



# Estudio de memorias resistivas basadas en aislantes de Mott

Defensa de Tesis de Licenciatura en Ciencias Físicas

Martín Sattler

Director: Dr. Carlos Acha

Co-Director: Dr. Alberto Camjayi

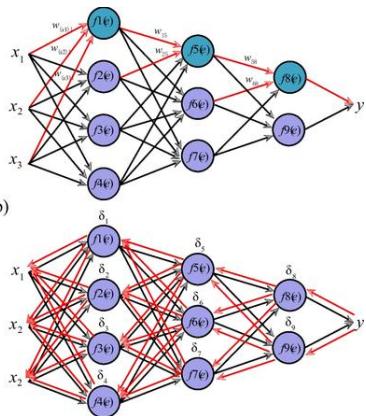
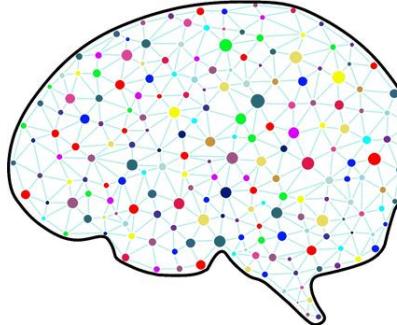
8 de Agosto de 2025

# Índice

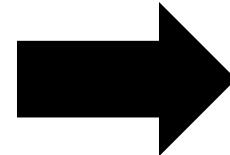
1. Motivación
2. Introducción
3. Detalles experimentales
4. Resultados y discusión
5. Conclusiones y perspectivas

# Motivación

# Computación neuromórfica



¿Es lo mejor que podemos hacer?

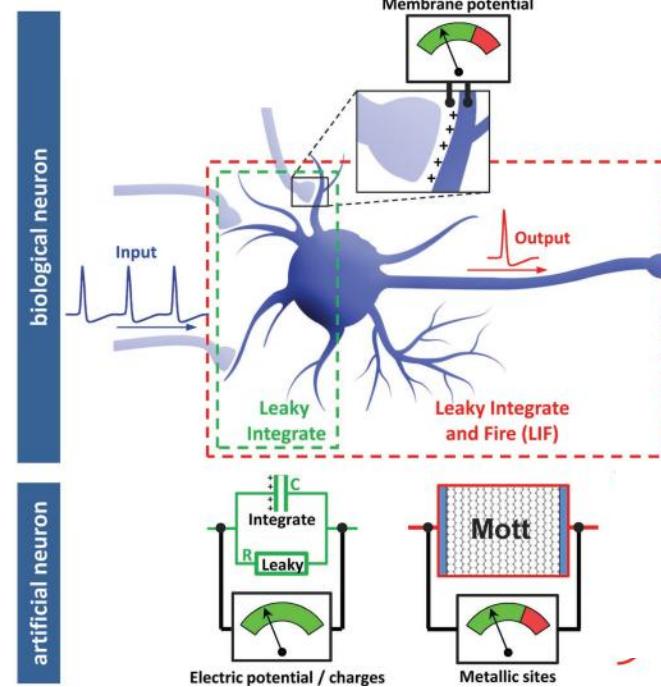
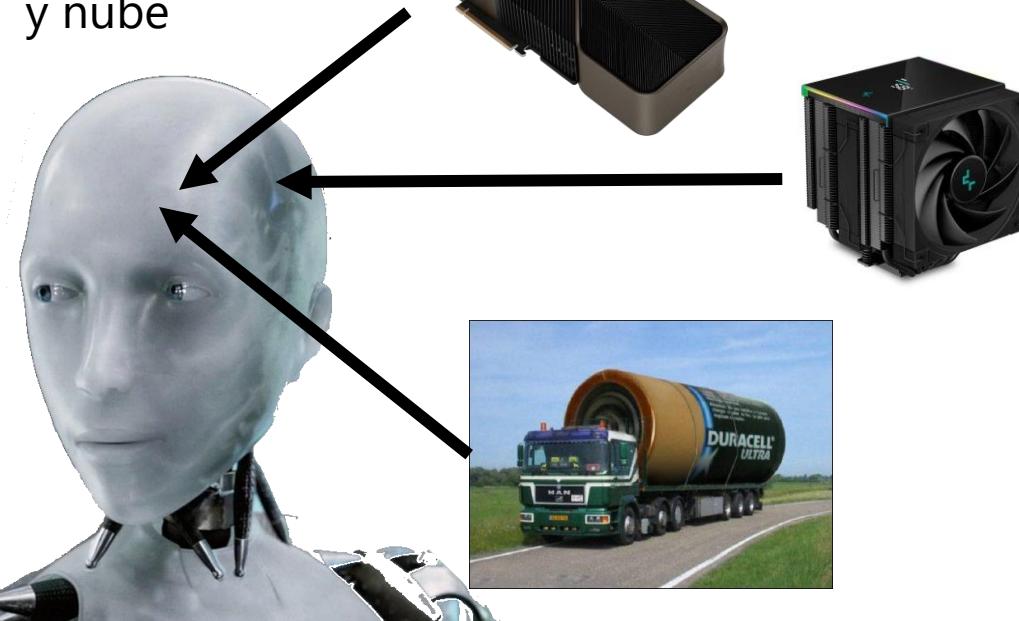


¡"Nuevas" tecnologías!

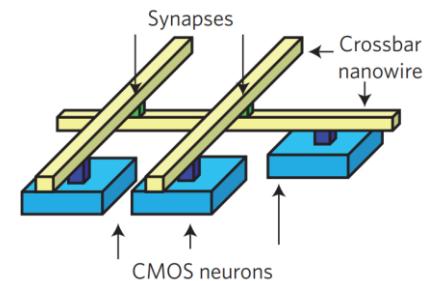
En particular, **memristores**



Paradigma actual: CMOS  
y nube



Stoliar et al., A Leaky-Integrate-and-Fire Neuron Analog Realized with a Mott Insulator, 2017

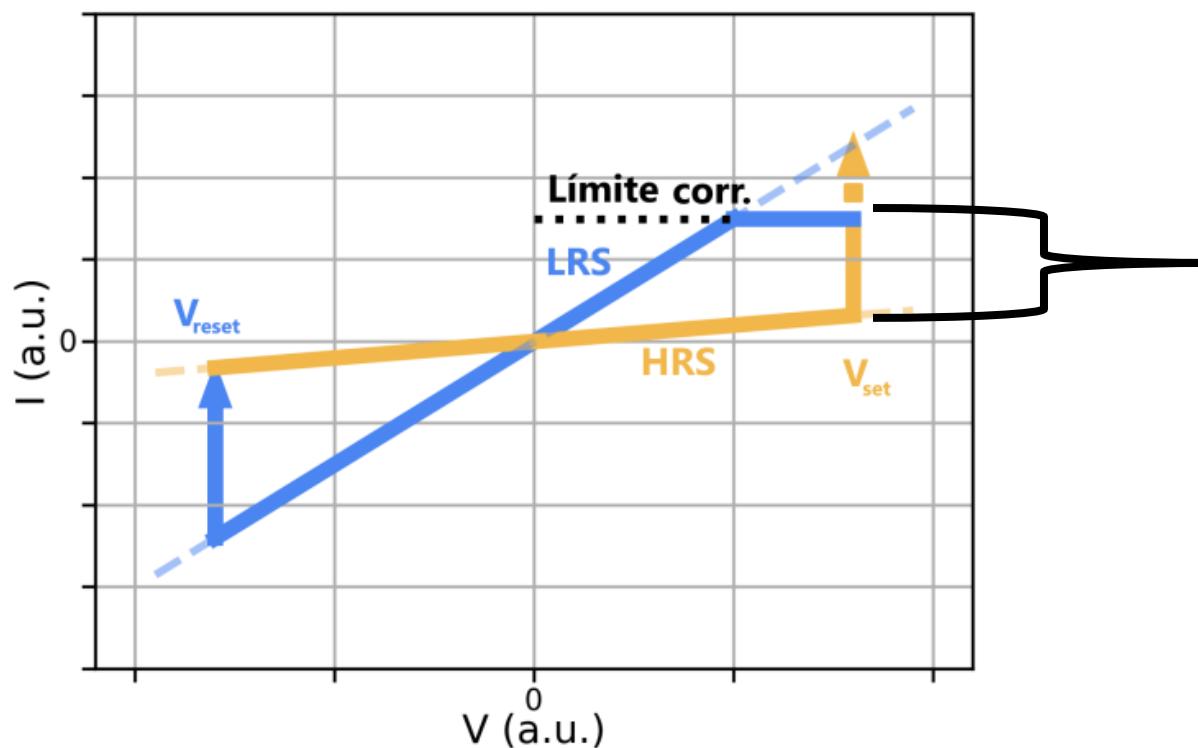


Yang et al., Memristive devices for computing, 2013

# Introducción

# Memristores y memristividad

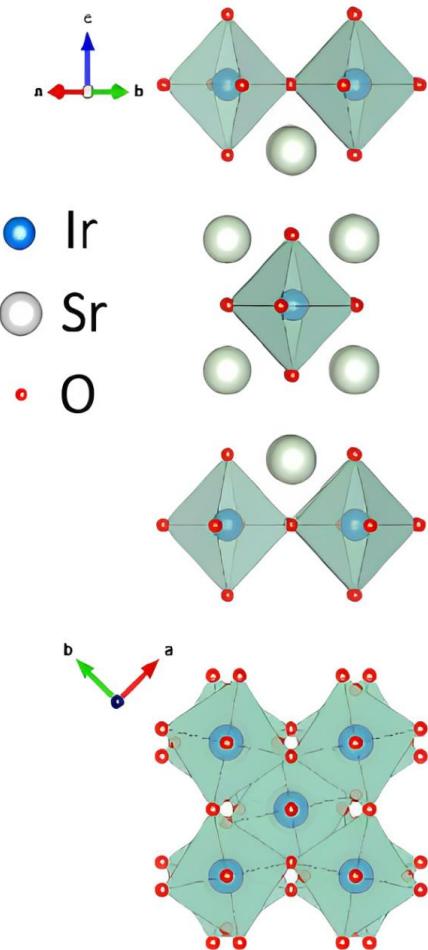
Memristividad → Memoria Resistiva



Comutación resistiva:

