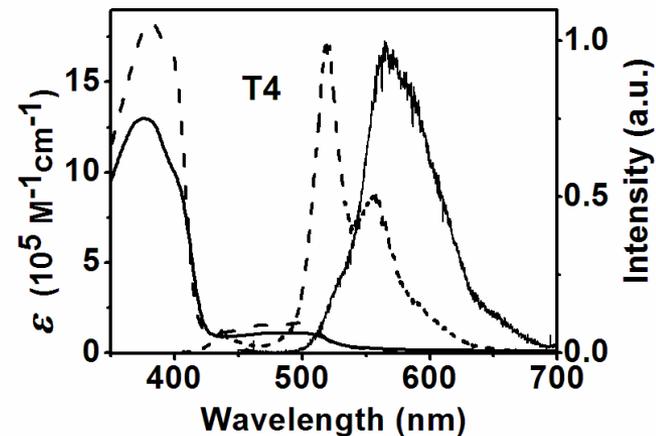
Este dendrimero consiste en:

- Núcleo de pireno Dendrones Fluoreno/carbazol Puentes de acetileno



FRET (Intramolecular fluorescence-resonance energy transfer) entre los dendrones de Fluoreno y el núcleo de Pireno

Nanopartículas ~ 30 nm



Las NP suspendidas en agua exhiben altas eficiencias cuánticas de fluorescencia y TPA notable ( $\sigma_{\text{TPA}} > 10^3 \text{ GM}$  and  $\phi_F \sim 0.25$ )

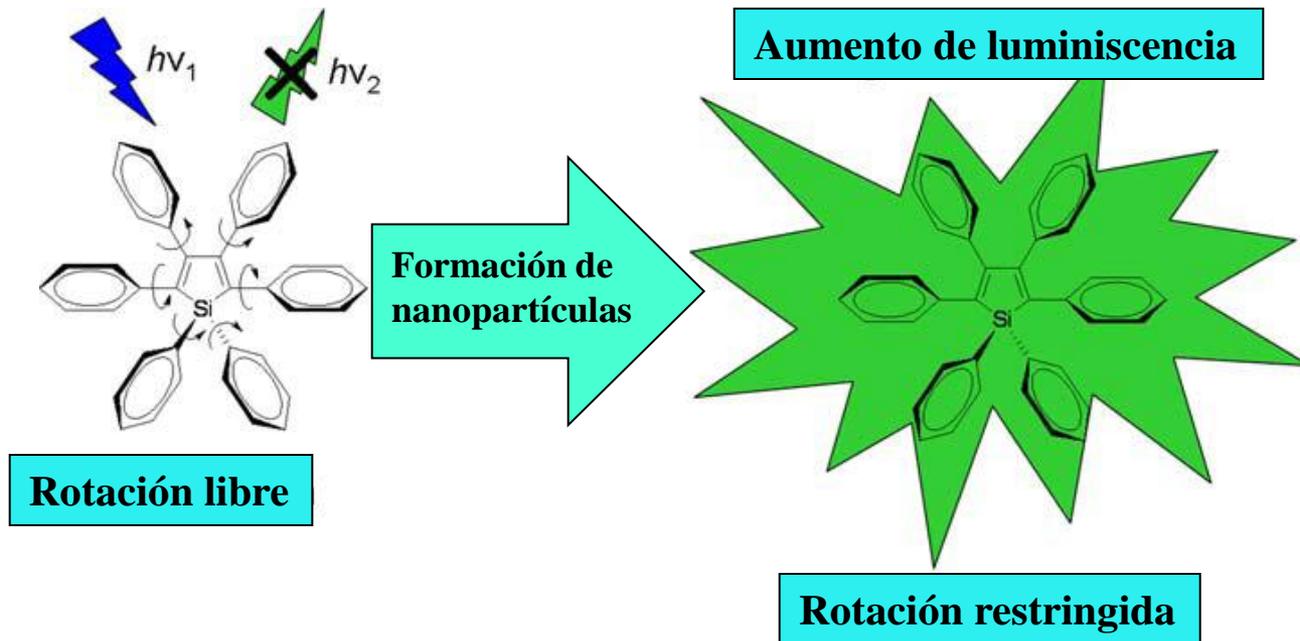
*J. Phys. Chem. B* **114**, 11737 (2010)





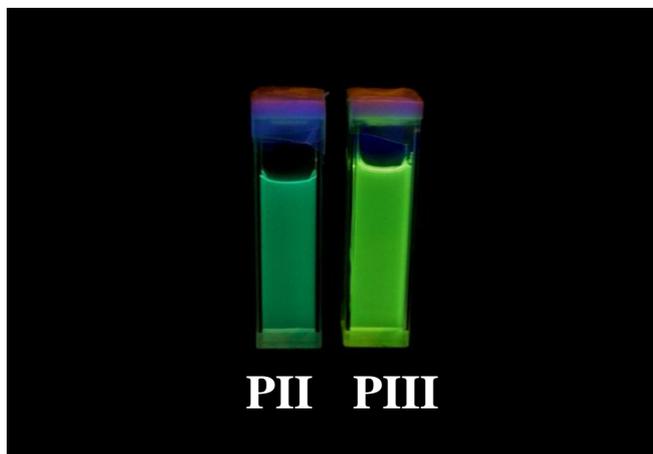
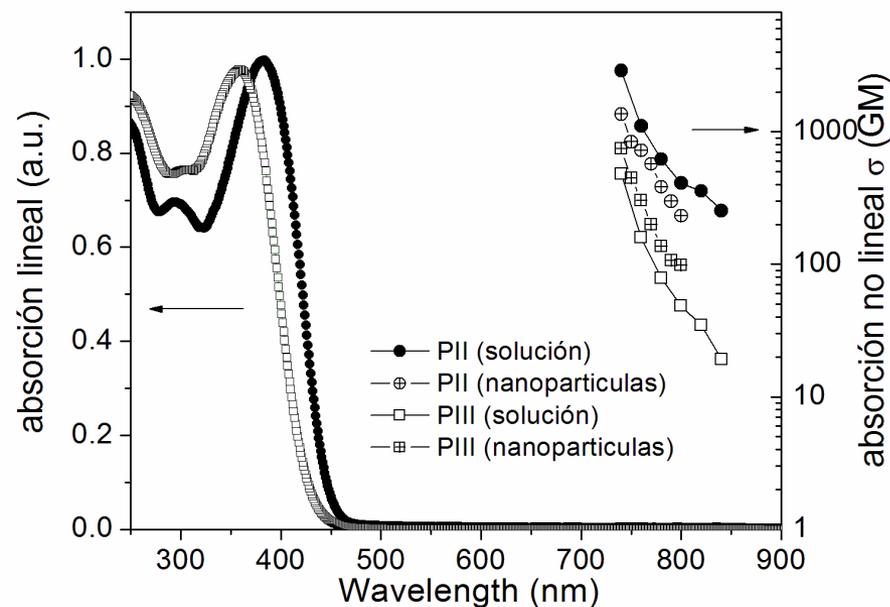
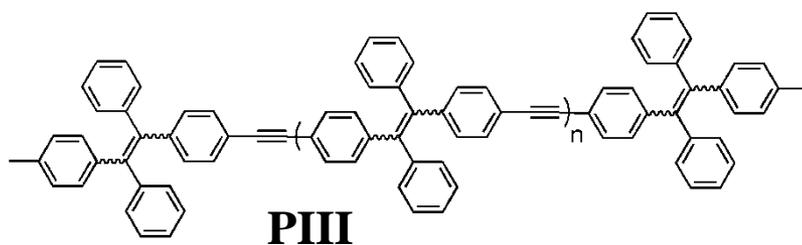
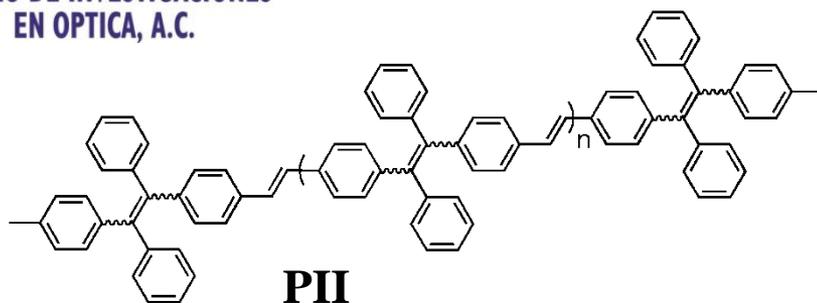
CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN OPTICA, A.C.

# Propuesta para explicar AIE



La restricción de rotación inhibe canales de decaimiento no radiativo

# Nanopartículas de polímeros



**Eficiencias cuánticas de nanopartículas**

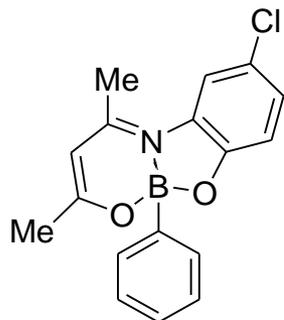
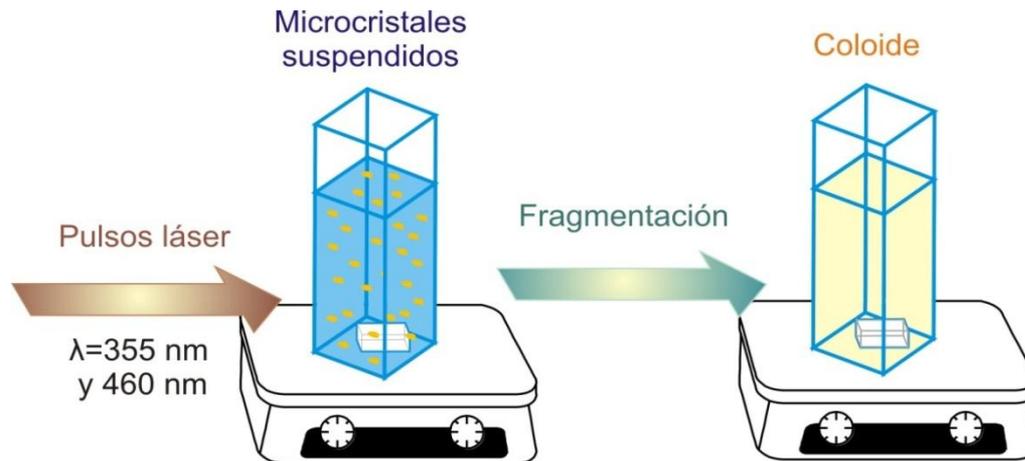
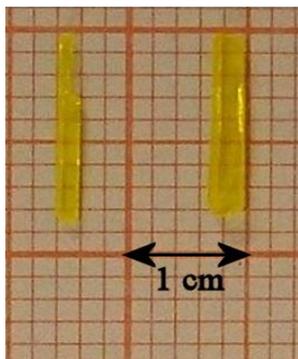
$$\phi_F > 0.6$$

“Study of Structure/Property Relationships for One-Photon and Two-Photon Excited Aggregation-induced Emission of Tetraphenylethene derivatives” *J. Mater. Chem.* **22**, 232-240 (2012).

