

PLASMAS a baja temperatura

Ramón J. Peláez

Dept. de Física Molecular

ramon.pelaez@csic.es



23 Marzo 2023
XIX Curso de Iniciación
a la Investigación IEM-CSIC

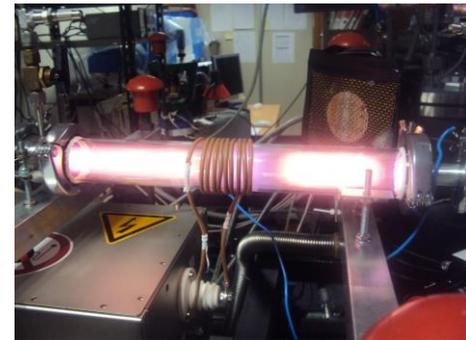
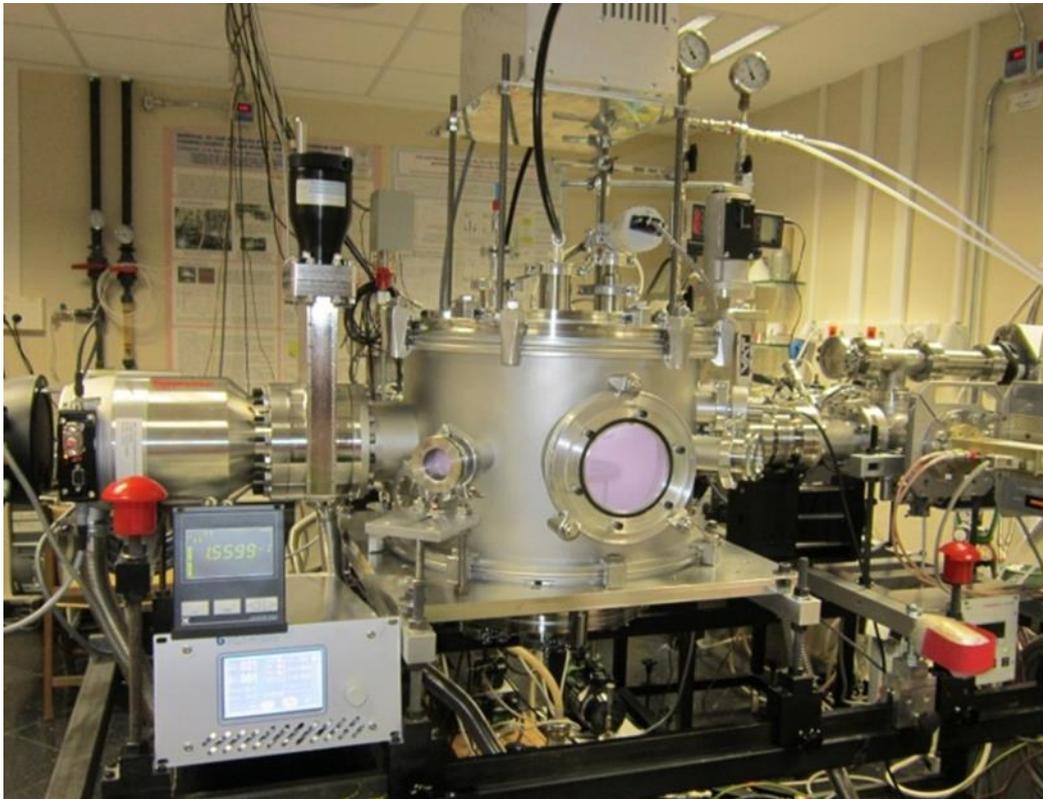
Departamento de Física Molecular

• Grupo de Física Molecular de Sistemas Atmosféricos y Astrofísicos y Plasmas:

• Laboratorio de Plasmas

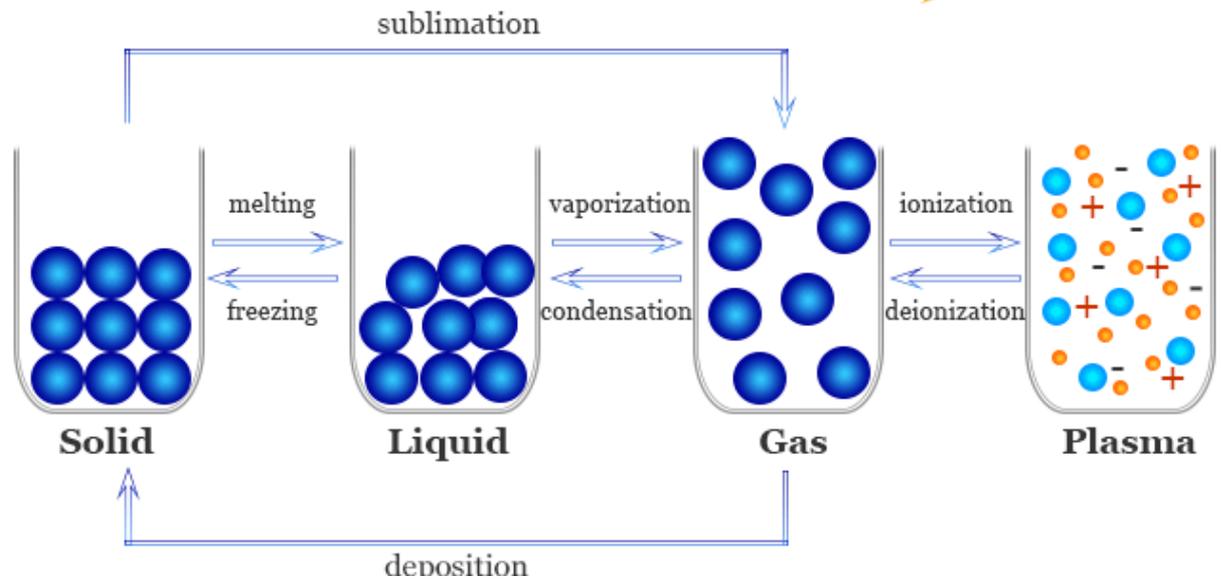
• *Isabel Tanarro (Investigadora Científica)*

• *Victor J. Herrero (Profesor de Investigación)*

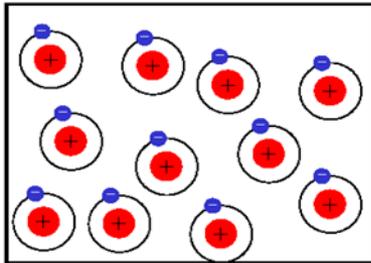


¿Qué es un plasma?