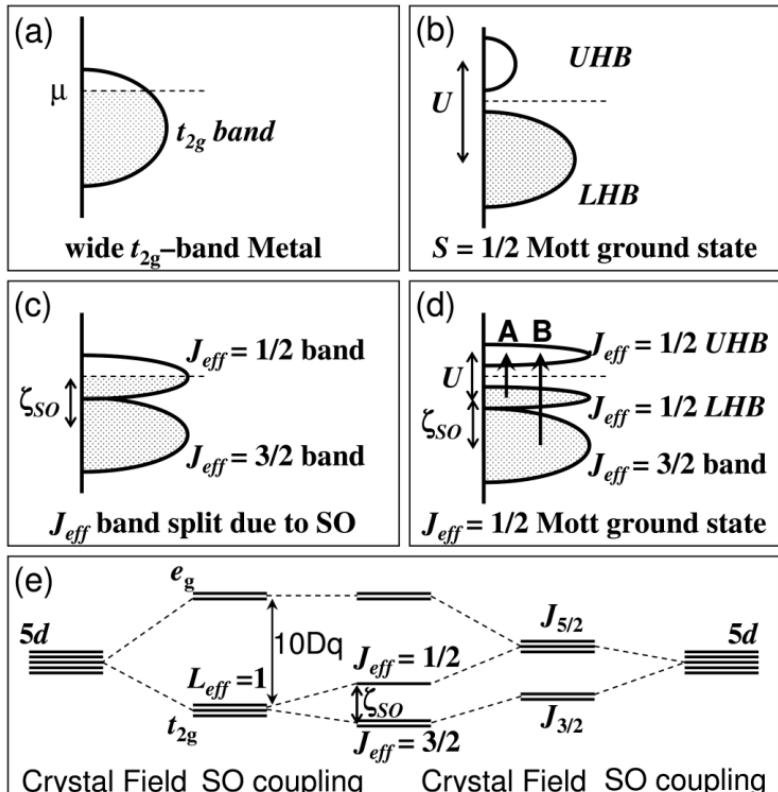
- Volátil: desaparece sin estímulo
- No volátil: no desaparece con sin estímulo

# $Sr_2IrO_4$ (SIO)



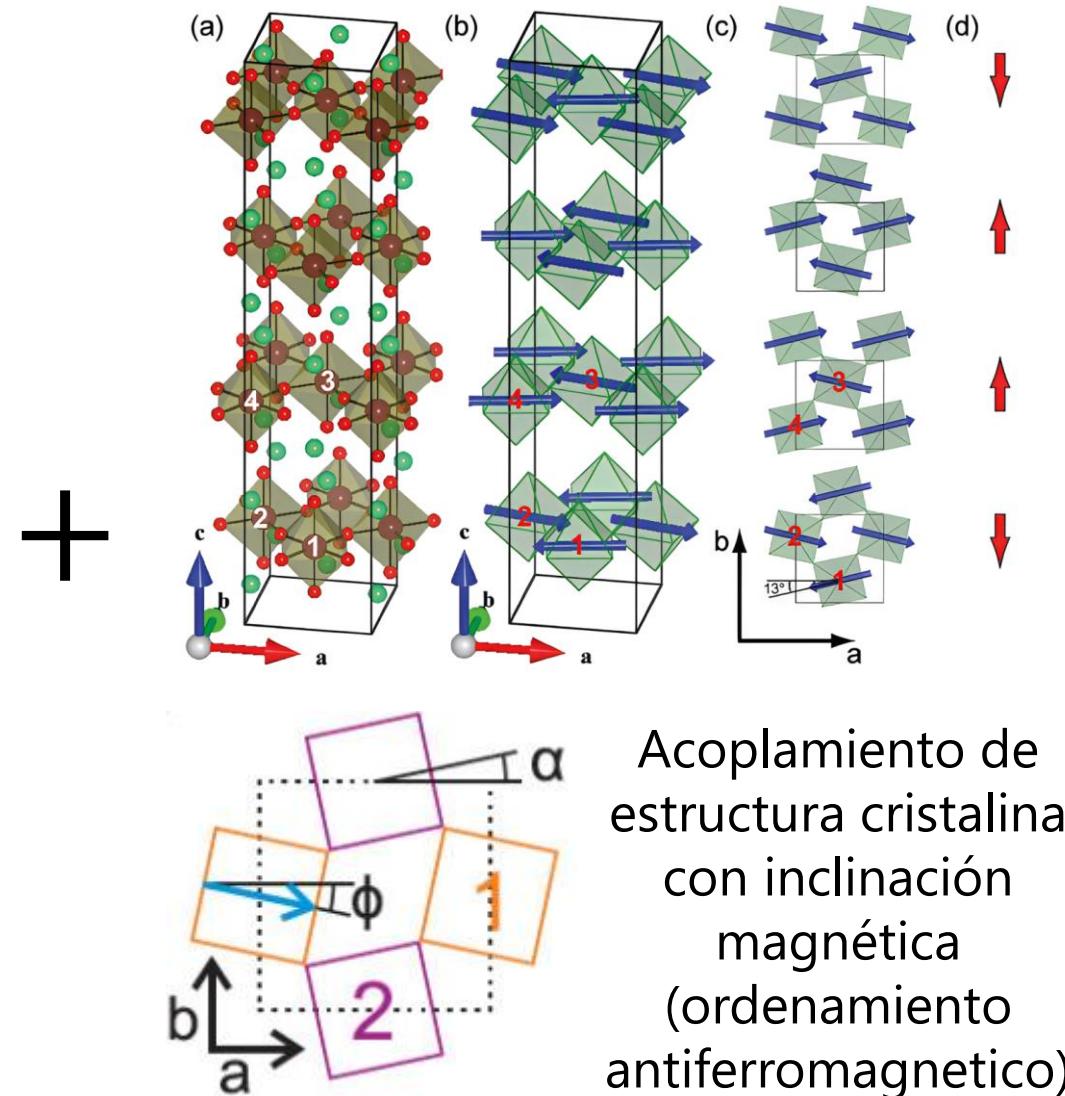
Cao et al., The challenge of spin-orbit tuned ground states in iridates: a key issues review, 2018

- Separación de orbitales  $d$
- Iridatos del  $5d$  → Fuerte SOC
- Correlación no despreciable
- Estado de Mott aislante!



Kim et al., Novel Jeff =  $1/2$  Mott State Induced by Relativistic Spin-Orbit Coupling in  $Sr_2IrO_4$ , 2008

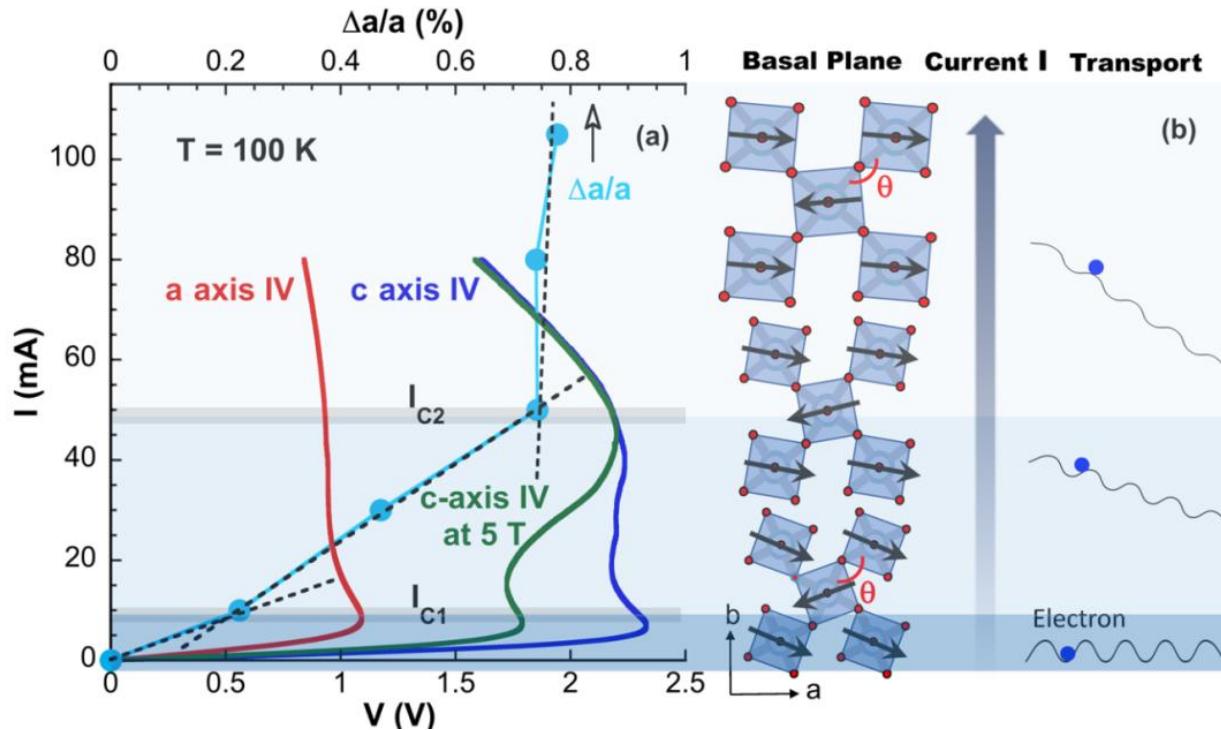
Cao et al., The challenge of spin-orbit tuned ground states in iridates: a key issues review, 2018