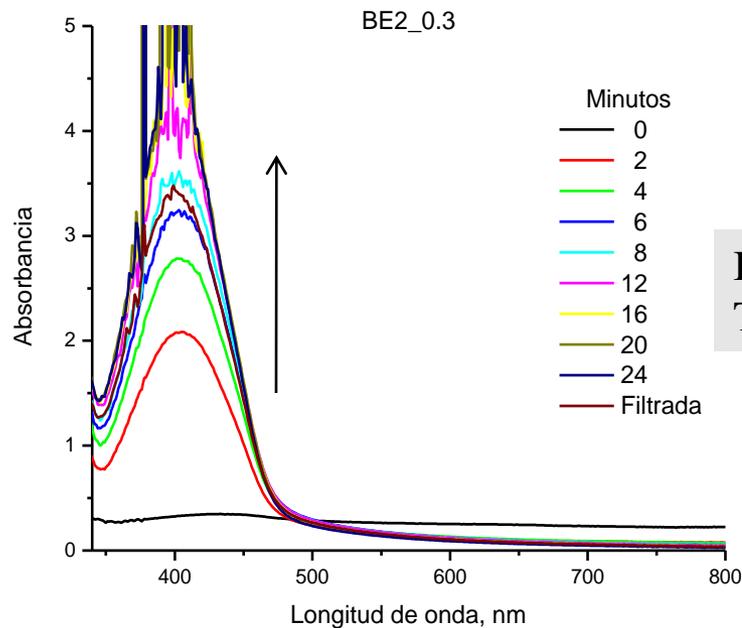


# Ablación láser para obtener nanocrisiales

CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN OPTICA, A.C.



**Boronato**

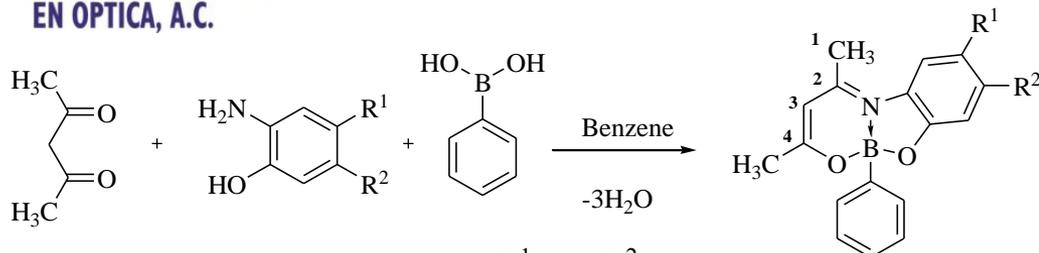


International Journal of  
Thermophysics (En prensa 2013).



# Nanocristales creados por ablacion laser

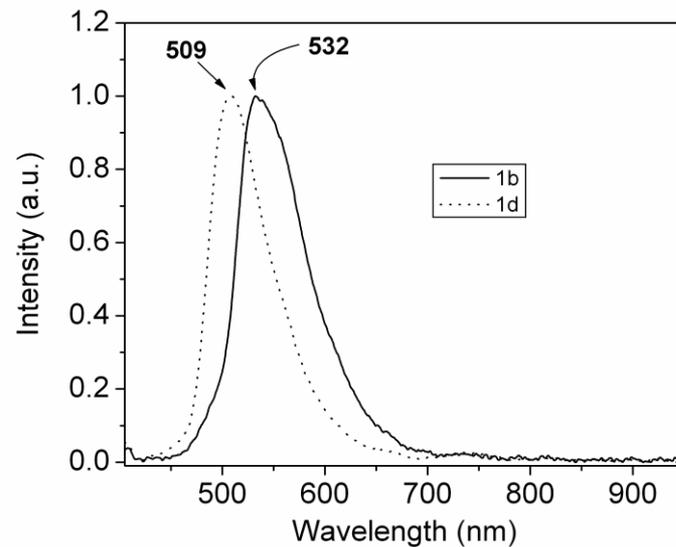
CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN OPTICA, A.C.



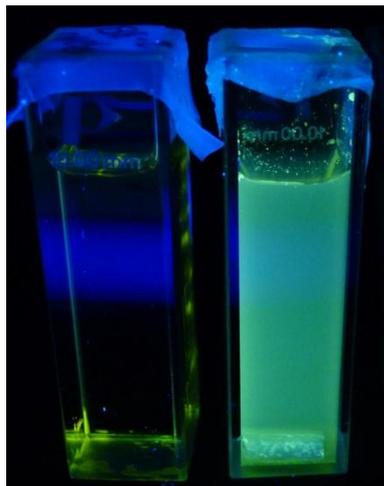
**Boronatos**

	R <sup>1</sup>	R <sup>2</sup>
<b>1a</b>	H	H
<b>1b</b>	Cl	H
<b>1c</b>	Me	H
<b>1d</b>	NO <sub>2</sub>	H
<b>1e</b>	H	NO <sub>2</sub>

**1a-1e**



Fotoluminiscencia de **1b** en  
solucion de THF/ cloroformo



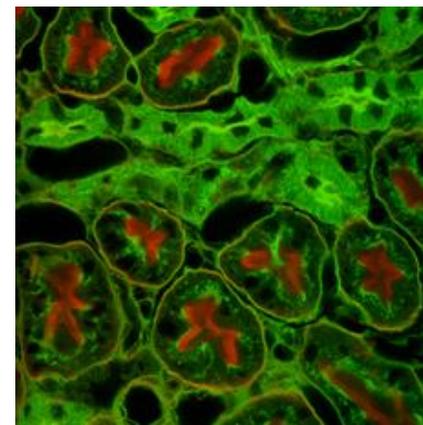
Fotoluminiscencia de una solución  
Acuosa de nanocristales de **1b**.

Fluorescencia obtenida bajo iluminación UV.

Dyes and Pigments. **87**, 76 (2010).

# Moléculas orgánicas como marcadores celulares

Permiten el estudio de  
la estructura, función  
y dinámica celular

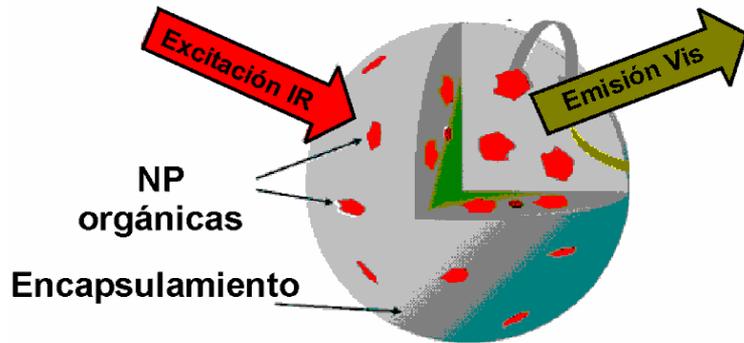


Células de riñón de ratón

## Requerimientos de un marcador para microscopia multifotón

- Alta eficiencia cuántica de fluorescencia
- Absorción bifotónica grande en 600-900 nm
- Fotoestabilidad
- Baja citotoxicidad
- Selectividad celular

# Nanopartículas de sílice dopadas con orgánicos

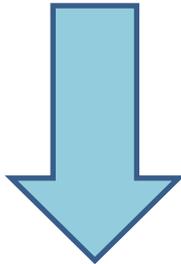


**Aplicaciones biomédicas:  
marcadores multifotónicos,  
sensores, terapia fotodinámica,  
etc.**

- Excelente estrategia para introducir moléculas orgánicas en medios biológicos
- Encapsulamiento reduce toxicidad
- La sílice es ópticamente transparente
- La superficie de la sílice puede ser funcionalizada con varios grupos químicos, para posteriormente ser conjugada con biomoléculas

**Funcionalización**

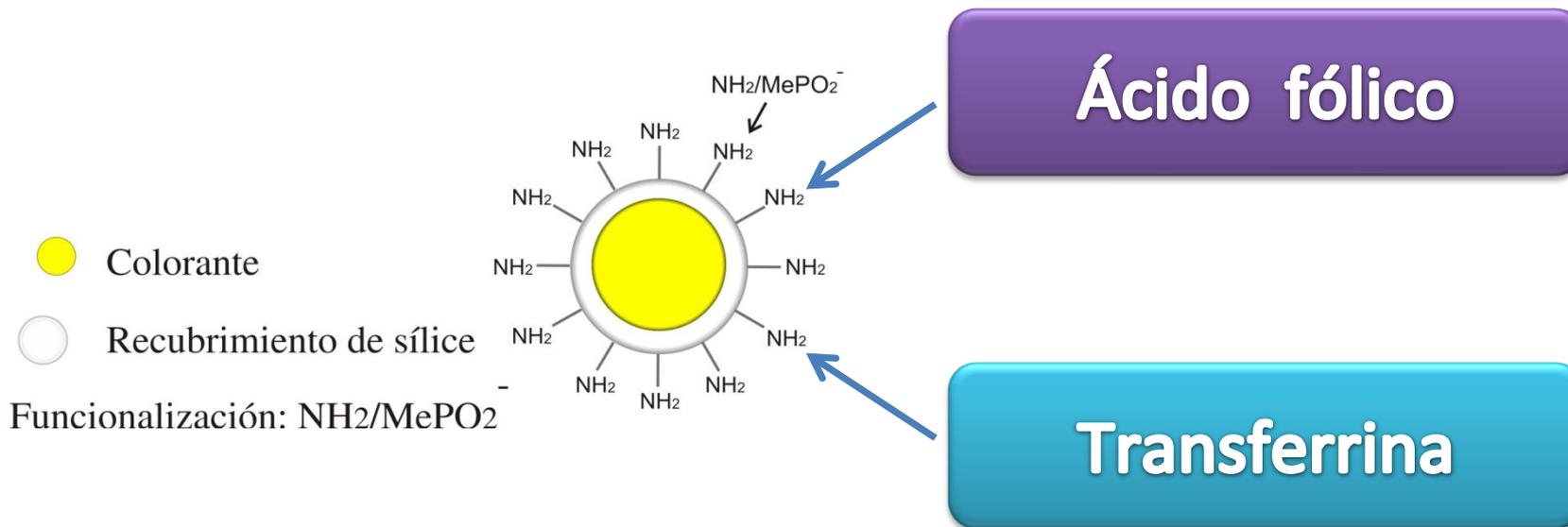
Es la adición de grupos funcionales en la superficie de un material para proporcionar sitios de reacción para la bioconjugación.