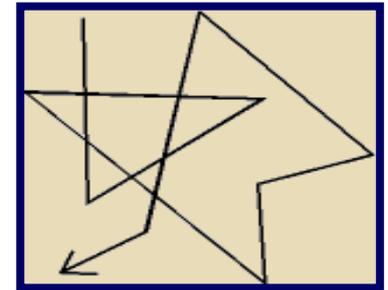
- Estados de agregación



- Gas

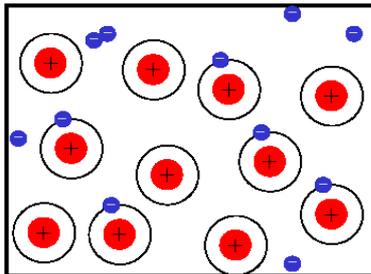


Aislantes

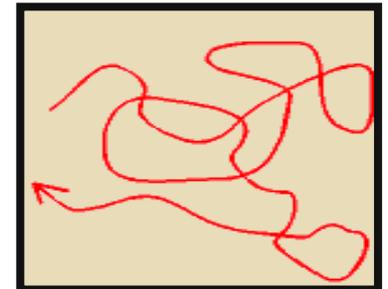


Movimiento Individual

- Plasma

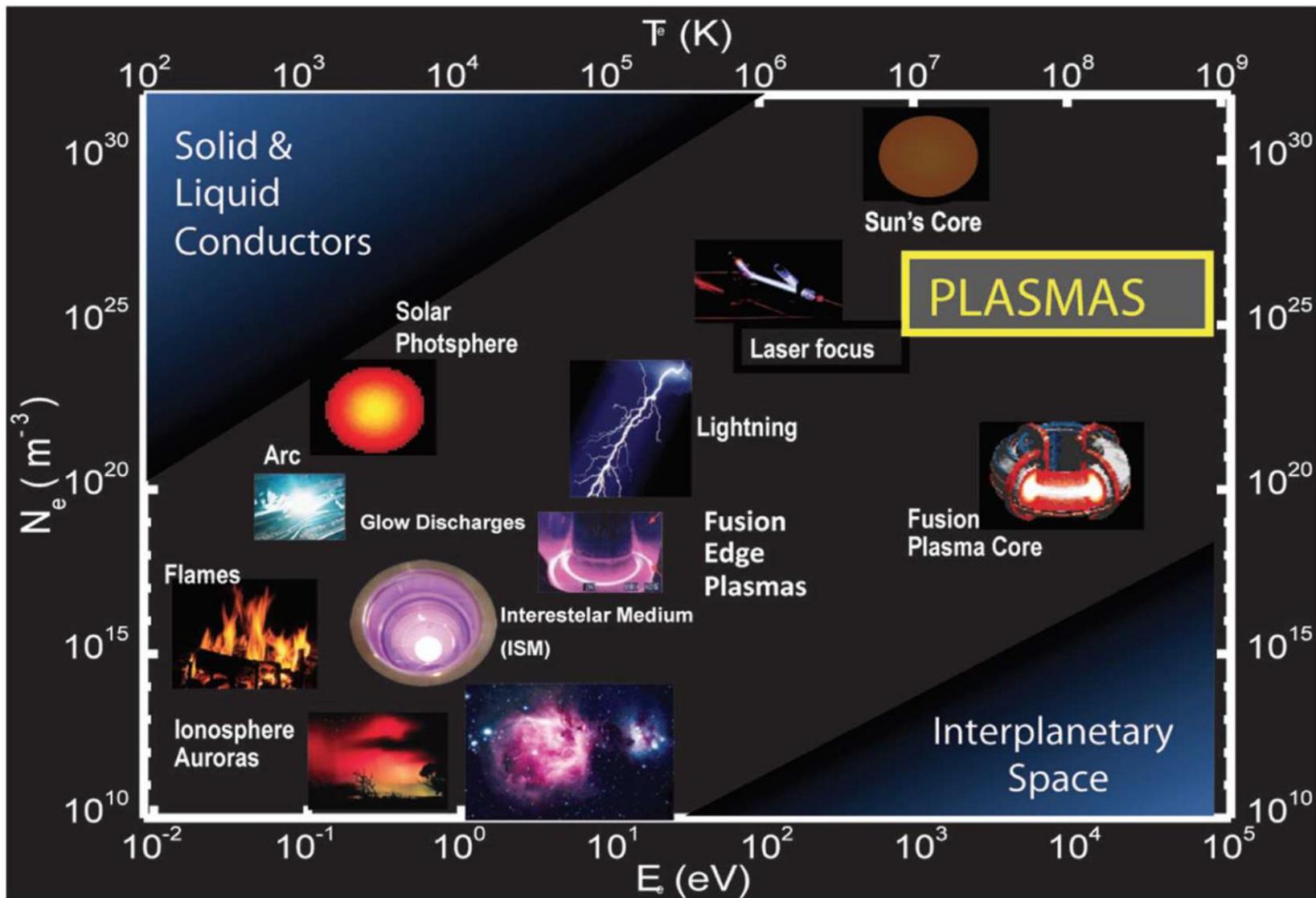


Conductores



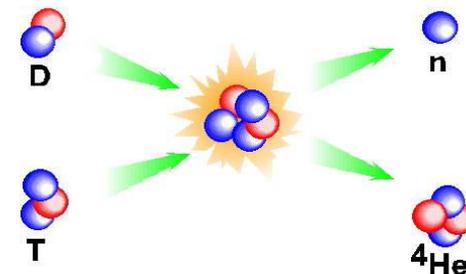
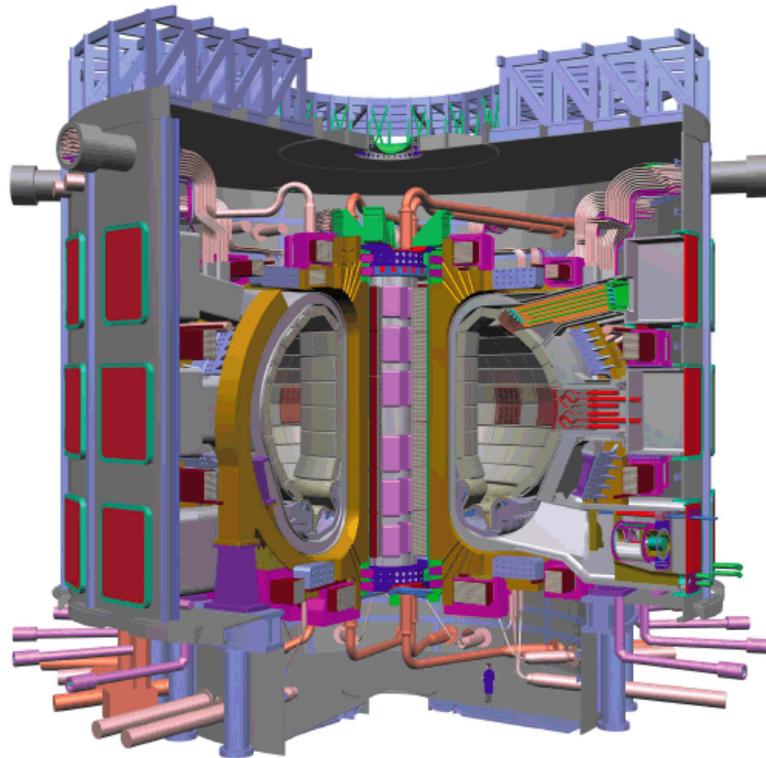
Comportamiento Colectivo

Clasificación de los Plasmas



Plasmas calientes, ET

- Las diferentes funciones de distribución están parametrizadas con una misma temperatura.
- Ejemplo 'extremo' en la tierra: ITER, ¿la "futura" fuente energética ?