# Antecedentes

Cao:

- Extensos estudios sobre la relación de conducción eléctrica, magnetización y temperatura
- Relación estructura-estímulo eléctrico

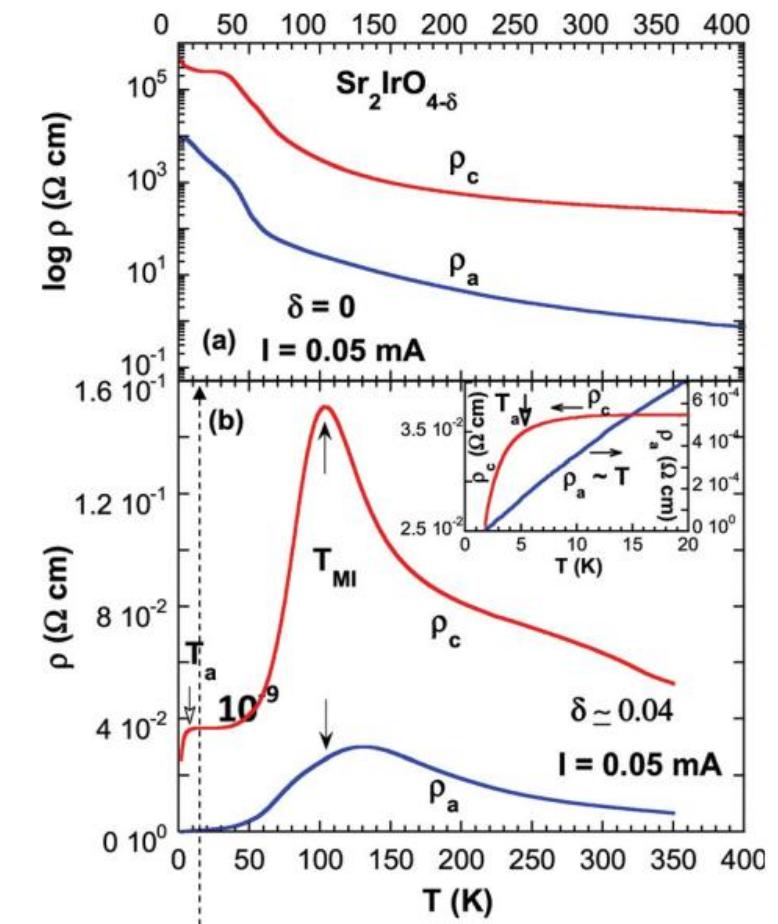


Cao et al., Electrical Control of Structural and Physical Properties via Strong Spin-Orbit Interactions in Sr<sub>2</sub>IrO<sub>4</sub>, 2018

Qi:

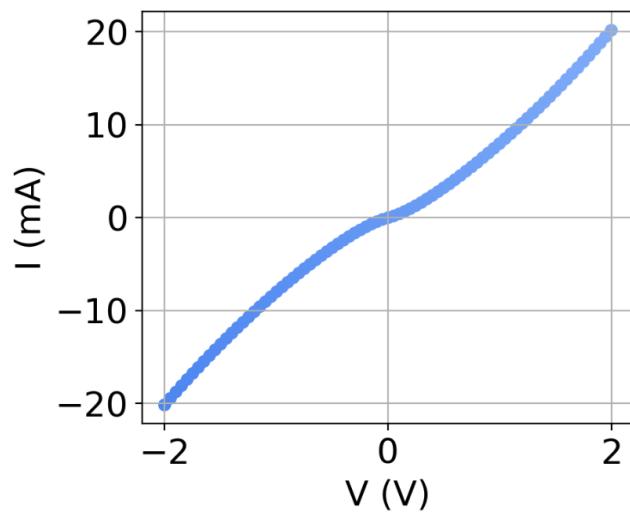
- Estados resistivos basados en vacancias

Qi et al., Electron doped Sr<sub>2</sub>IrO<sub>4</sub> ( $\delta \approx 0.04$ ): Evolution of a disordered Jeff 5 1/2 Mott insulator into an exotic metallic state, 2011



# Exploración en corriente directa

Lecturas en 2W (contactos)  
y 4W (*bulk*)

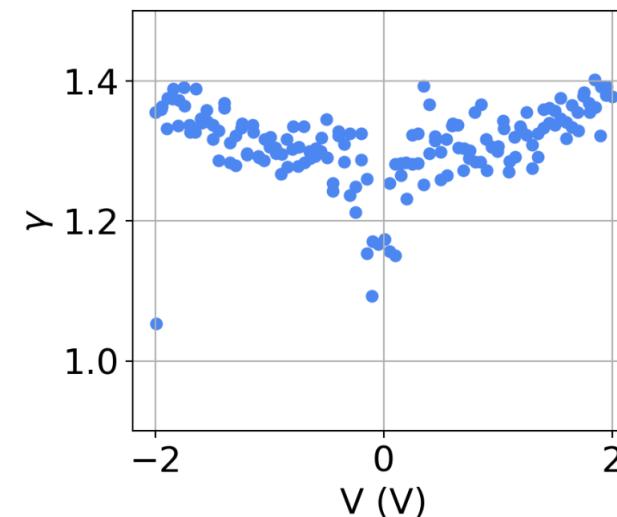
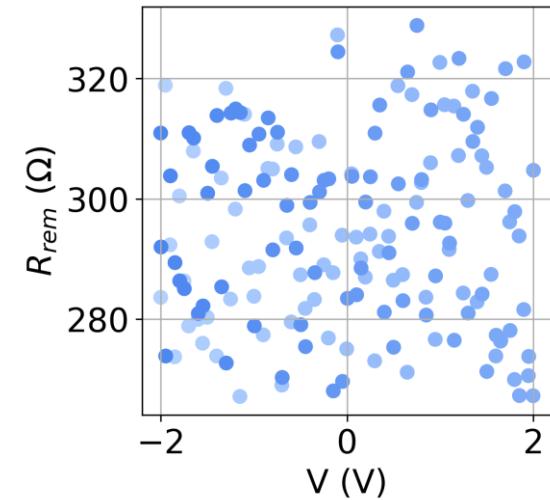
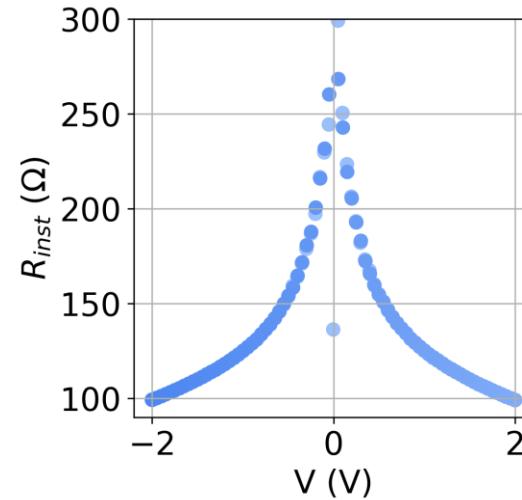