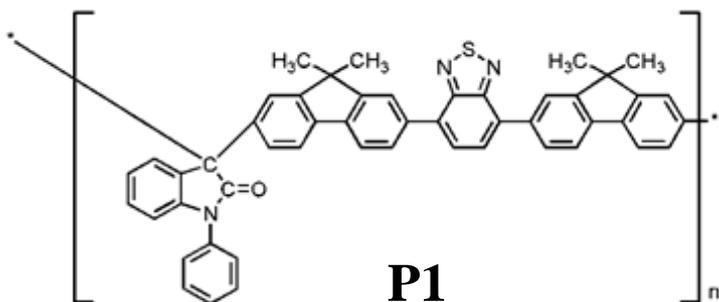
**Bioconjugación**

Unión covalente o electrostática con otras moléculas, proteínas, anticuerpos, ADN y otros compuestos de interés con el fin de obtener la selectividad hacia la línea o componente celular.

## Biomateriales utilizados para proporcionar selectividad a las SNPs

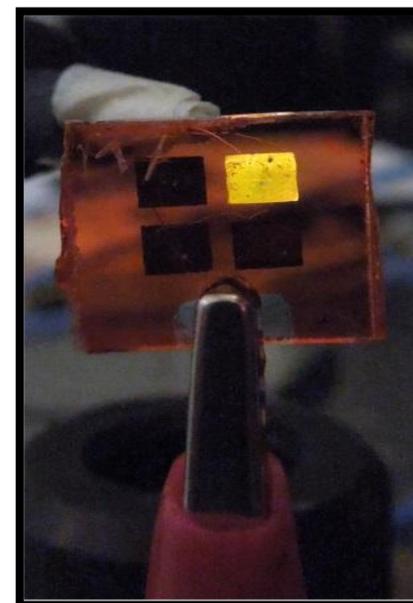
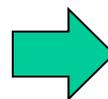


# Polymer based in fluorene moieties



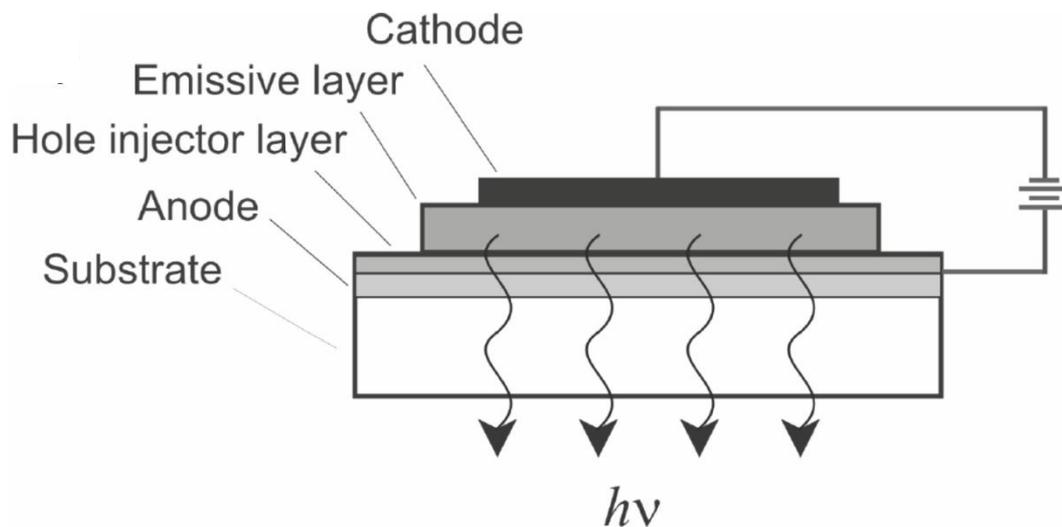
**P1**

P1



**OLED**

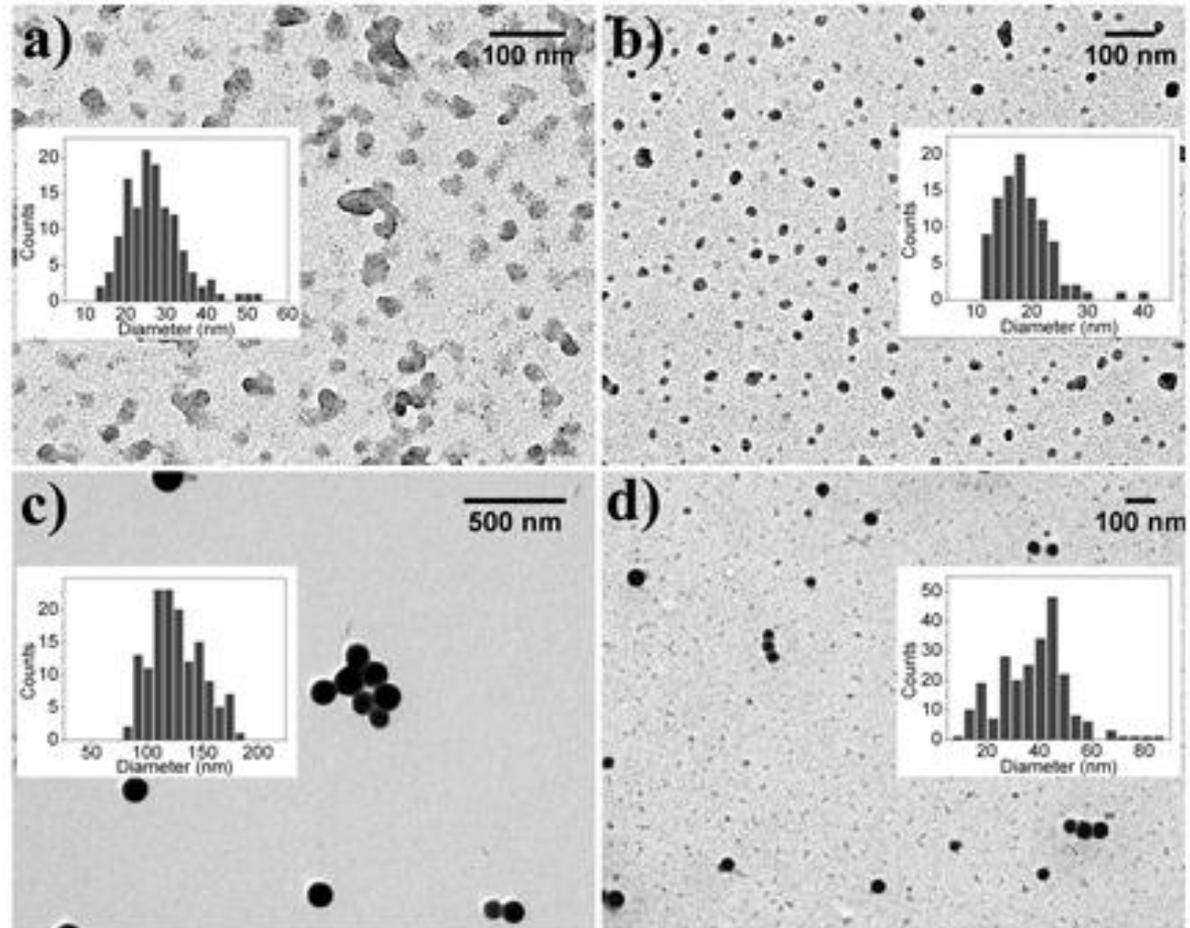
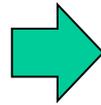
(Emision en estado solido)



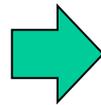
$$\phi_F > 0.9$$

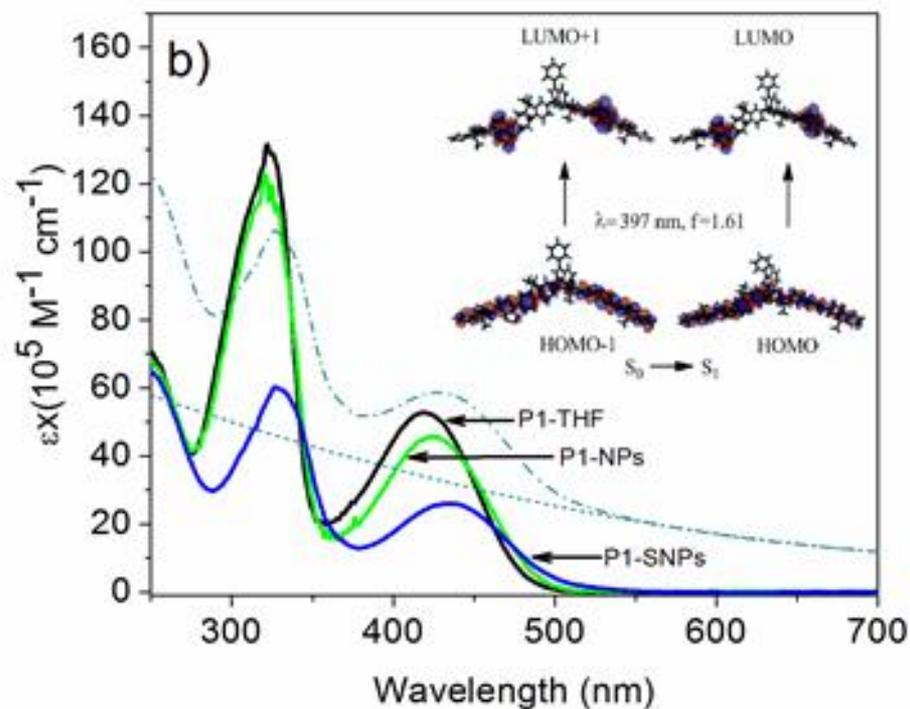
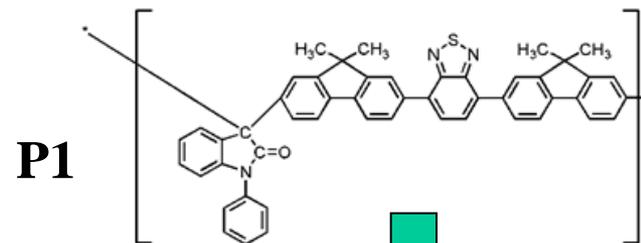
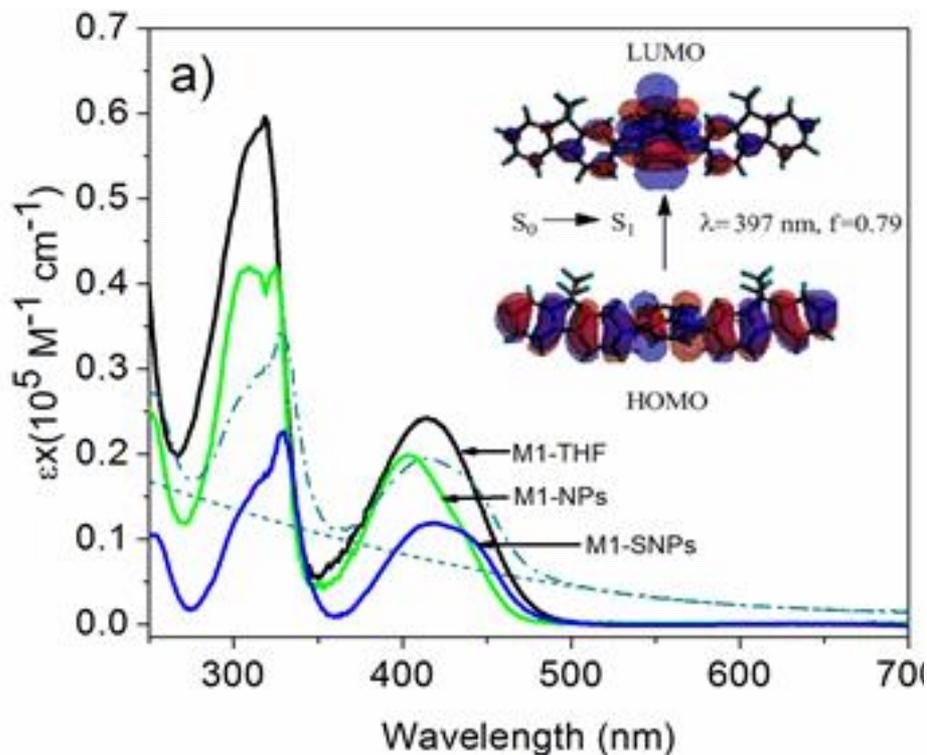
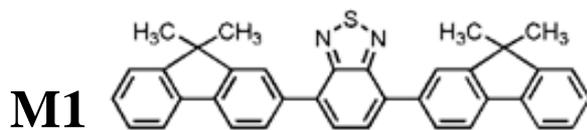