$$T_{\text{plasma}} \sim 10^8 \text{ K !}$$

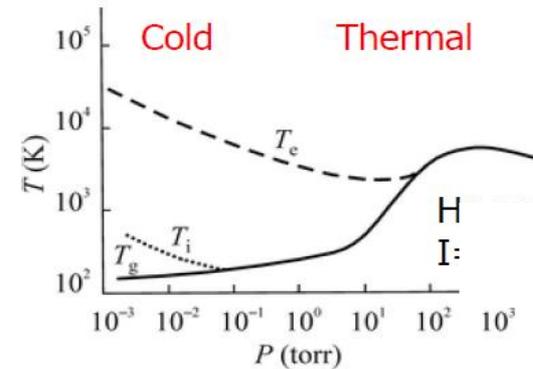
Figure 1.14 – Schéma en coupe d'ITER (Source : ITER Organization)

Plasmas Fríos

- Suelen ser generados con descargas eléctricas a baja presión.
- Grado de ionización muy bajo ($N_e/N_{\text{gas}} \sim 10^{-3} - 10^{-6}$)
- Los electrones se aceleran eficazmente en el campo eléctrico ($\Rightarrow T_e \sim 30000 \text{ K}$) pero ceden poca energía por choques elásticos a las partículas más pesadas ($\Rightarrow T_{\text{gas}} \sim 300 \text{ K}$).



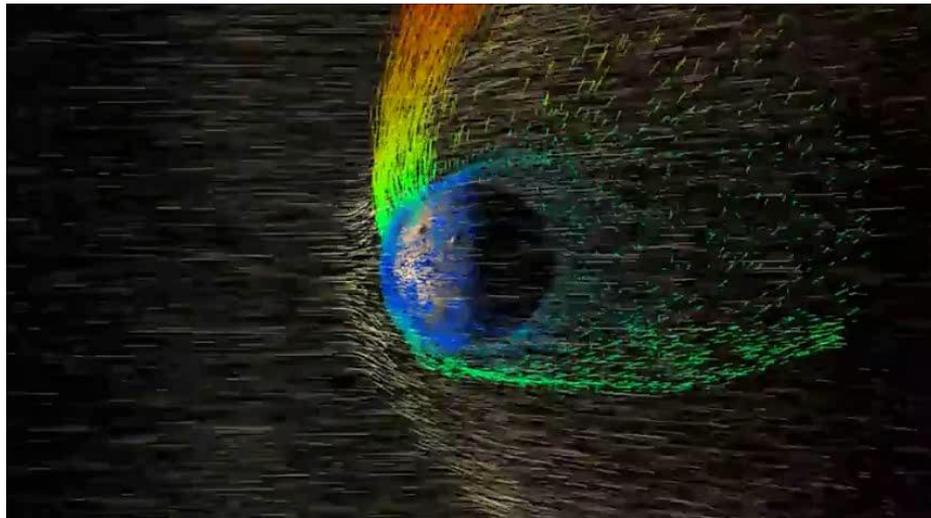
- Es un sistema muy alejado del equilibrio termodinámico.



La Ionosfera

- La Magnetosfera nos protegé del viento solar

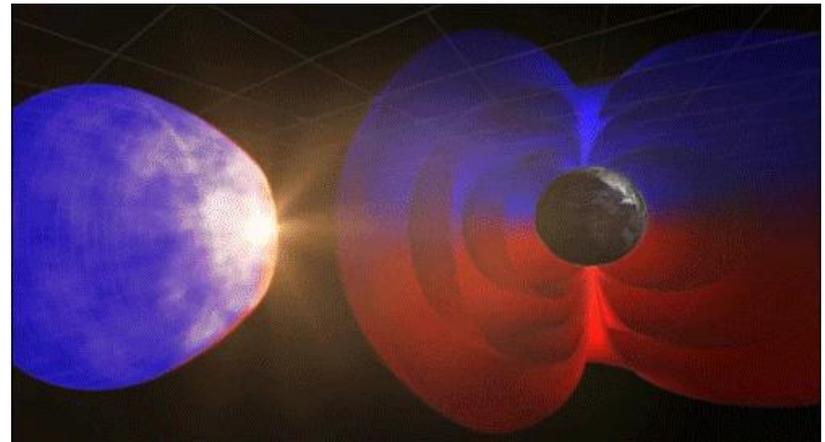
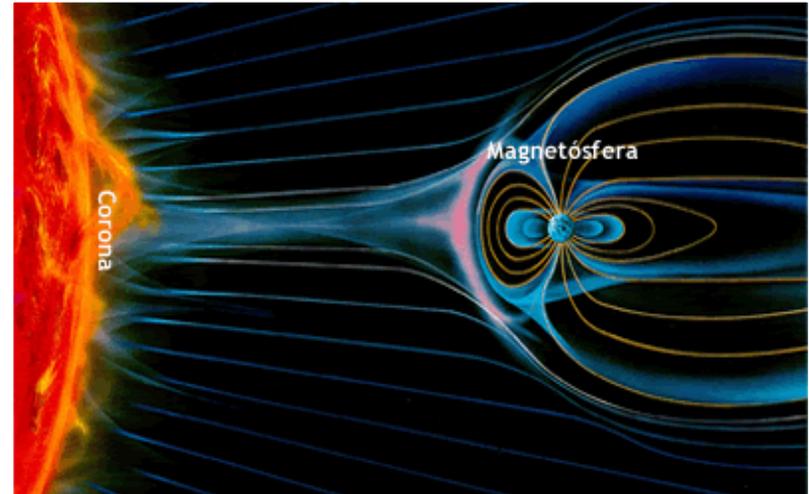
MARTE



Simulación de la pérdida de atmósfera marciana por viento solar

https://www.nasa.gov/mission_pages/maven/main/index.html

LA TIERRA



Química en Plasmas Fríos

- Los plasmas fríos son sistemas químicamente muy reactivos.
- Procesos químicos en plasmas fríos:

PRIMARIOS

- Ionización $AB + e^- \rightarrow AB^+ + 2e^-$
- Disociación $AB + e^- \rightarrow A + B + e^-$
- Excitación $AB + e^- \rightarrow AB^* + e^-$

SECUNDARIOS

- Neutralización
- Desexcitación (Emisión de luz)
- Recombinación: Reacciones en fase gas y en superficie
- Efectos en Pared \Rightarrow Recubrimientos, “Sputtering” & “Etching”

Química en Plasmas Fríos

- Posibles aplicaciones

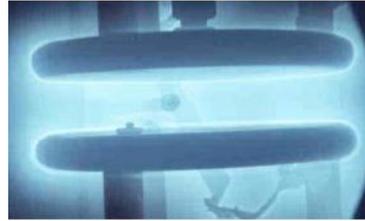
Name	Reactions	Description
Etching	$AB + C_{solid} \rightarrow A + BC_{vapour}$	Material erosion.
Adsorption	$M_g + S \rightarrow M_s$ $R_g + S \rightarrow R_s$	Molecules or radicals from a plasma come in contact with a surface exposed to the plasma and are adsorbed on surfaces.
Deposition	$AB \rightarrow A + B_{solid}$	<u>Thin film formation.</u>
Recombination	$S - A + A \rightarrow S + A_2$ $S - R + R_1 \rightarrow S + M$	Atoms or radicals from the plasma can react with the species already adsorbed on the surface to combine and <u>form a compound.</u>
Metastable de-excitation	$S + A^* \rightarrow A$	Excited species on collision with a solid surface return to the ground state.
Sputtering	$S - B + A^+ \rightarrow S^+ + B + A$	Positive ions accelerated from the plasma towards the surface with sufficient energy can remove an atom from the surface.
Polymerization	$R_g + R_s \rightarrow P_s$ $M_g + R_s \rightarrow P_s$	Radicals in the plasma can react with radicals adsorbed on the surface and form <u>polymers.</u>

Tipos de Reactores en Plasmas Fríos



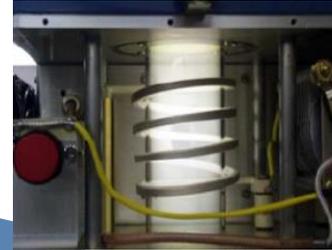
CÁTODOS HUECOS

- Descarga DC
- Columna negativa llena el reactor.