- Evolución resistiva
- Estados remanentes
- Transiciones

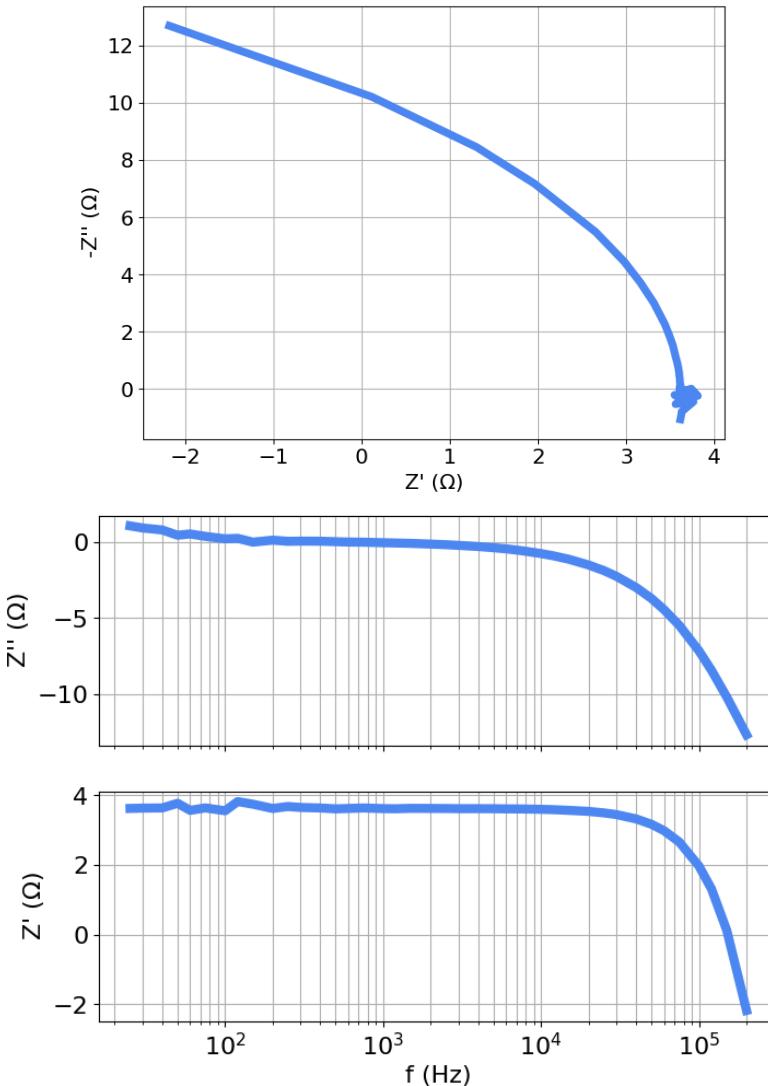
$$R = \frac{V}{I}$$

- Mecanismos de conducción

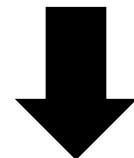
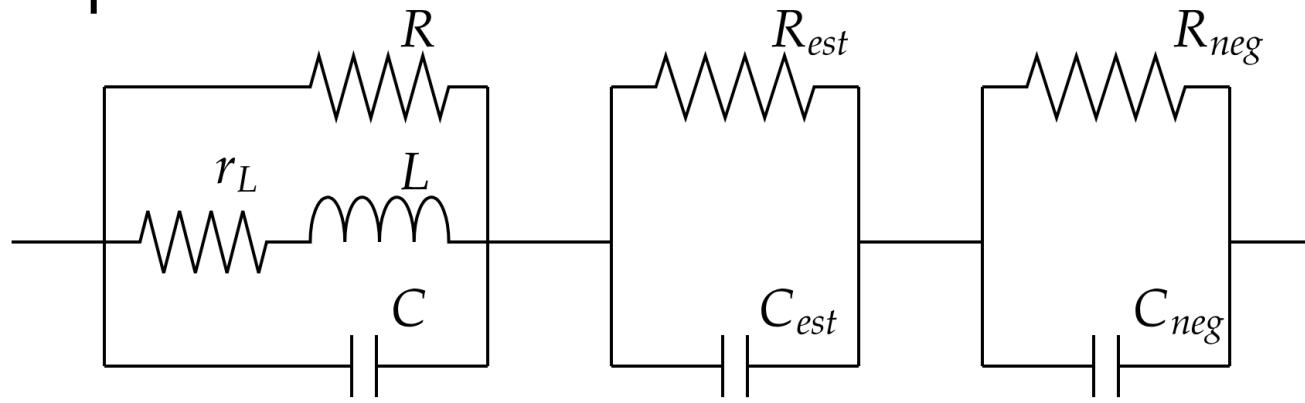
$$\gamma = \frac{d[\ln(I)]}{d[\ln(V)]}$$



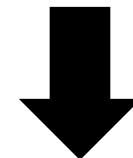
# Respuesta alterna particular



Modelado de circuitos  
equivalentes



Inductancia química (o  
capacitancia negativa)



Resistencia diferencial  
negativa (NDR)

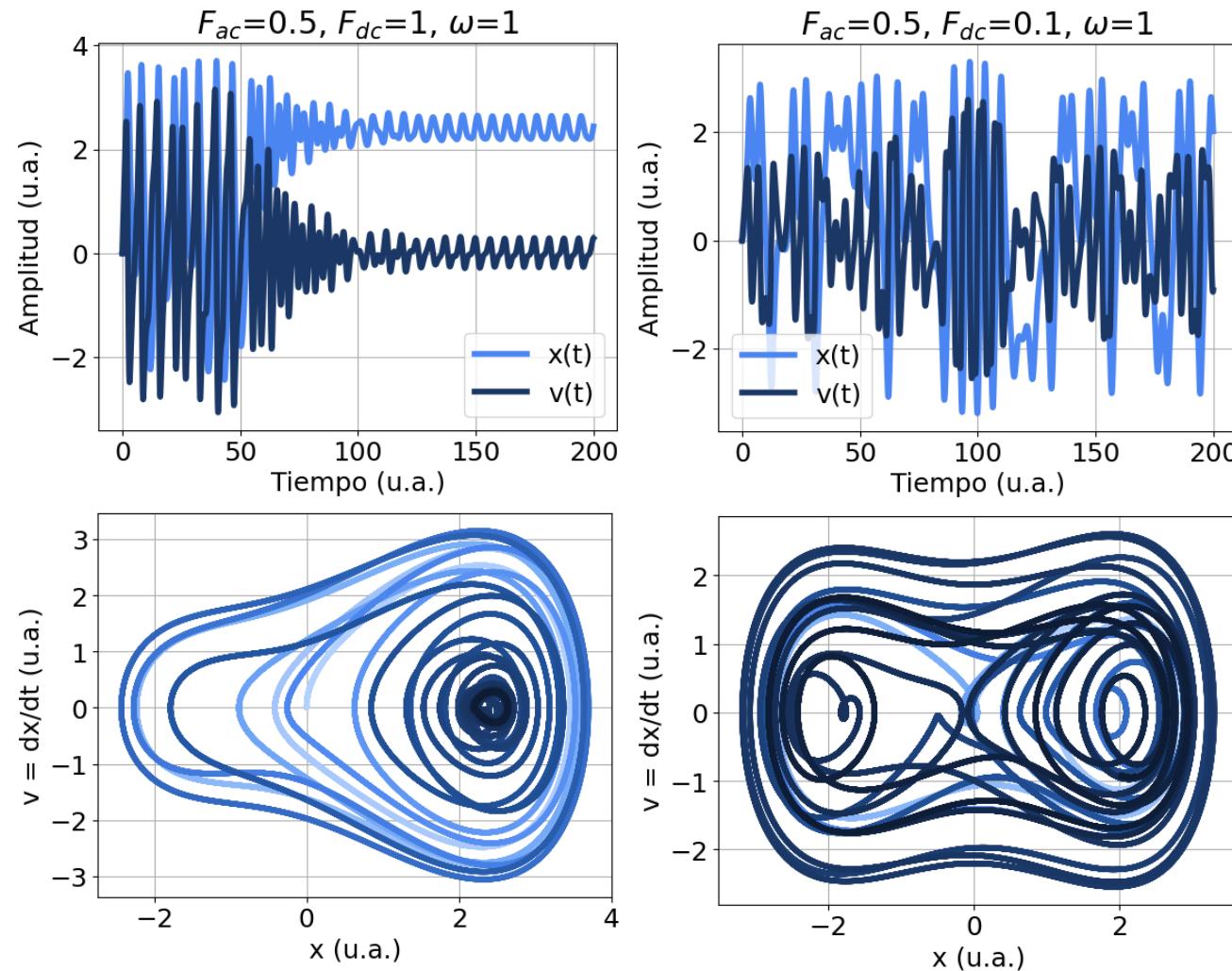
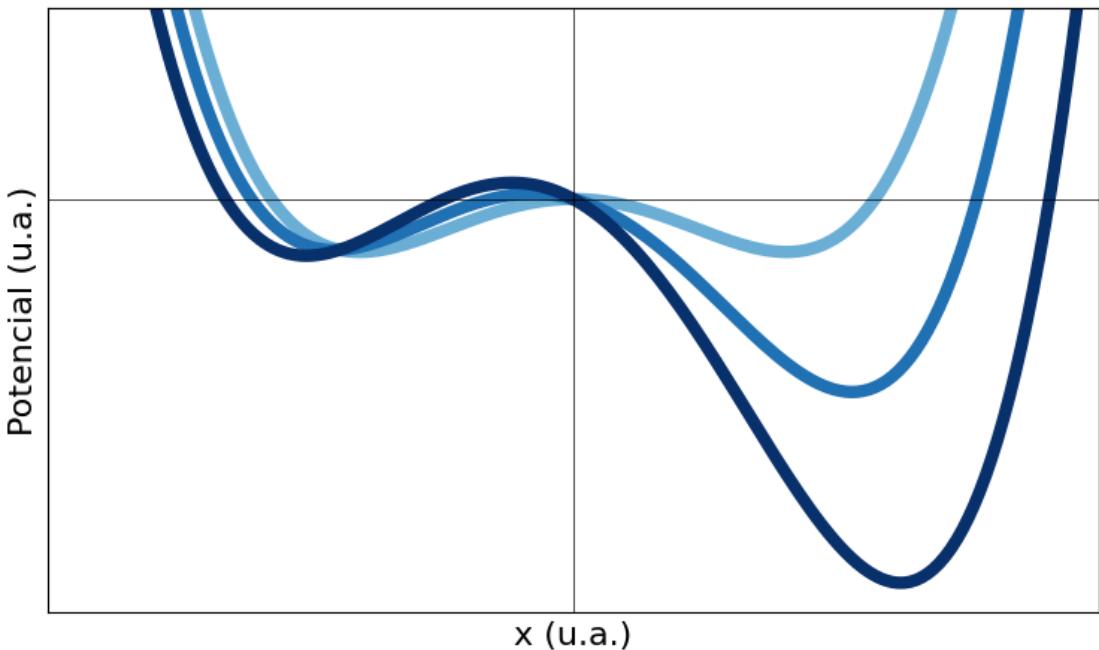
# Ecuación de Duffing