NPs de P1



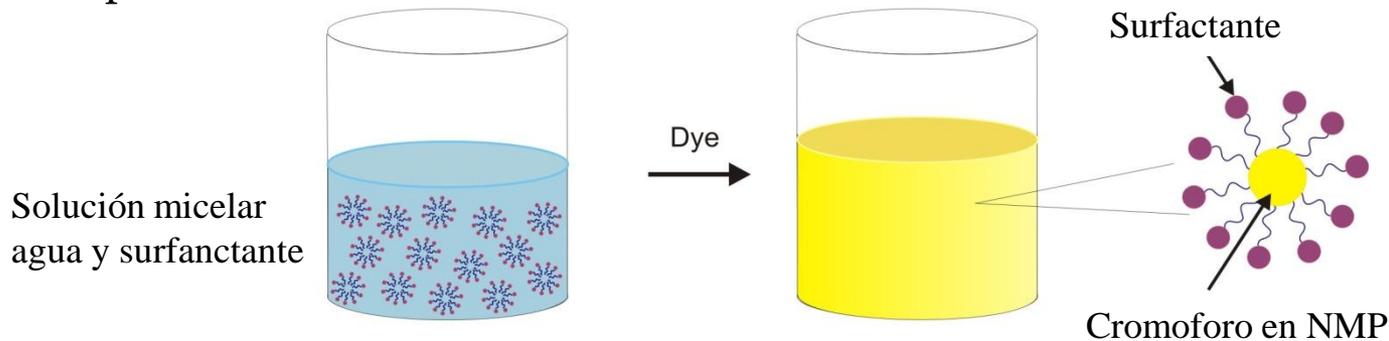
NPs de sílice  
dopadas con P1



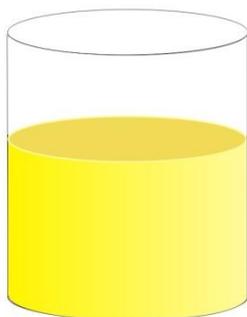


# Fabricación de NPs de sílice dopadas

Las NPs de sílice dopadas (FSNPs) son químicamente sintetizadas en solución usando precursores de silano. Las moléculas orgánicas son atrapadas en la NPs durante el proceso de síntesis

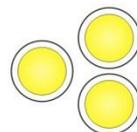


VTES, APTES

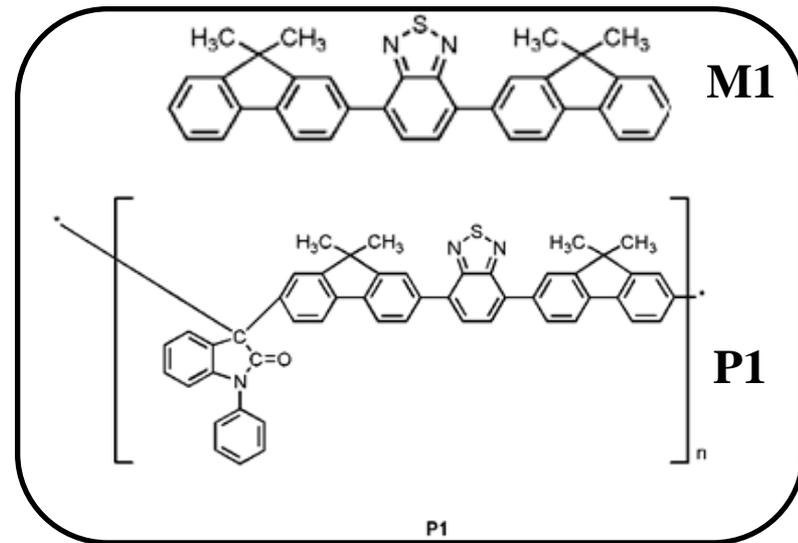


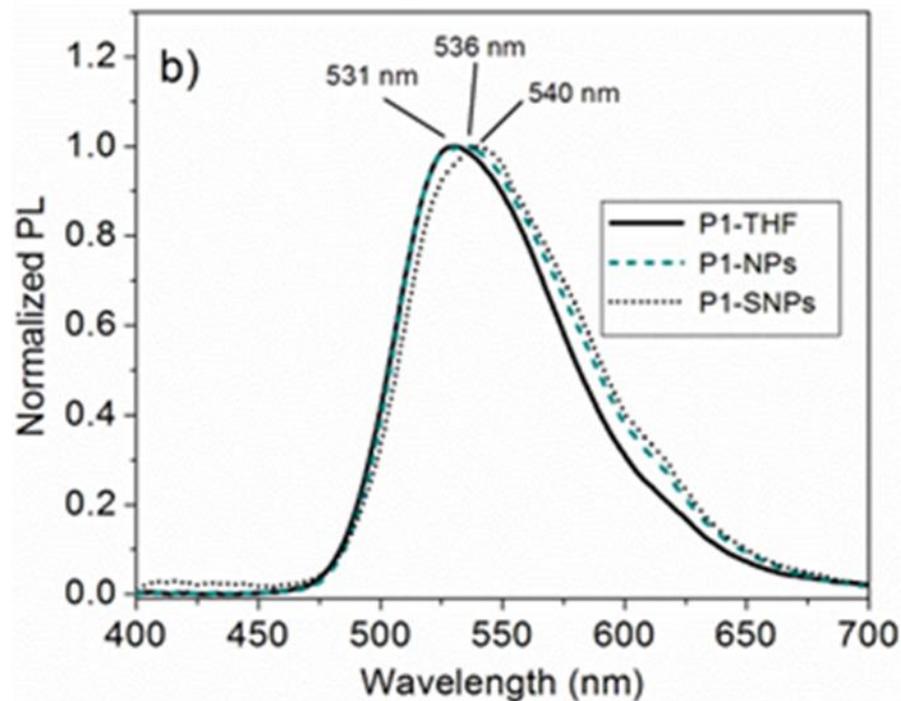
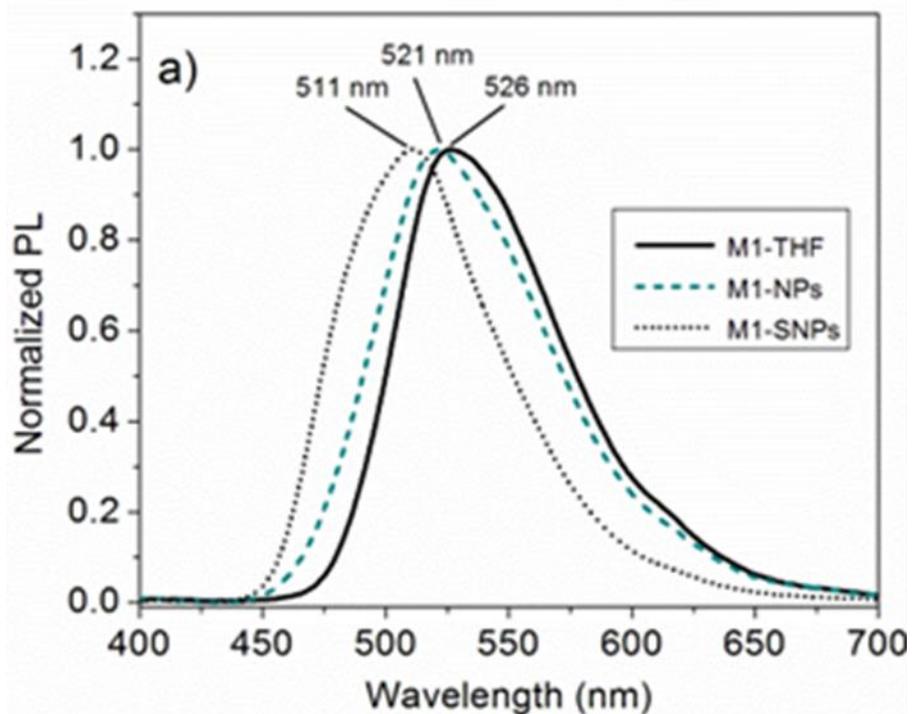
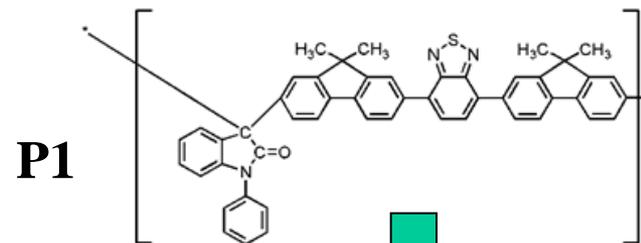
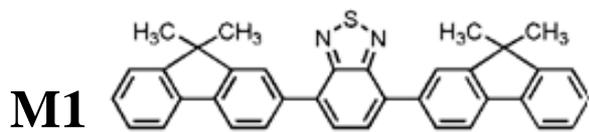
Dialisis