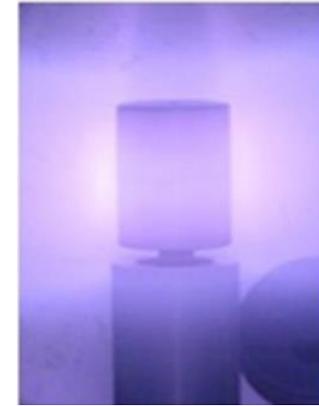
PLASMAS DE RF

- 13.56 MHz
- Capacitivos o inductivos



PLASMAS DE MICRO-ONDAS

- 2.45 GHz
- P~1 mbar



REACTORES PLASMAS FRÍOS

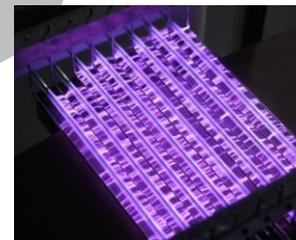
DESCARGAS DE CORONA

- Alta tensión
- Sin efecto avalancha
- T iónicas 1-3 eV



BARRERA DIELECTRICA

- 1-10 KV
- Operación pulsada



ANTORCHAS

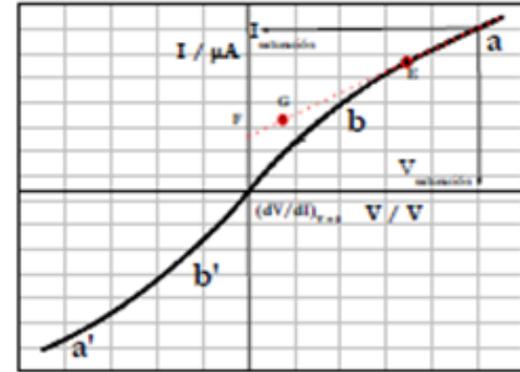
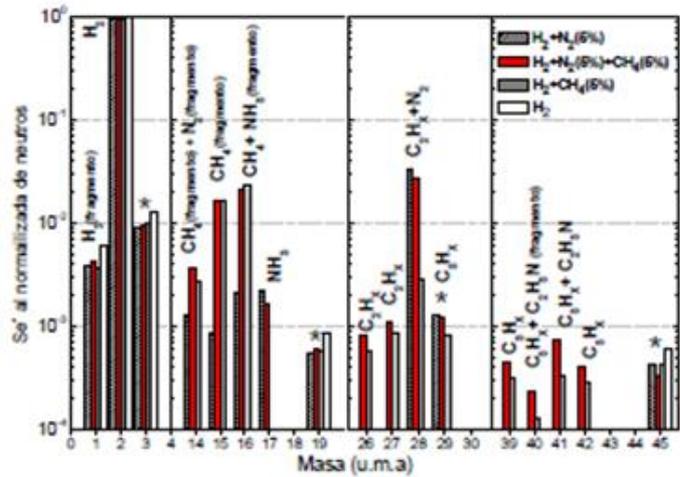
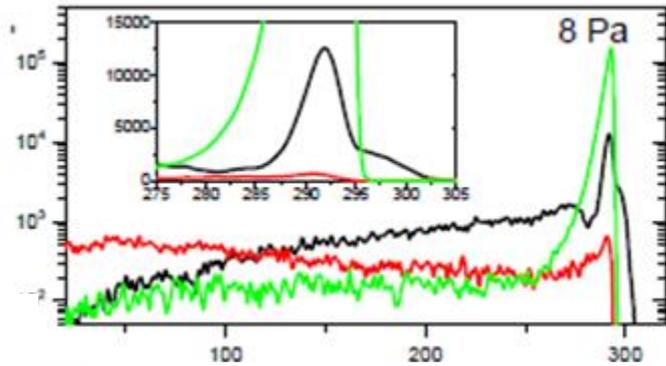
- Inductivas
- El gas determina reacciones de reducción u oxidación.



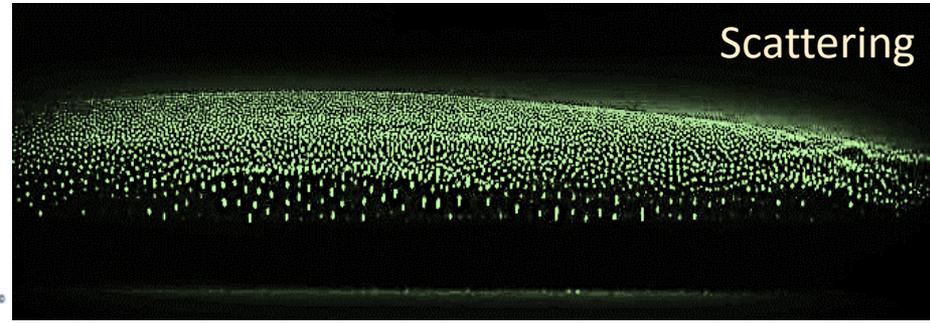
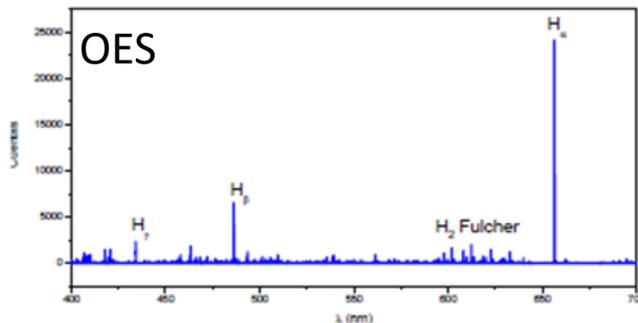
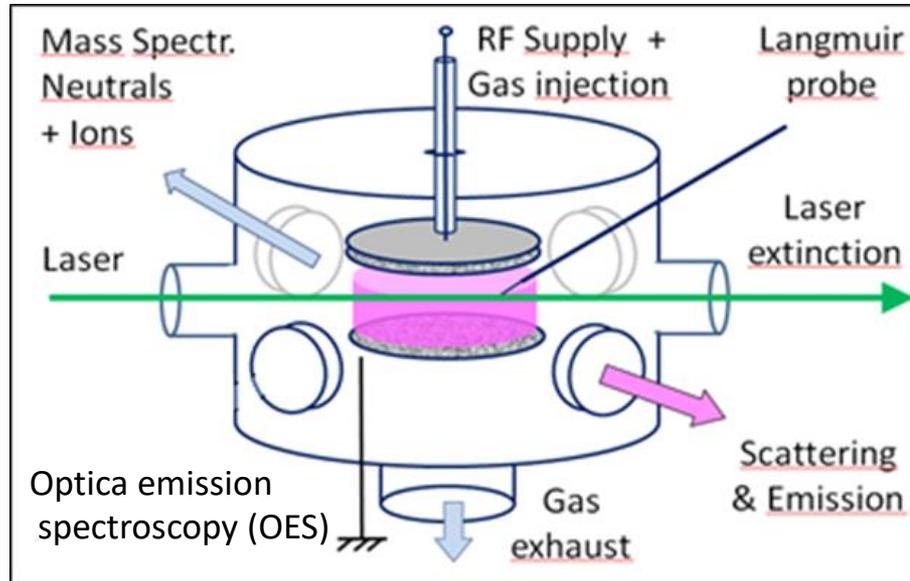
Diagnóstico del plasma