Comportamientos dinámicos:

$$\ddot{x} + \delta \dot{x} + \alpha x + \beta x^3 = \gamma \cos(\omega t) + F_{DC}$$

(Ecuación de Duffing)

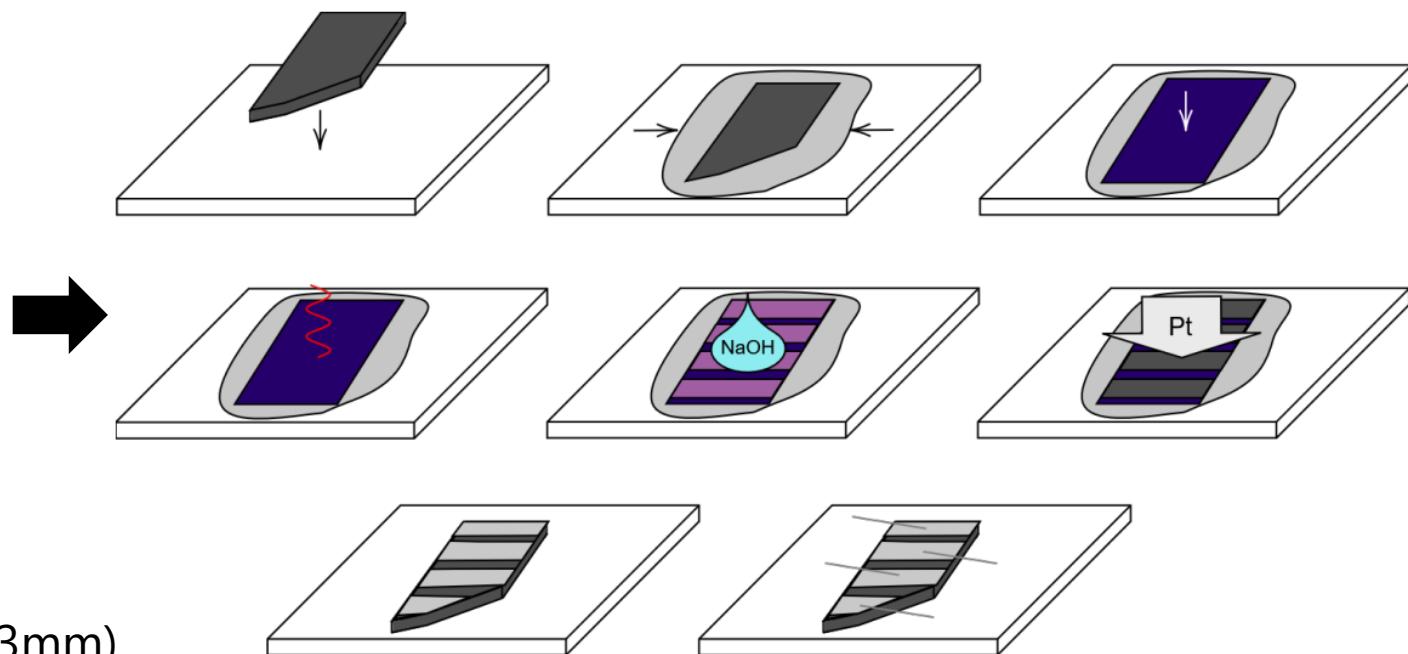
J. M. T. Thompson et al., Nonlinear Dynamics and Chaos , 2002 (o muchos libros de dinámica no lineal)



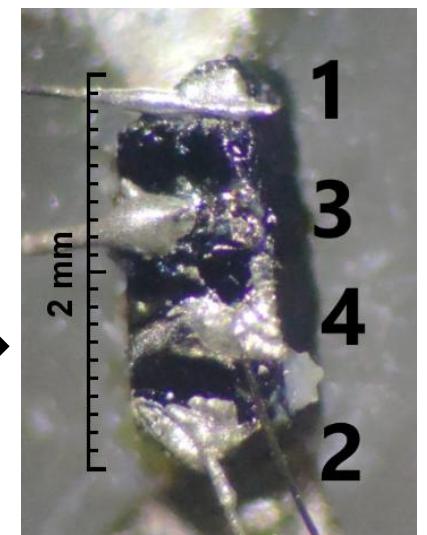
# Detalles experimentales

# Cristal y contactos

Provisto por el  
Laboratorio de Física de  
Sólidos, C.N.R.S., U. París-  
Sur

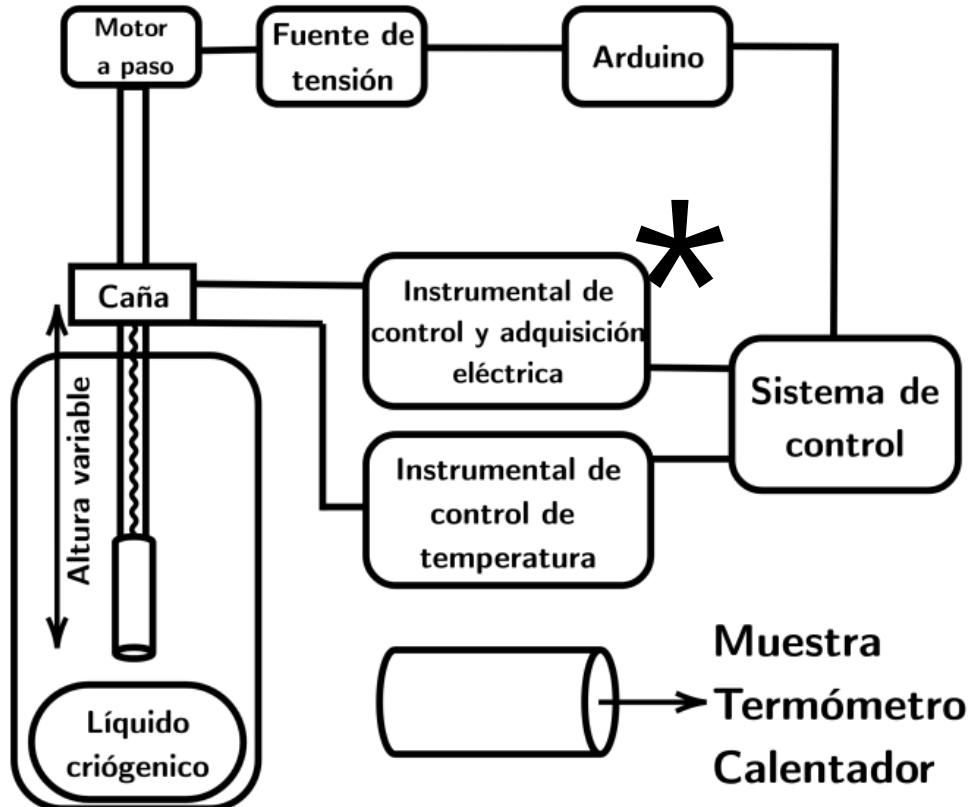


X5  
(2mm x 0.6mm x 0.3mm)

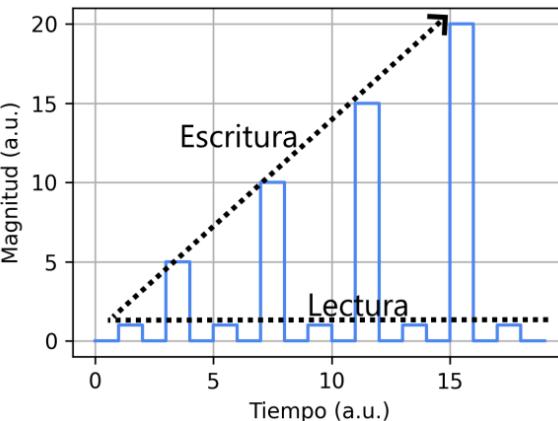
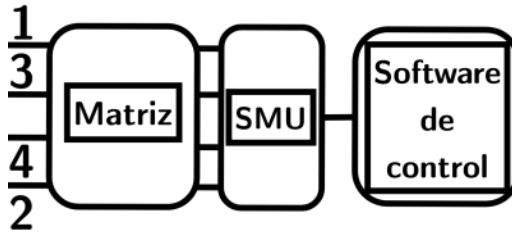