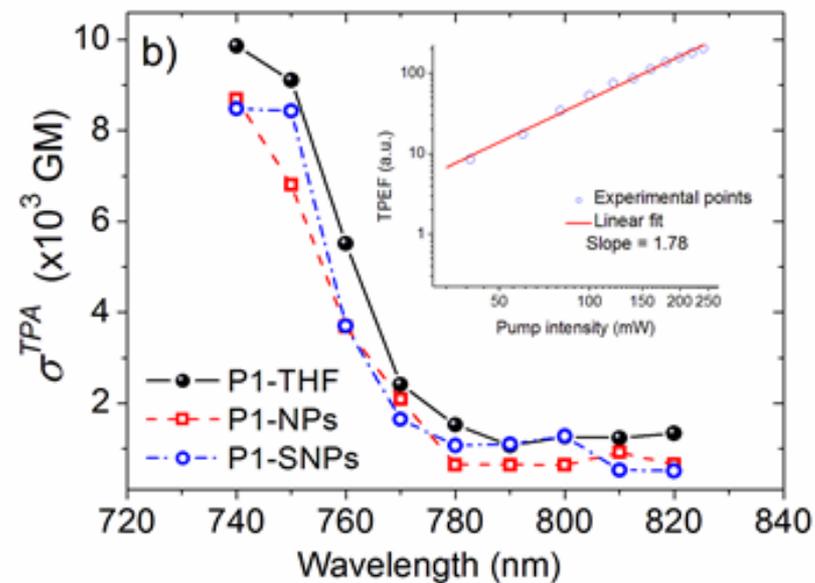
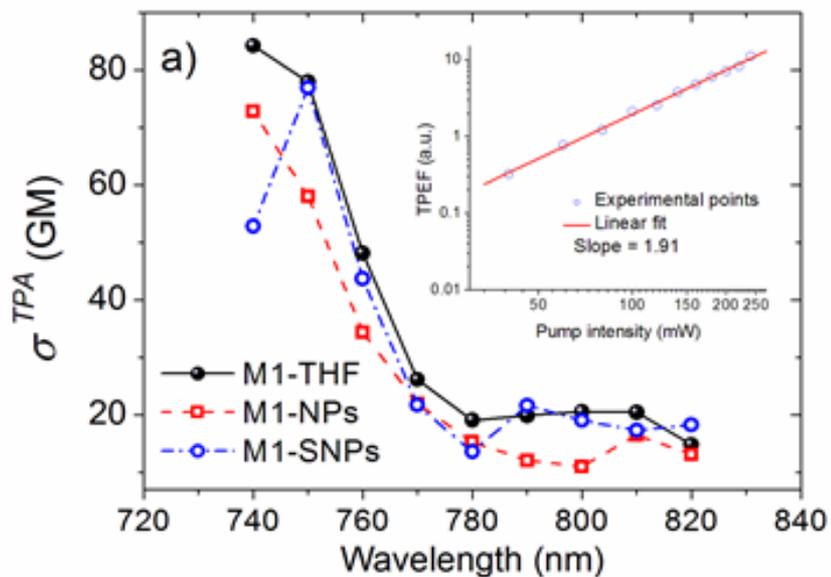
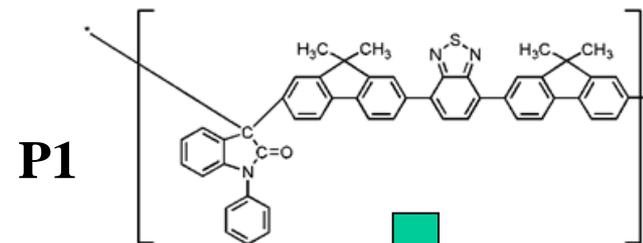
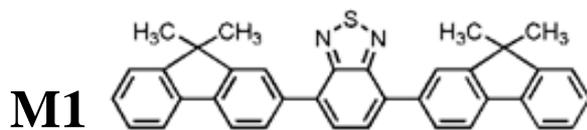
FSNPs

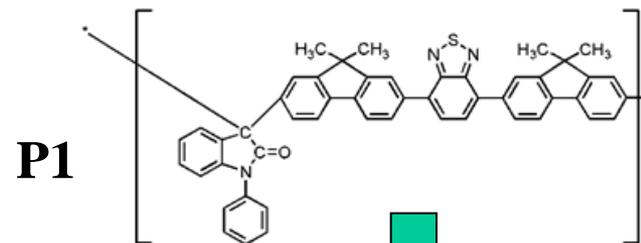
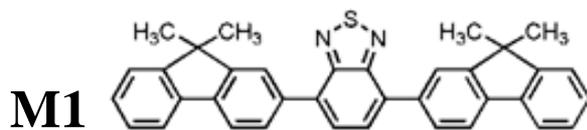


*N*-Methyl-2-pyrrolidinone (NMP)  
Triethoxyvinylsilane (VTES)  
(3-aminopropyl)triethoxysilane (APTES)



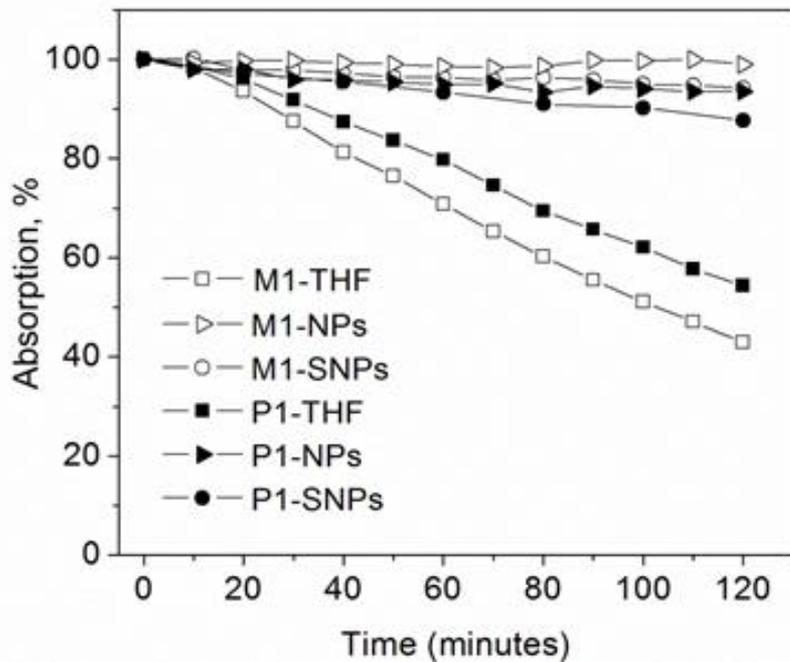




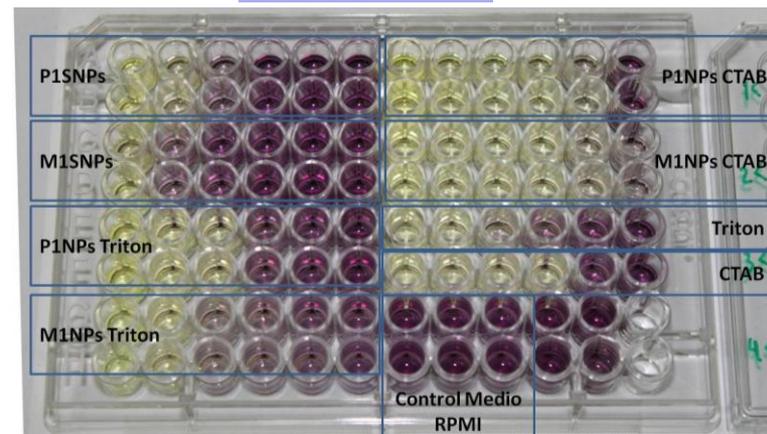


Muestra	Abs $\lambda_{\max}$ (nm)	Fluorescencia $\lambda_{\max}$ (nm)	$\phi$	$\sigma^{\text{TPA}}(\text{max})$ (GM)
M1-THF	415	526	~ 1	84
M1-NPs	404	521	~ 1	72
M1-SNPs	415	511	0.7	76
P1-THF	419	531	~ 1	9860
P1-NPs	423	536	0.95	8481
P1-SNPs	435	540	0.75	8686