RF Capacitiva

MS

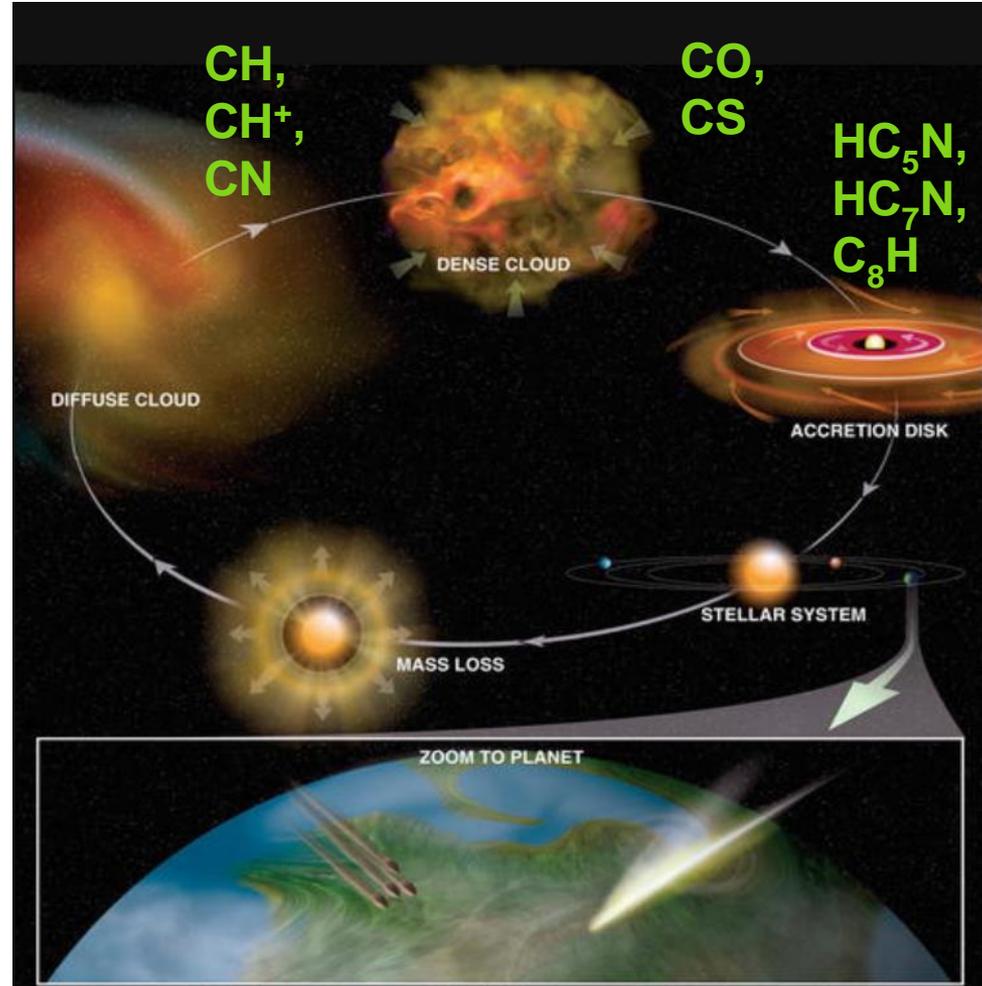


Langmuir



Línea de investigación

- Generación y procesamiento de análogos de polvo interestelar.



Ciclo de gas, hielo y polvo en las nubes interestelares y circunstelares.

B.Saxton NRAO/AUI/NSF

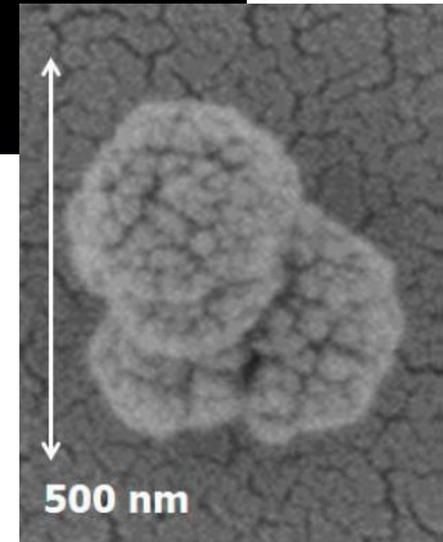
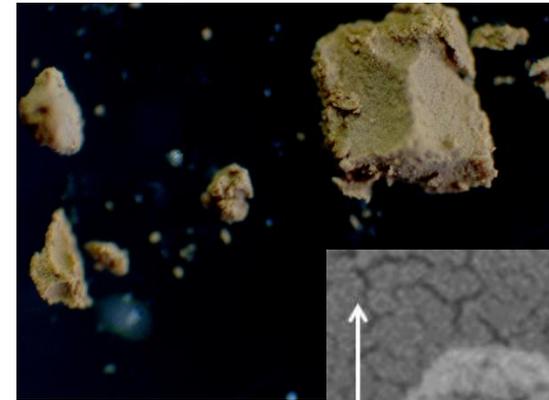
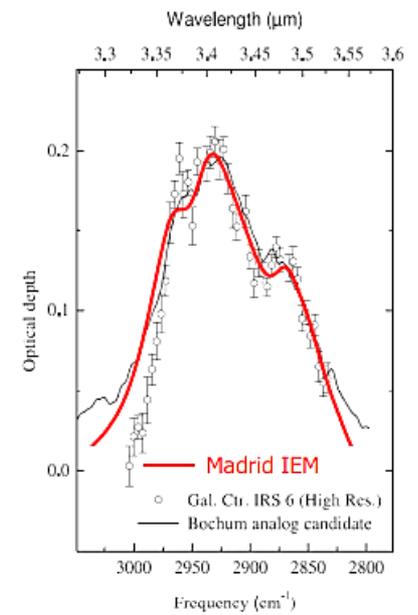
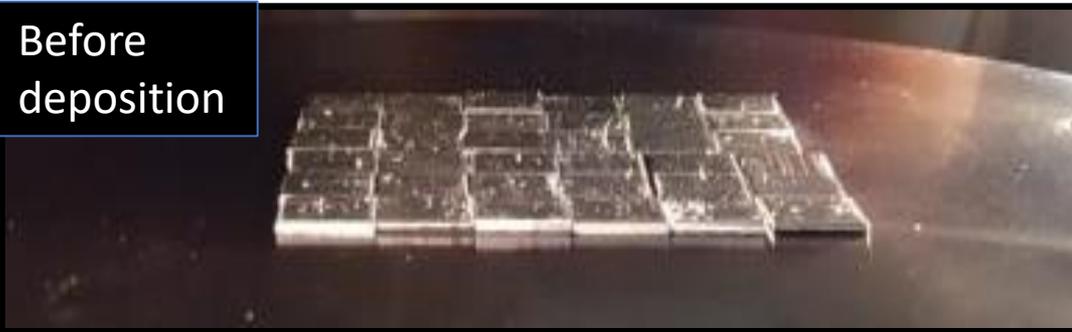
Análogo de polvo IS en el IEM

·Cámara de RF Capacitiva. Plasma de $C_2H_2 + Ar$.