Epoxi de plata  
Cables de platino de  
0.03mm  
0.4mm entre contactos

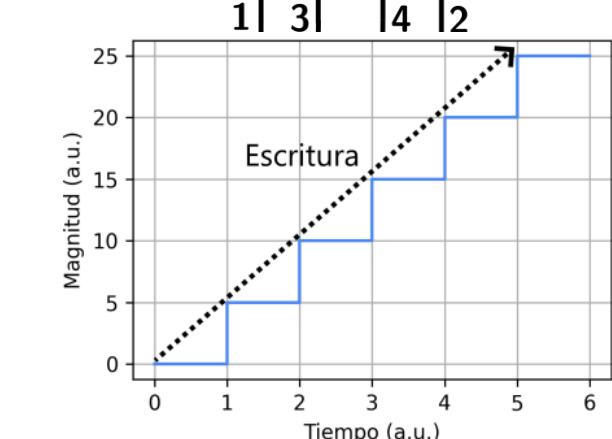
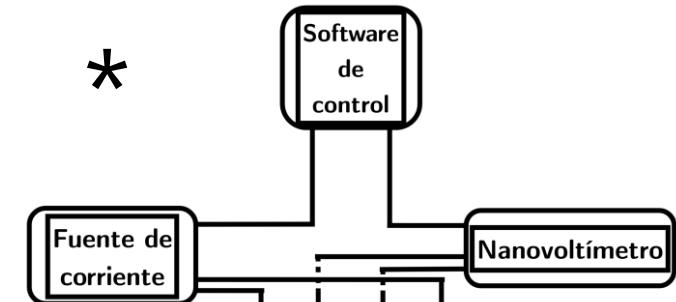
# Dispositivos, equipamiento y técnicas



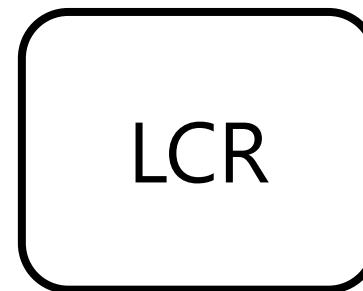
\*



\*



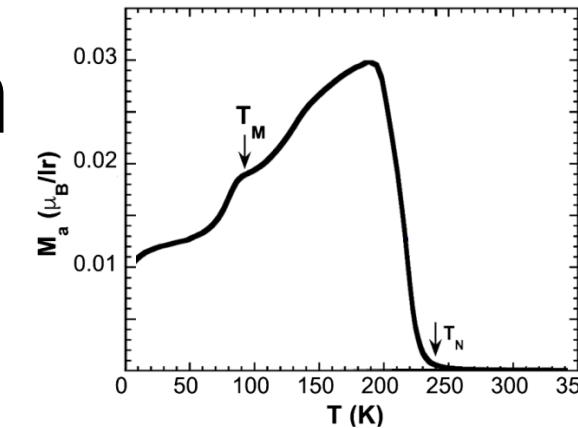
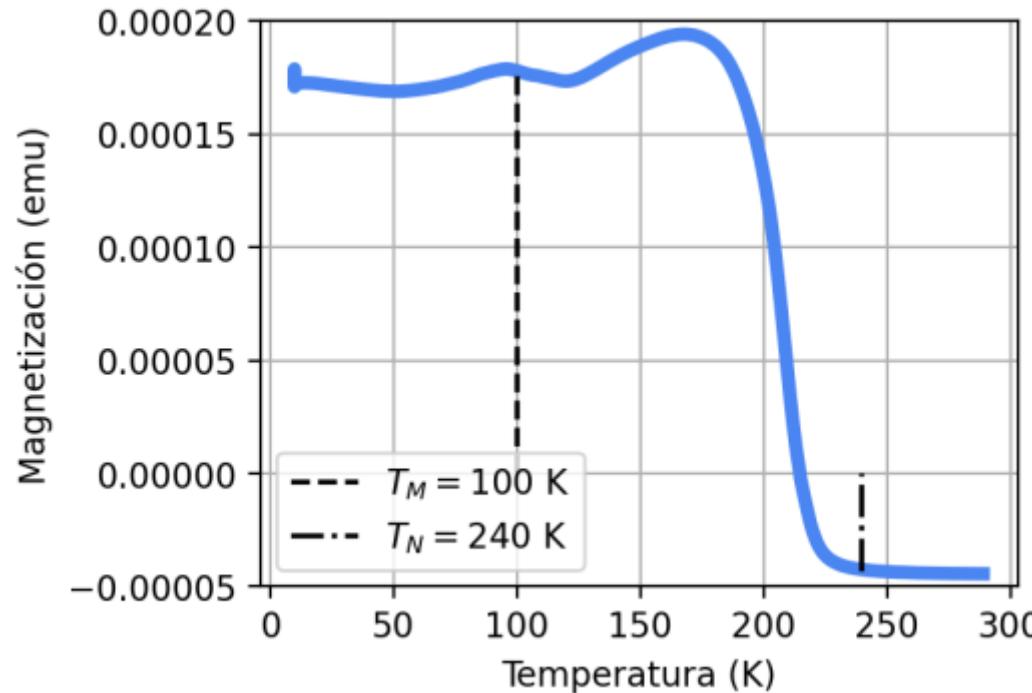
\*



Compara un estímulo sinusoidal con su respuesta  $\rightarrow Z, \theta$  ( $R, X$ ) en función de  $\omega, V_{ac}, V_{dc}$

# Resultados y discusión

# Caracterización magnética



- Gran acuerdo con trabajos de referencia
- Diferencias → anisotropía, defectos

$T_N$ : Temperatura de Néel ( $\sim 240$  K), ordenamiento antiferromagnético

$T_M$ : Anomalía en magnetización ( $\sim 100$  K)