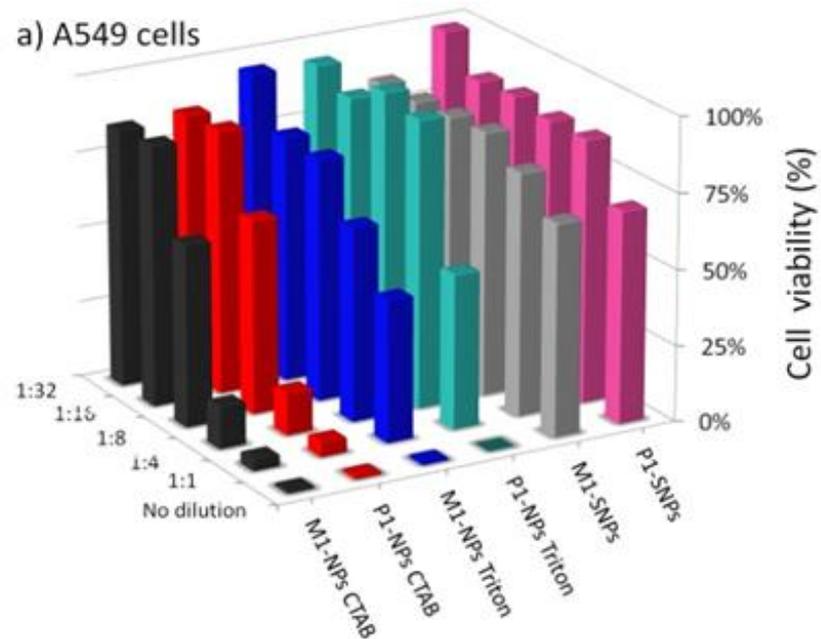
## Fotoestabilidad



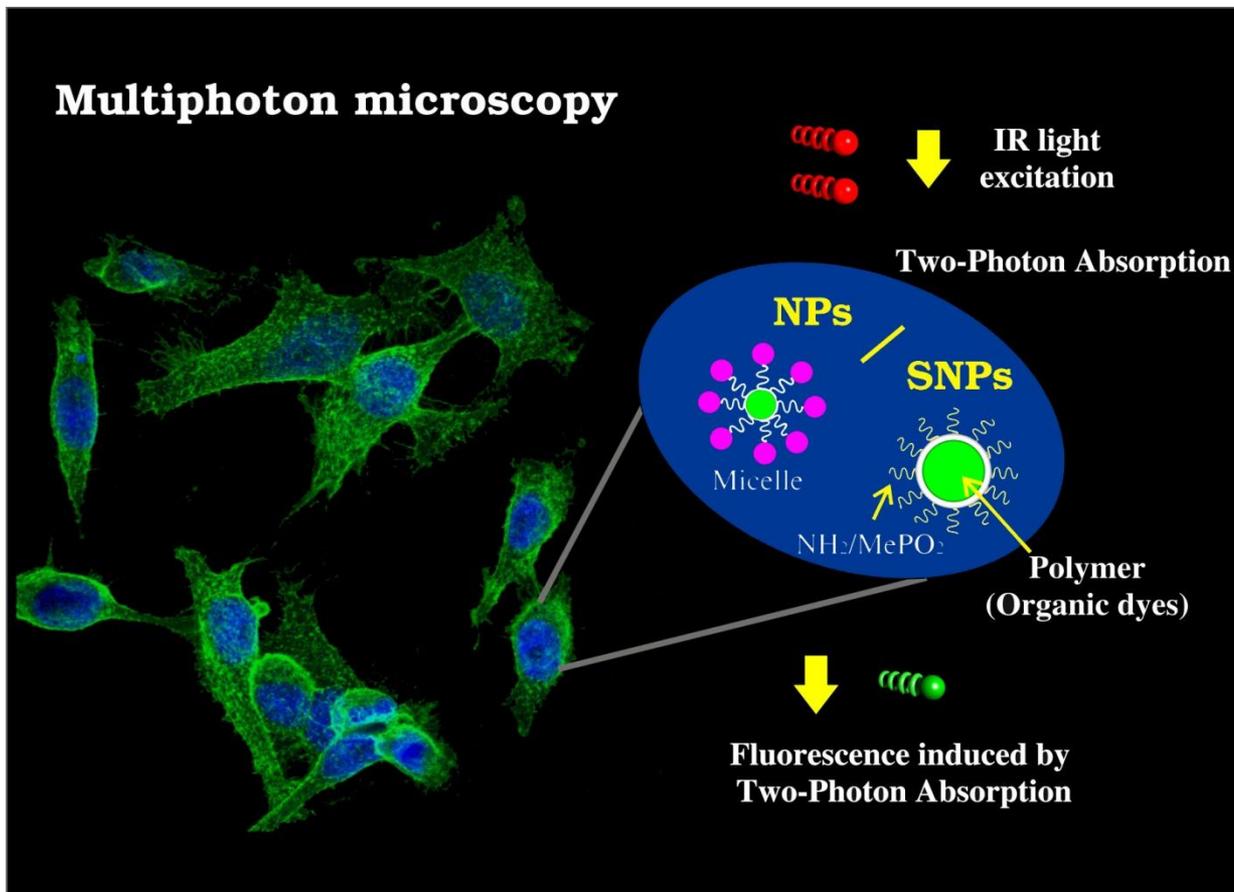
## Toxicidad



a) A549 cells



# Imagen con excitación de dos fotones de células HeLa



Probamos que es posible  
encapsular polimeros  
bifotonicos en NPs de  
silice



*“Two-photon excited fluorescence of silica nanoparticles loaded with a fluorene-based monomer and its crossconjugated polymer: their application to cell imaging”*, Laura Aparicio-Ixta, Gabriel Ramos-Ortiz, et al. *Nanoscale*, **4**, 7751 (2012).



CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN OPTICA, A.C.

# Conclusiones



# Conclusiones

- 1.- La electrónica molecular ha permitido obtener nuevos materiales altamente fluorescentes que pueden ser activados con radiación infrarroja**
- 2.- Estos materiales pueden ser usados para producir suspensiones acuosas de nanopartículas (diámetro  $\ll 100$  nm) que conservan las propiedades ópticas de la solución molecular**
- 3.- Estas nanopartículas son de interés biomédico, en particular como agentes de contraste para la obtención de bioimágenes, diagnóstico y terapia de algunas enfermedades**
- 3.- Demostramos que es posible encapsular un polímero en una NPs de sílice con propiedades de:**
  - Gran actividad óptica (fluorescencia y absorción de dos fotones)**
  - Fotoestable**
  - Baja toxicidad**
  - Excelente marcador celular**
  - Estudios de selectividad en proceso*

# Agradecimientos

## **Centro de Investigaciones en Óptica (CIO)**

(Grupo de propiedades ópticas de la Materia)

- M.C. Laura Aparicio Ixta
- Dr. Mario Rodriguez
- Dr. Juan Luis Pichardo
- Dr. Jose Luis Maldonado Rivera
- Dr. Antonio Meneses
- Dr. Oracio Barbosa

## **The Hong Kong University of Science & Technology**

(Chemistry Department)

- Prof. Ben Zhong Tang

## **Zhejiang University and Institute of Chemistry (China)**

- Dr. Ping Lu, Dr. Andong Xia

## **UNAM**

- Dr. Mikhail Zolotukhin
- Dr. Norberto Farfán

## **CINVESTAV**

- Dr. Daniel Martinez Fong
- Dr. Rosa Santillán



\$\$\$\$\$

- **CONACYT (CB, Problemas nacionales, infraestructura), SENER, etc**

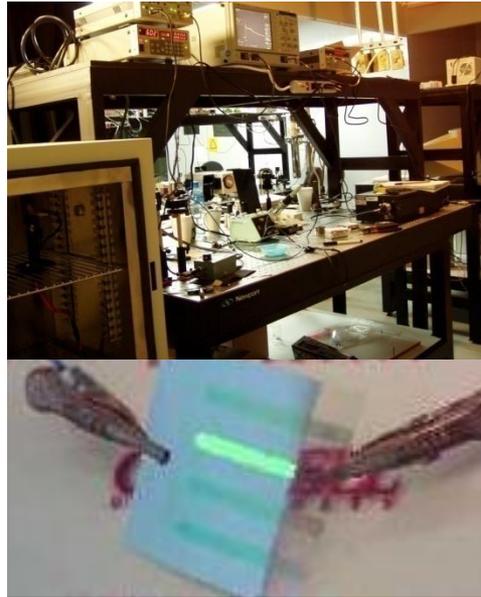
**GPOM: ha participado en la obtención de aproximadamente 30 millones en los últimos 5 años**