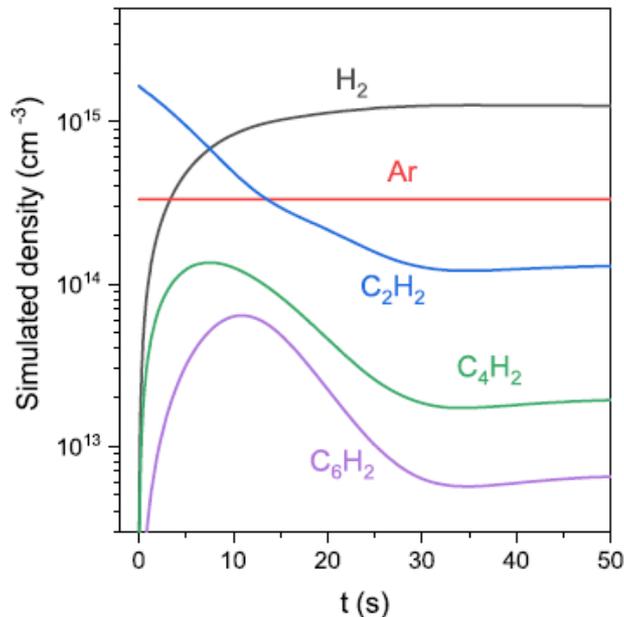
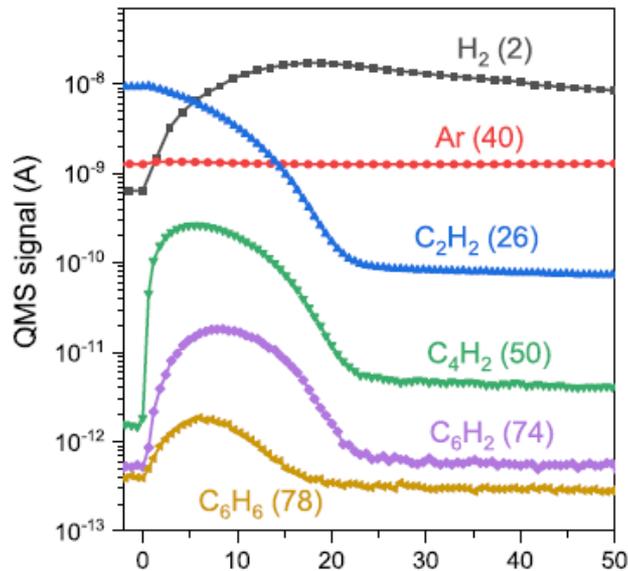


Análogo de polvo IS en el IEM

- Fuerte banda absorción en $3.4 \mu\text{m}$ asociado a CH alifáticos.
- El mejor candidato es el HAC (Pendelton AJSS 2002)
- Este material puede generarse con plasmas fríos!!



Evolución temporal de las especies en el plasma C₂H₂+Ar

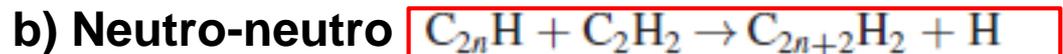


· Capacidad de medir la evolución temporal de concentración de especies neutras, cationes y aniones.

· Modelos cinéticos son utilizados para la descripción de la evolución temporal de las concentraciones.

a) Impacto electrónico

- Ionización $C_2H_2 + e \rightarrow C_2H_2^+ + 2e$
- Disociación $C_2H_2 + e \rightarrow C_2H + H + e$
- Excitación/dexcitación $Ar + e \rightarrow Ar^* + e$
- Neutralización $H_2^+ + e \rightarrow 2H$
- Attachment / detachment $H_2 + e \rightarrow H^- + H$



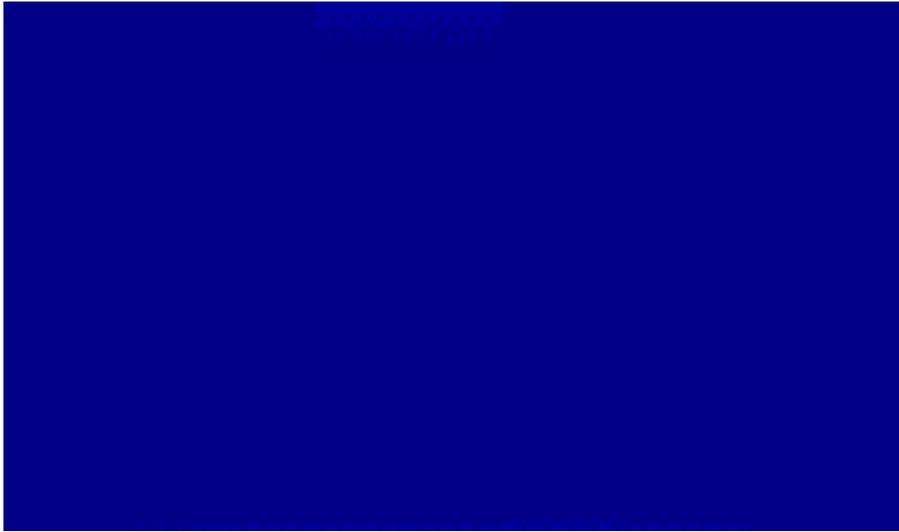
c) Ión-neutro

d) Ión-ión

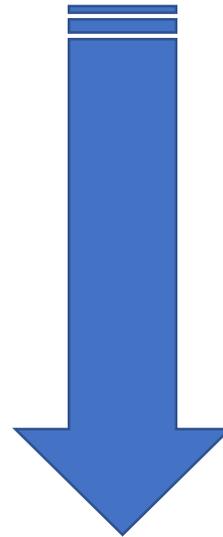
e) Reacciones en pared

> 270 reacciones!!