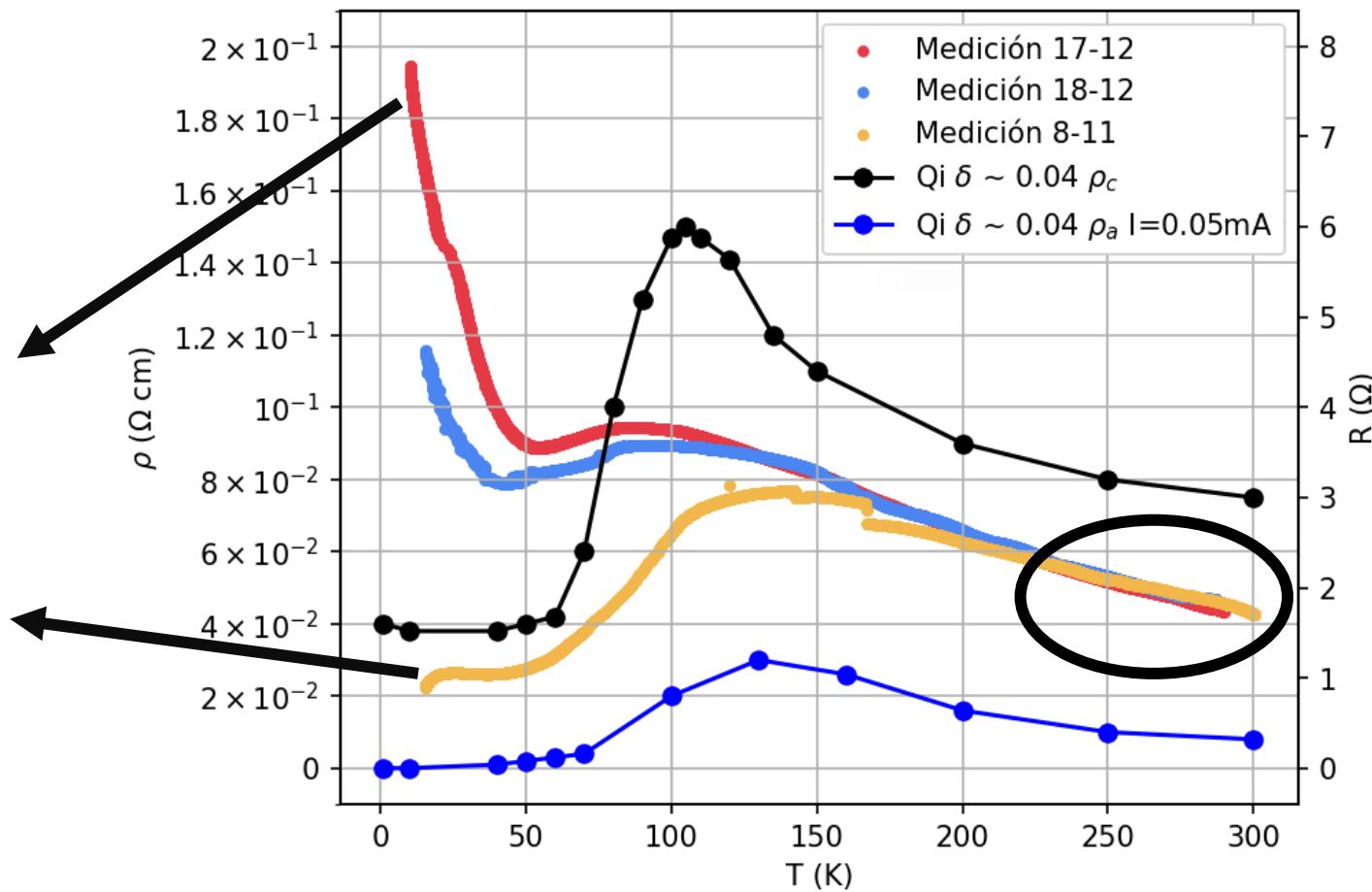
# Resistividad a 4W

$Sr_2IrO_{4-\delta}$

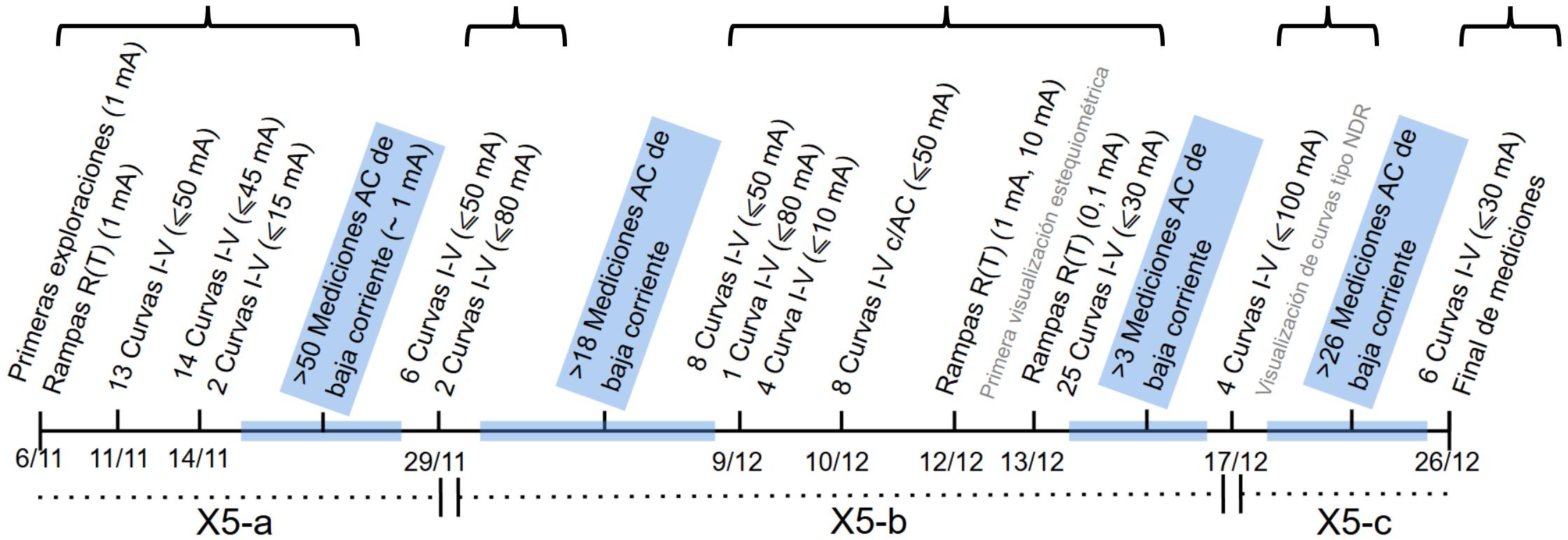
$\delta \rightarrow 0$   
(semiconductor)

$\delta \sim 0.04$   
(metal-aislante)

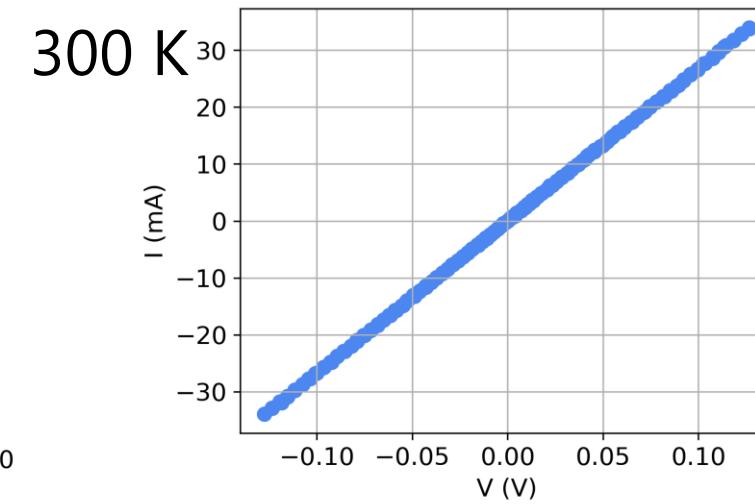
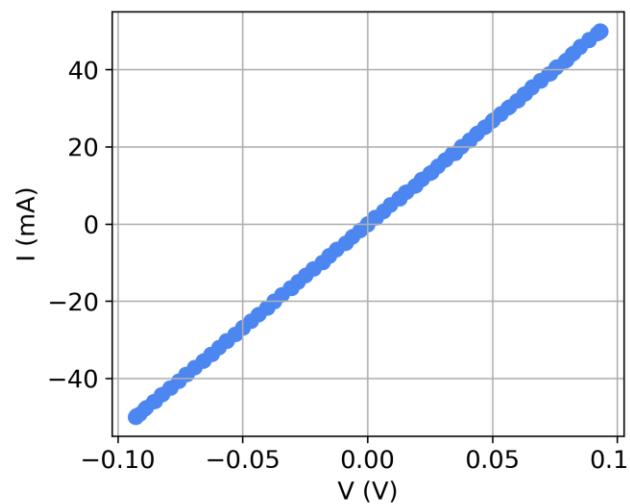
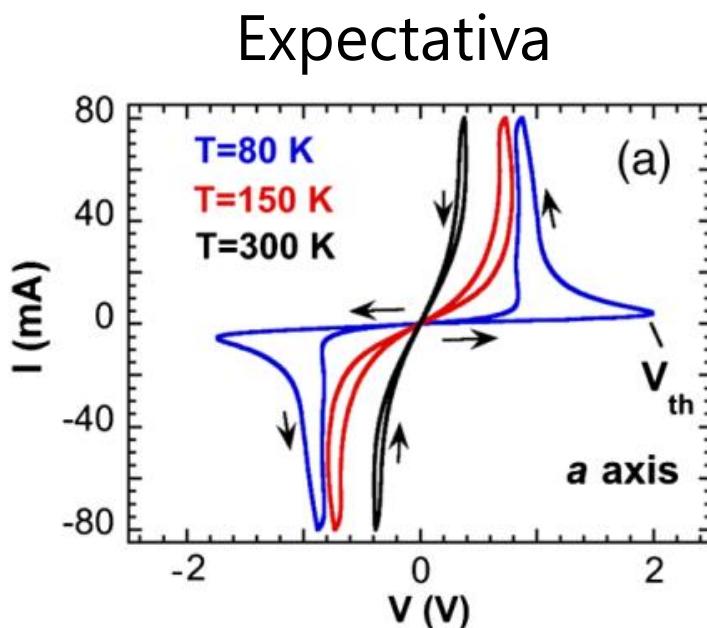
¿Transición?