# Laboratorios de Espectroscopía y Materiales

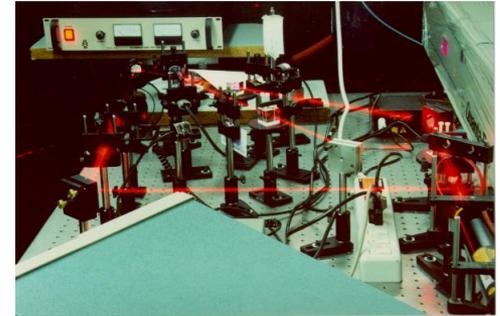
## Preparación de muestras



## Técnicas espectroscópicas



## Arreglos ópticos

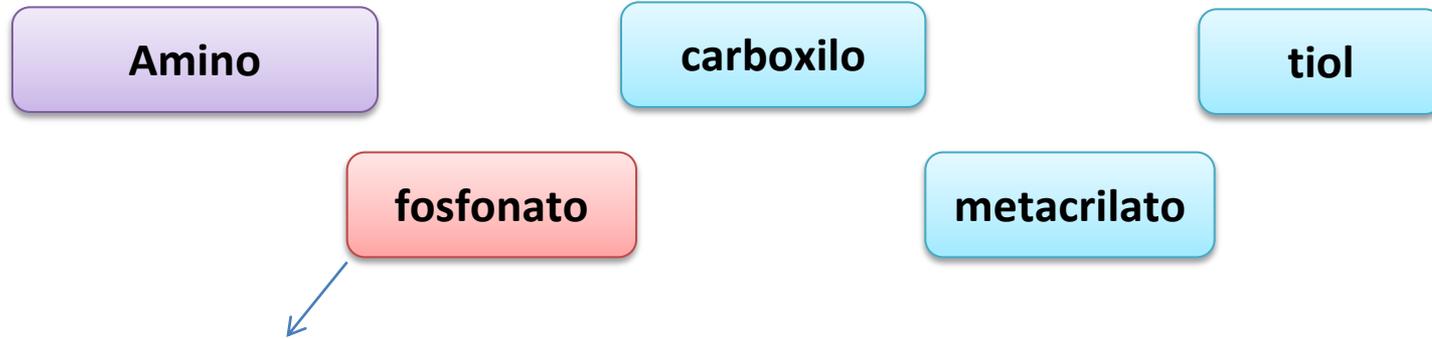


## Caracterización óptica



**Tesistas son bienvenidos!!!!!!!!!!**

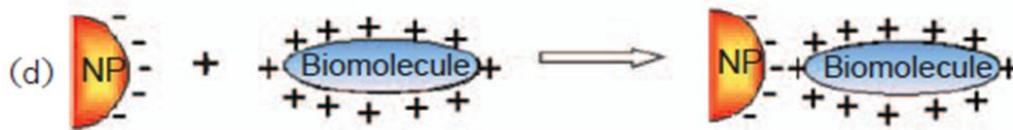
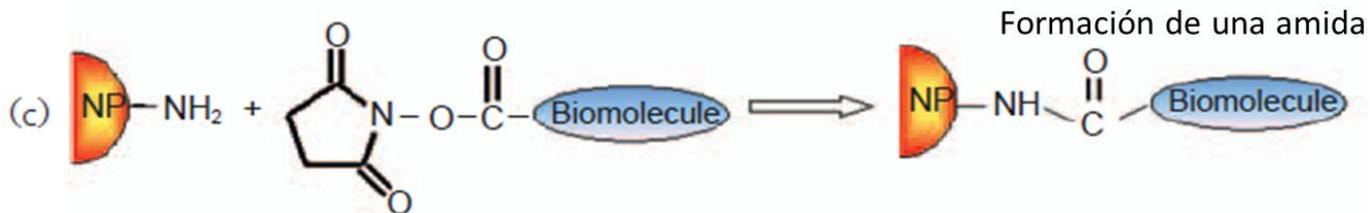
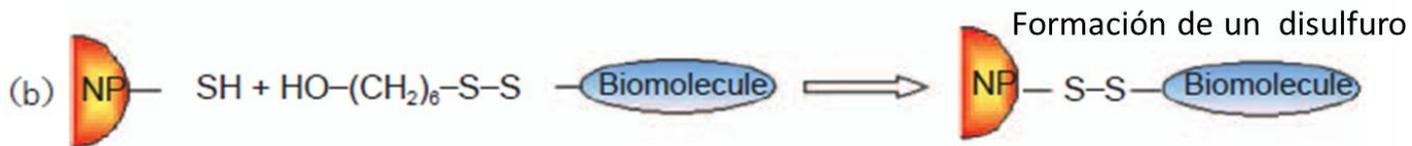
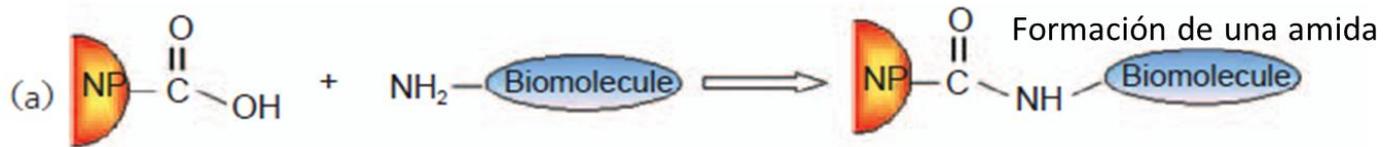
Grupos funcionales presentes en los reactivos de silicio y que ayudan a la funcionalización de las SNPs



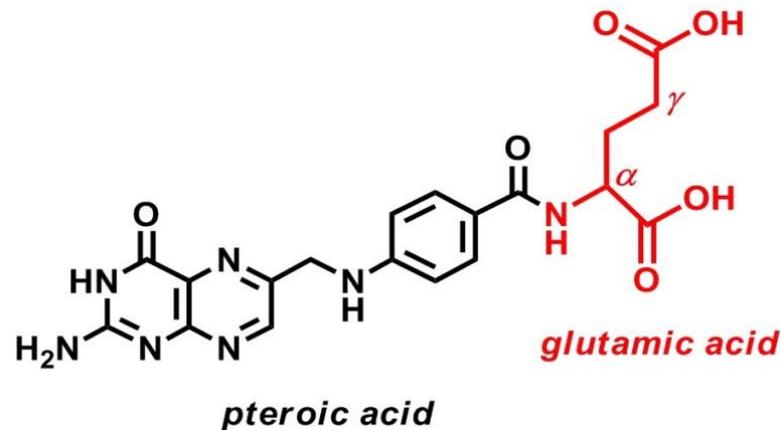
Introducen cargas negativas incrementándose así las fuerzas repulsivas entre las NPs en suspensión para obtener mayor estabilidad.

**El polyethylene glycol (PEG)** puede introducirse en la superficie de la NP para reducir la unión no específica mediante la inhibición de la adsorción de biomoléculas cargadas no deseadas.

Esquema representativo del acoplamiento de las biomoléculas sobre la superficie de las nanopartículas de sílice dopadas

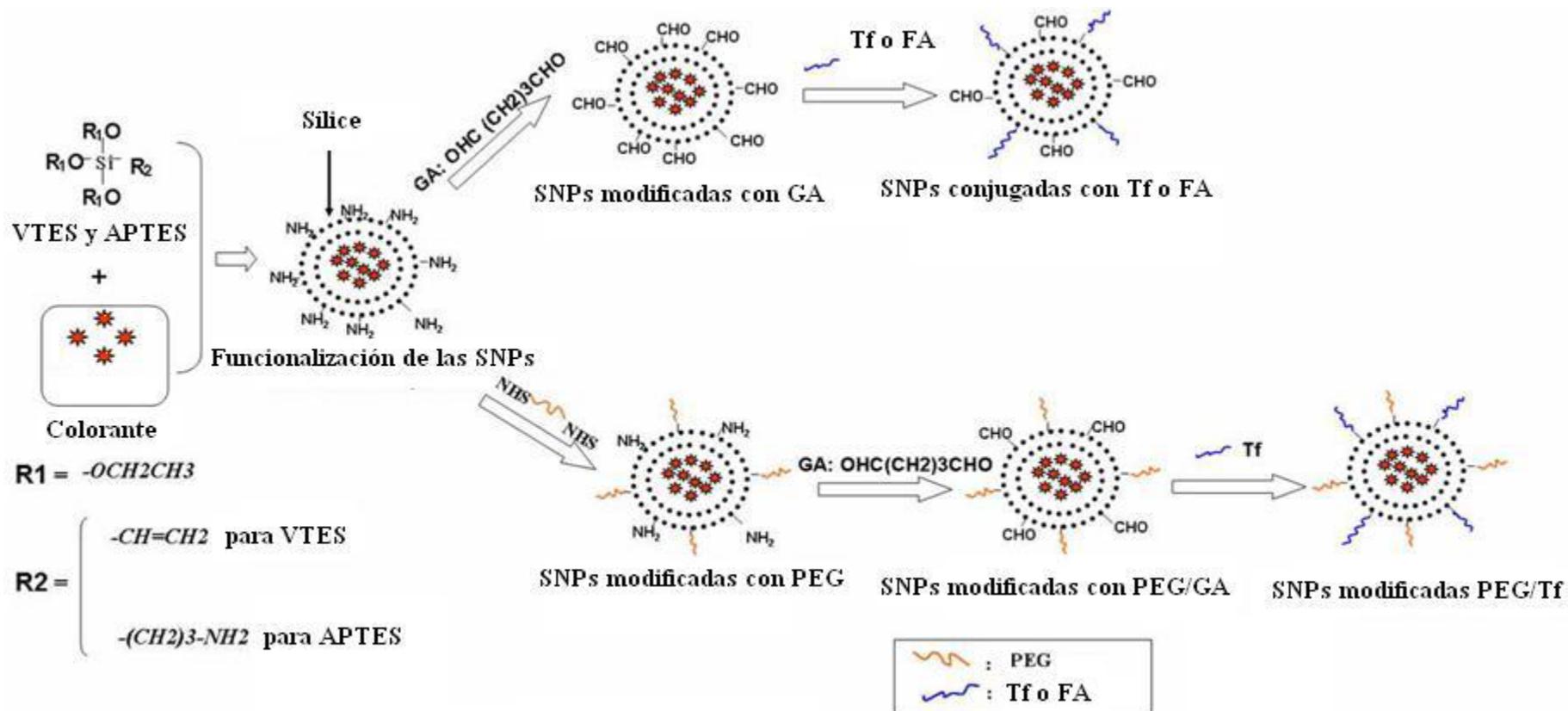


Es una vitamina (B9) y la forma bioactiva es el compuesto oxidado conocido como 5,6,7,8-tetrahidrofolato (THF). El THF y FA son indispensables para el desarrollo y el crecimiento de las células.

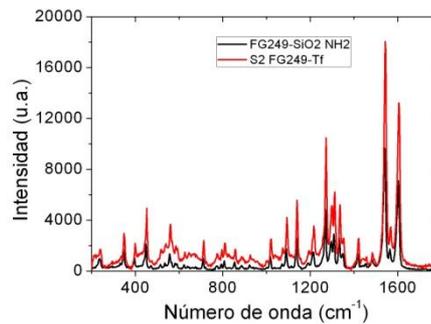


El FR se encuentra sobreexpresado en varios tipos de células humanas de cáncer epitelial, tales como tumores de ovario, de colon, de mama, etc. Como resultado, el ácido fólico o derivados de ácido pterico son tomados por las células malignas a través del FR. Por lo tanto, *el ácido fólico o compuestos pteroil son candidatos muy prometedores como marcadores de células cancerosas.*

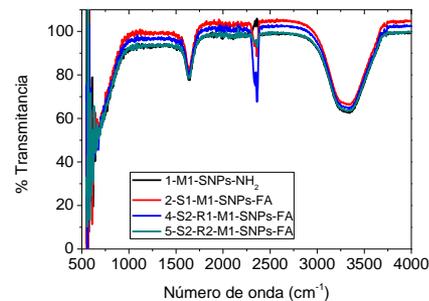
# Esquemas de síntesis para bioconjugación