Evolución temporal tamaños de NPs. Plasma C_2H_2+Ar



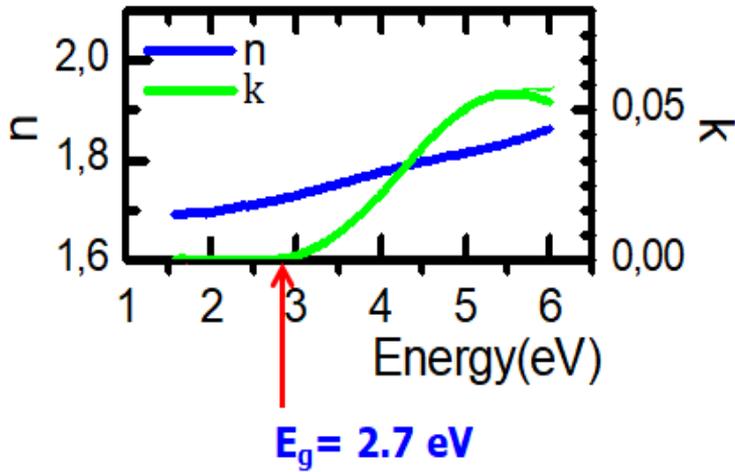
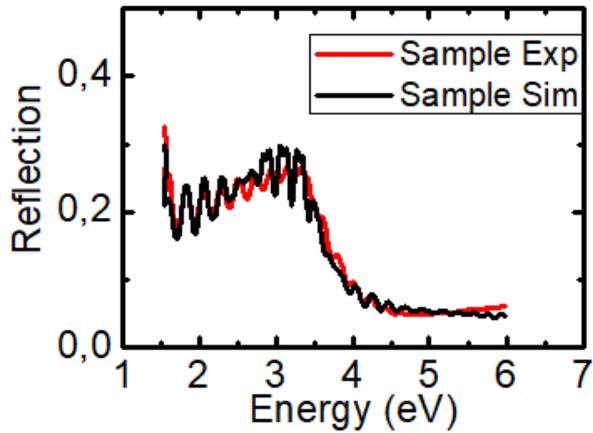
- *Imagen polarizada de la dispersión de NPs*
- *Ciclo de 20s 14 ON*
- *Láser continuo $\lambda=532\text{ nm}$*



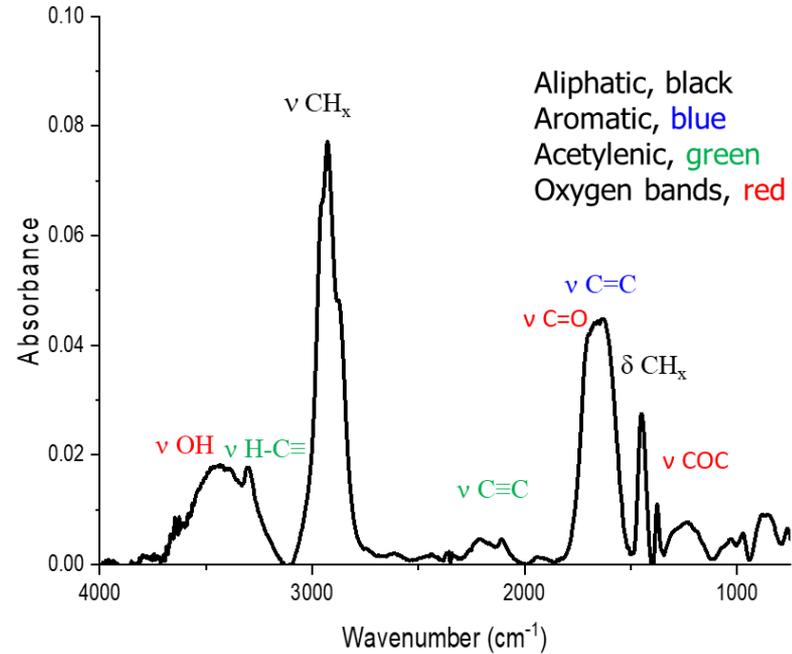
- *Modelo de Mie*
- *Índices ópticos*
- $\phi_{NPs} \sim I_{Per}/I_{Par}$

- *Evolución espacio temporal tamaños NPs*
- *Densidad de granos de polvo.*
- *Carga de los granos...*

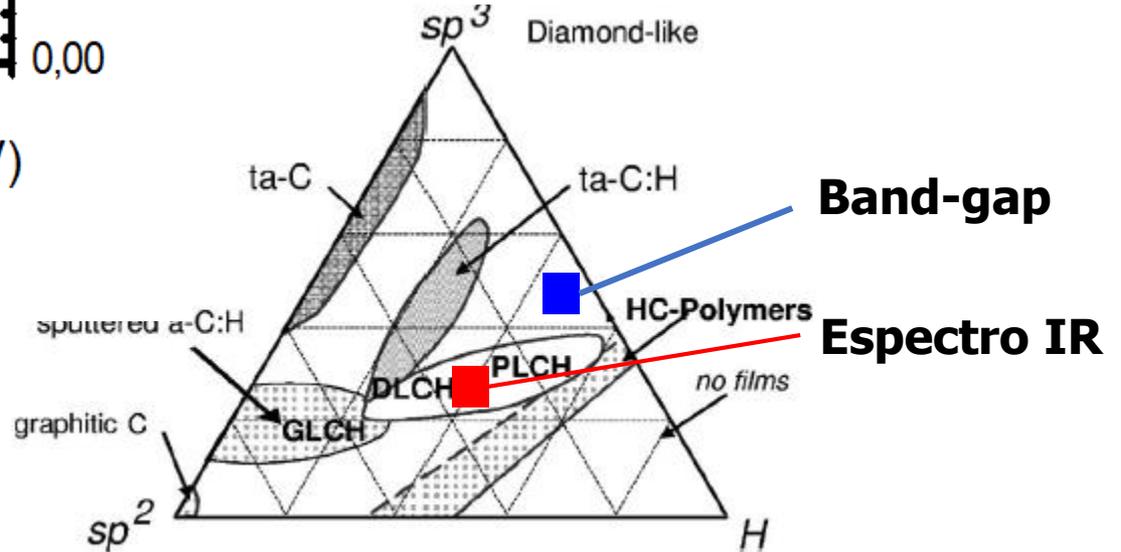
Índices ópticos



Espectros Absorción IR

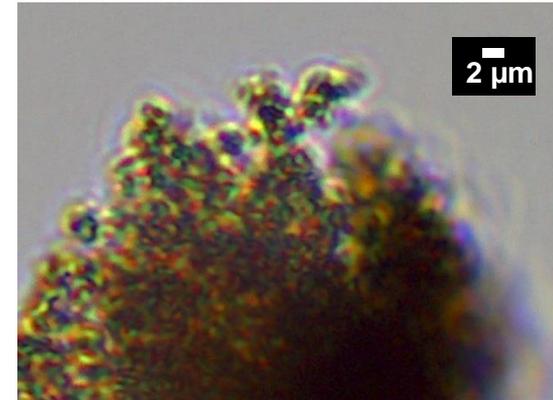
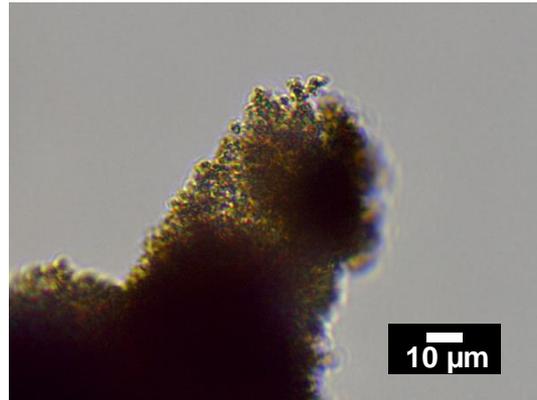
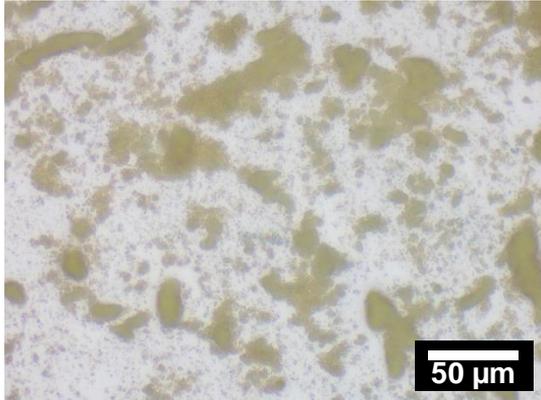