- Espectroscopia Raman



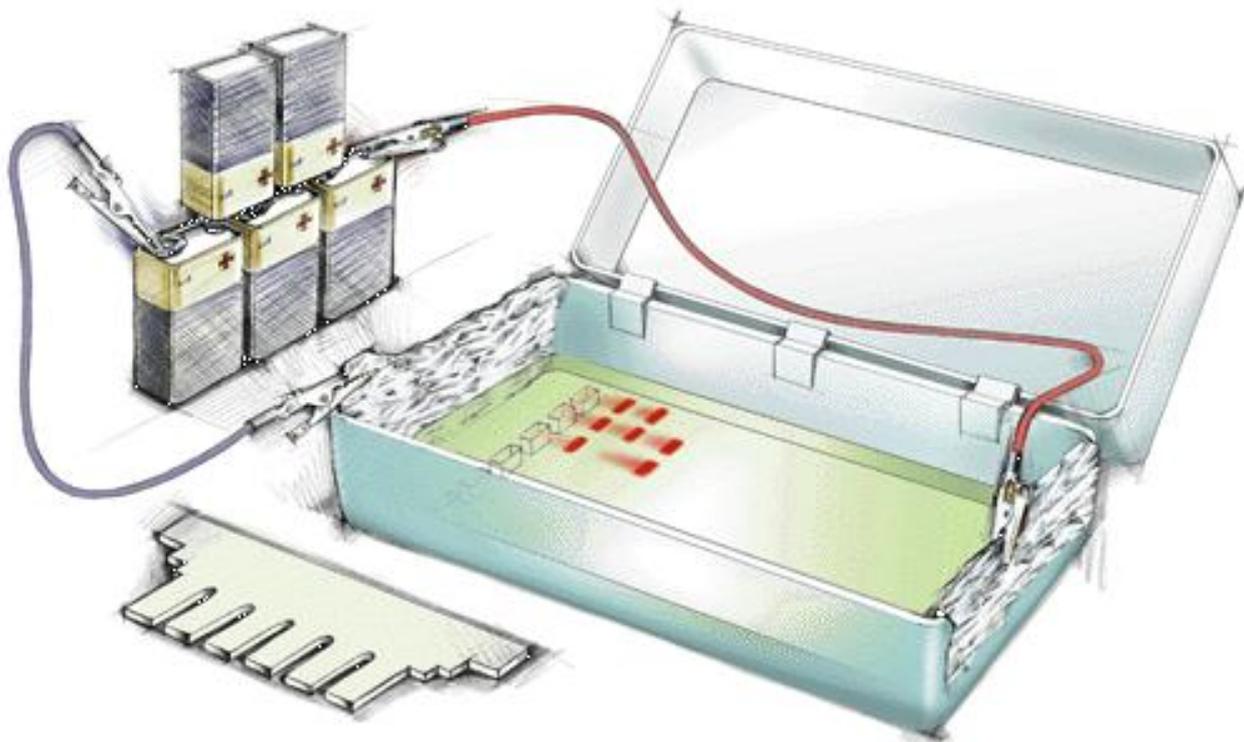
- Espectroscopia IR



- Electroforesis

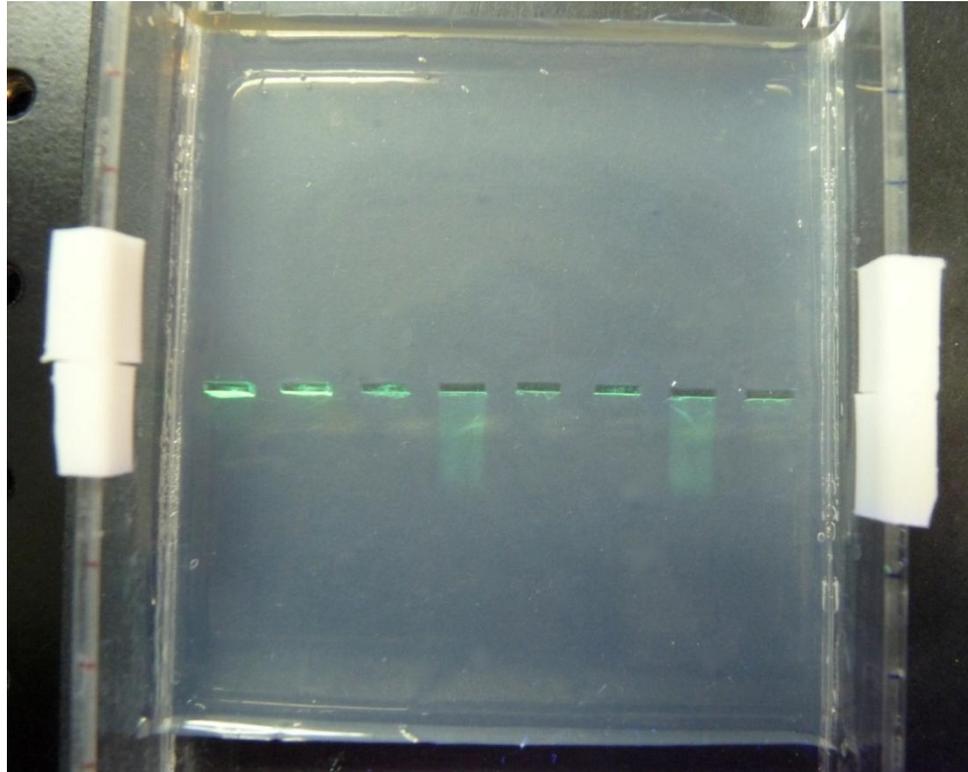


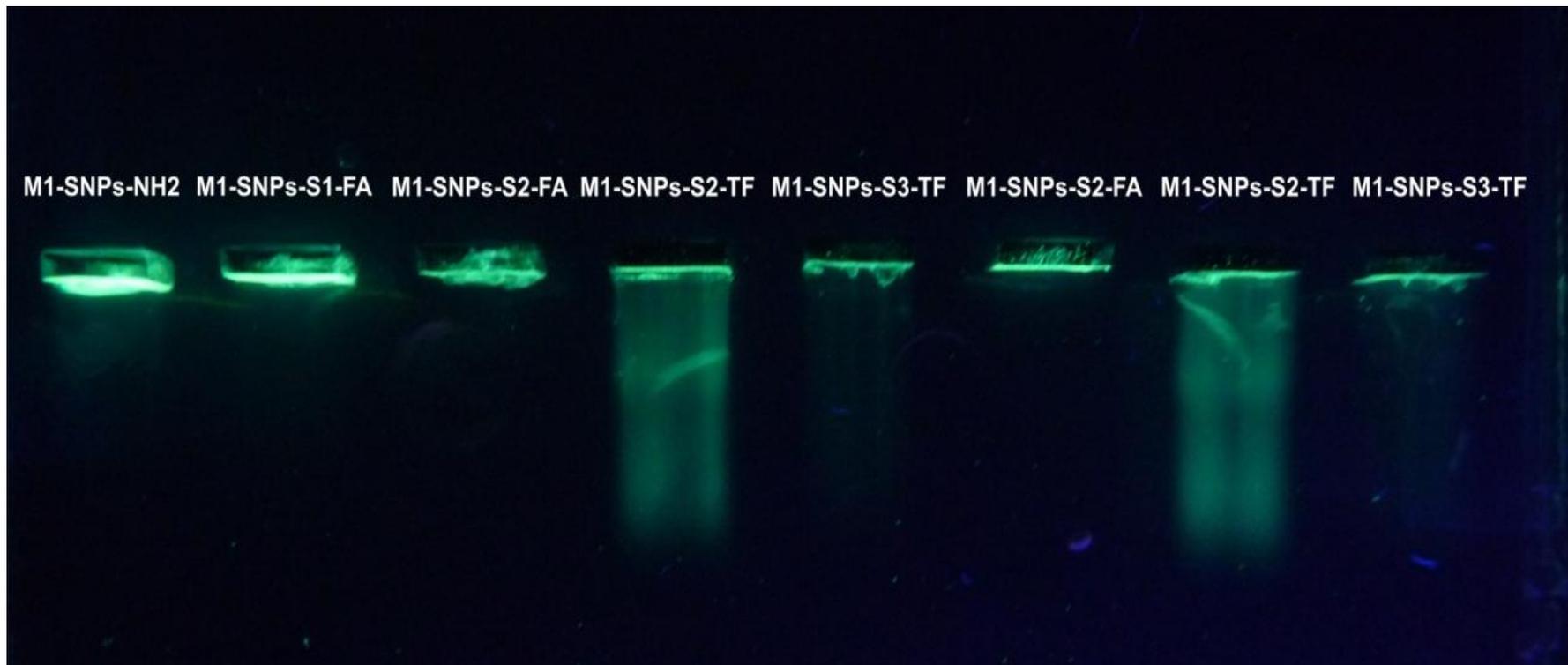
Método utilizado para separar biomoléculas según su tamaño y carga eléctrica a través de una matriz gelatinosa en presencia de un campo eléctrico.



Cuando las suspensiones de FSNPs son colocadas en los pozos formados en el gel y al aplicar un campo eléctrico, las FSNPs experimentan una fuerza de atracción hacia el polo que posee carga opuesta.

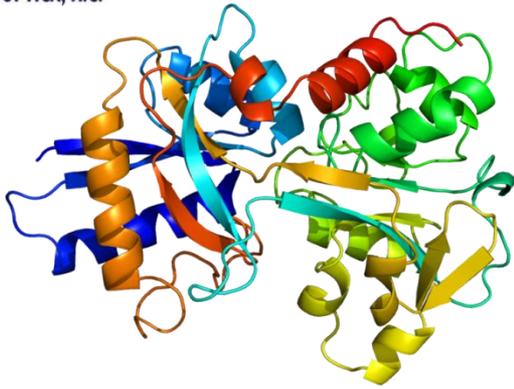
# Electroforesis





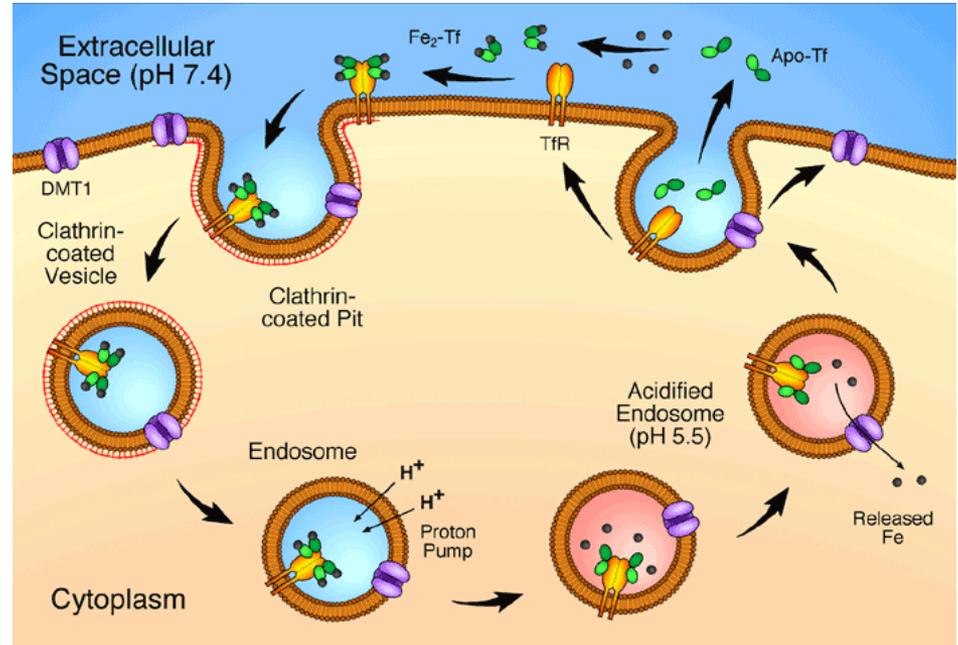
Se observan algunos corrimientos solo de las FSNPs funcionalizadas con transferrin mediante la síntesis de la Ruta 2 y en menor proporción para la síntesis de la Ruta 3.

# Transferrina



La transferrina es una glucoproteína (~ 80 000 daltons) formada por una cadena de polipéptidos que tiene dos sitios de unión para el átomo de hierro.

Esta proteína se encarga de captar el hierro de la dieta para transportarlo por la sangre a donde sea necesario.



- Sirve como acarreador por el mecanismo de endocitosis mediante su conexión a receptores.
- También sirve para evaluar el estado nutricional del paciente (respecto a las proteínas) y la capacidad del hígado de producción de proteínas. En casos de déficit de hierro, la concentración de transferrina aumenta.