Composición química

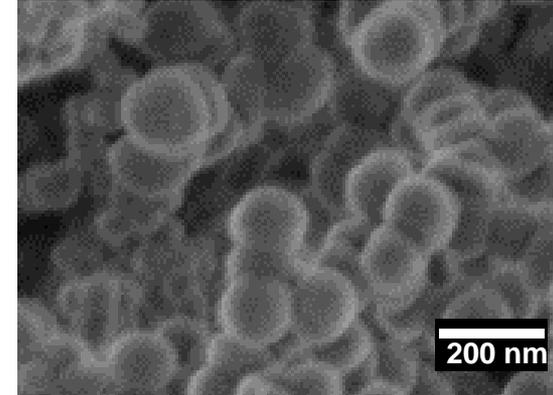
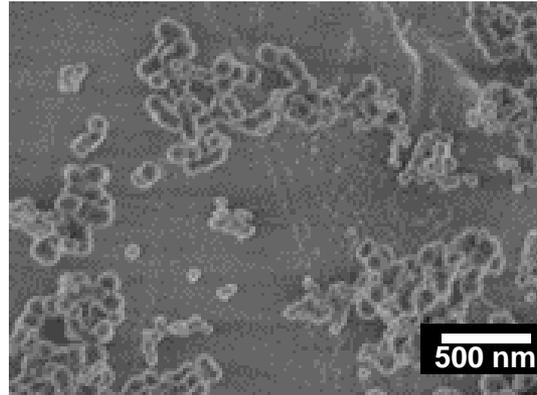
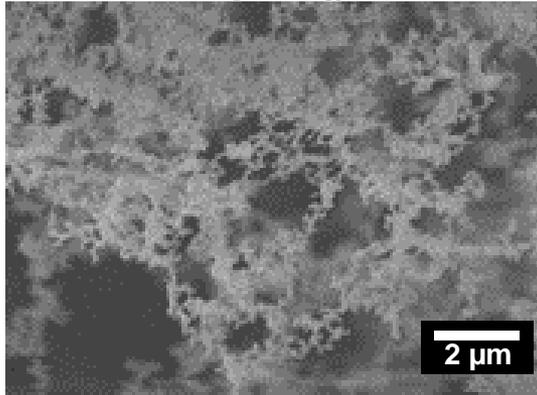


Caracterización Morfológica

·Microscopio óptico en transmisión



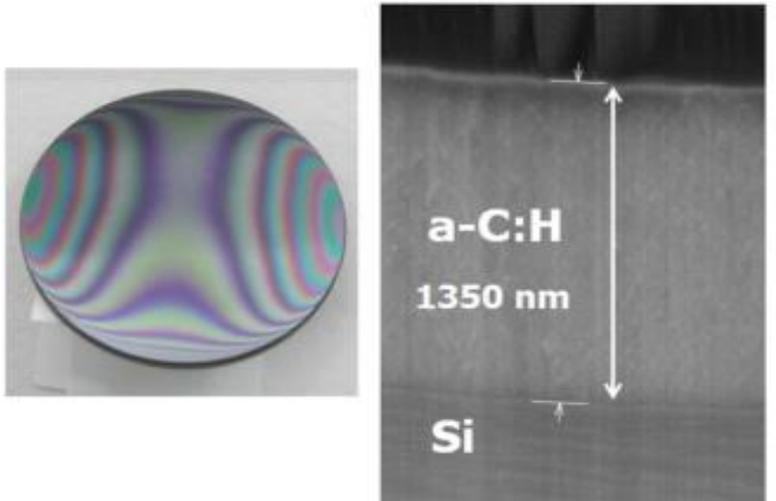
·SEM images (plan-view)



Porosidad de los análogos de polvo

Descarga RF inductiva

He+CH₄

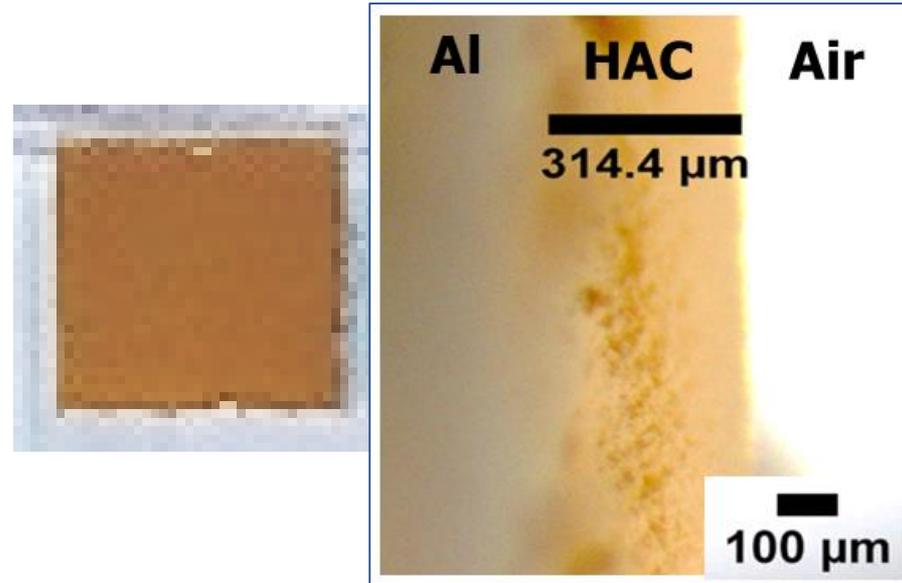


Peláez et al. PSCT **27** 035007 (2018)

$$\rho_v = 1.1 \text{ g/cm}^3$$

Descarga RF capacitiva

Ar+C₂H₂



$$\rho_v = 7 \text{ mg/cm}^3$$

Porosidad >99%

Análogo de polvo IS en el IEM

- *Diagnóstico y modelado de producción de NPs.*
- *Caracterización morfológica y química (ratio H:C, aromático/alifático, sp²/sp³, porosidad, estructuras 'core-shell').*
- *Propiedades ópticas: n, k y parámetros de scattering. Visible ; NIR, MIR, FIR.*
- *Hielos sobre granos de polvo. Energía de desorción, activación, difusión...*
- *Carbonáceos con silicatos, metales, forsterita...*

Más en el laboratorio de Plasmas Fríos

¡Muchas Gracias!