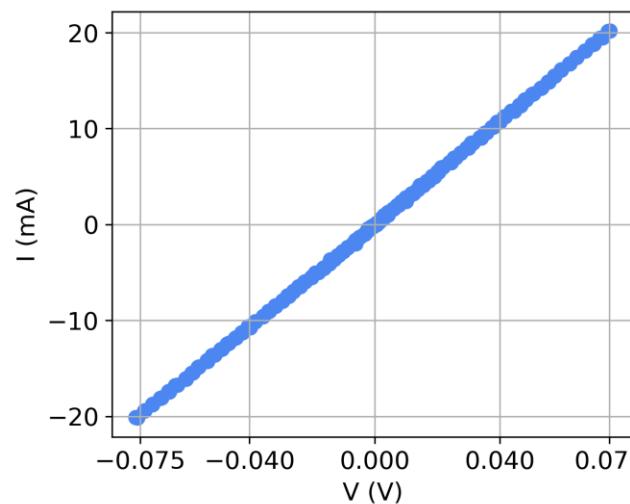
# Línea temporal



# Curvas I-V a 4W en X5-a



130 K

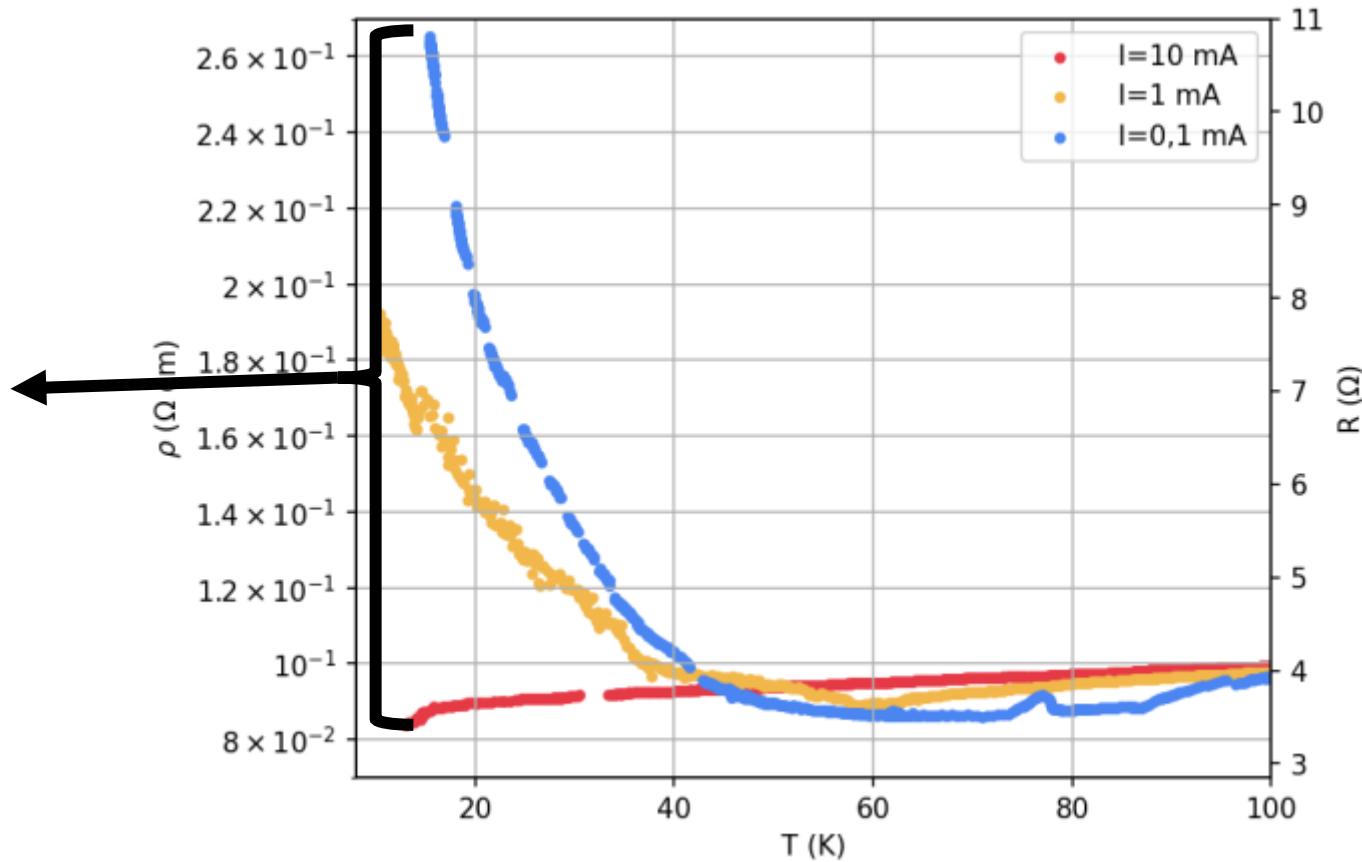


85 K

Curvas óhmicas  
X5-b dio igual, hasta 85 K

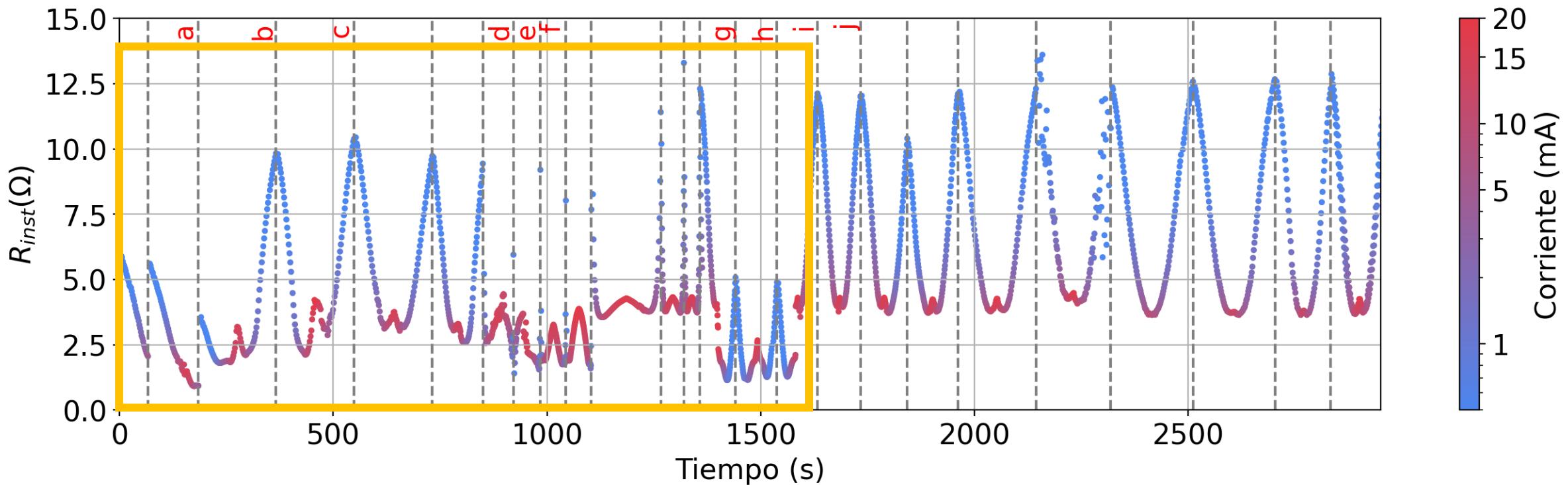
# Resistividad no-lineal en X5-b

X5-b tiene una  
respuesta fuertemente  
no-lineal! (a  $T < 60$  K)

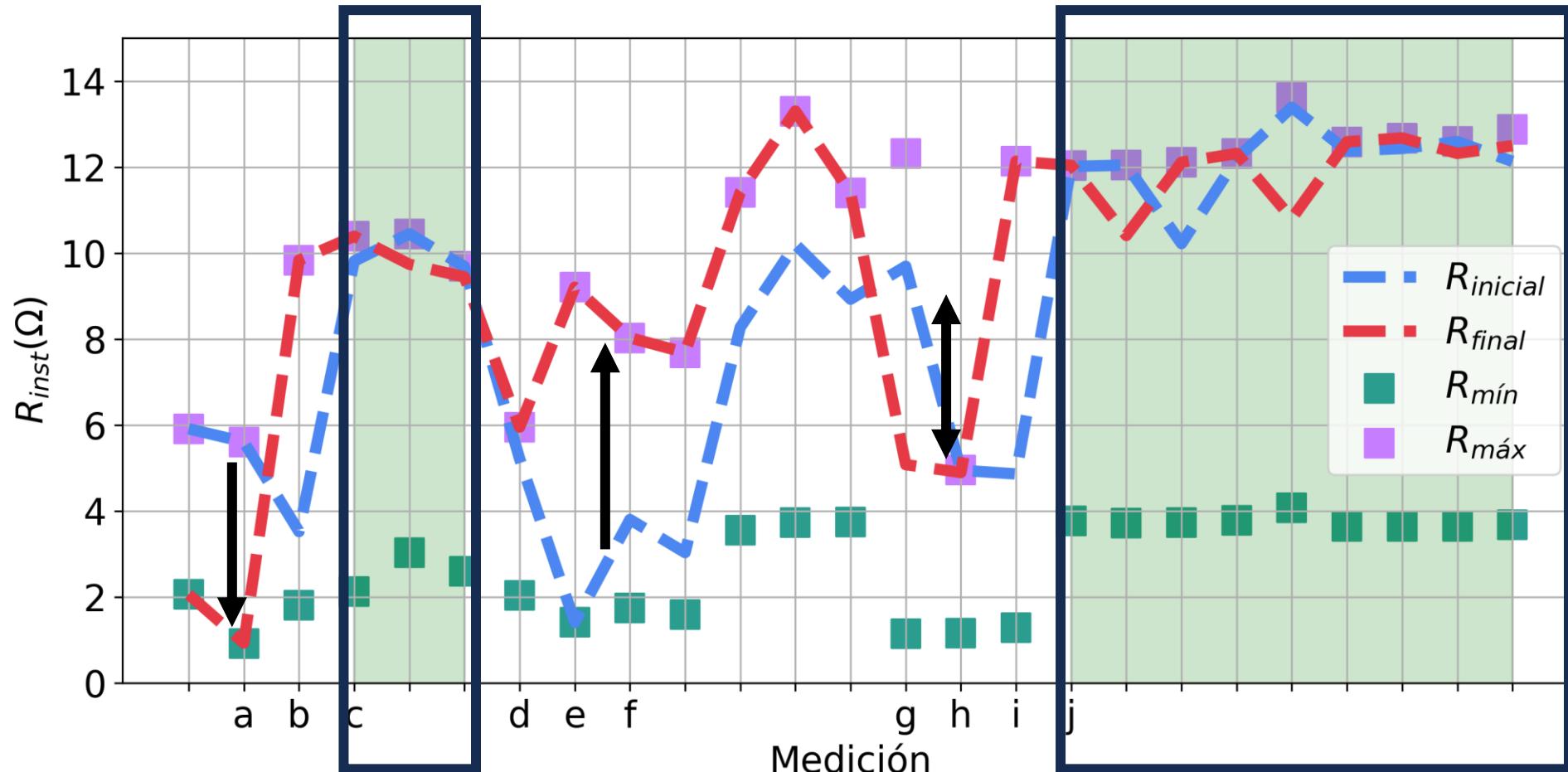


# X5-b: no-linealidad y memoria

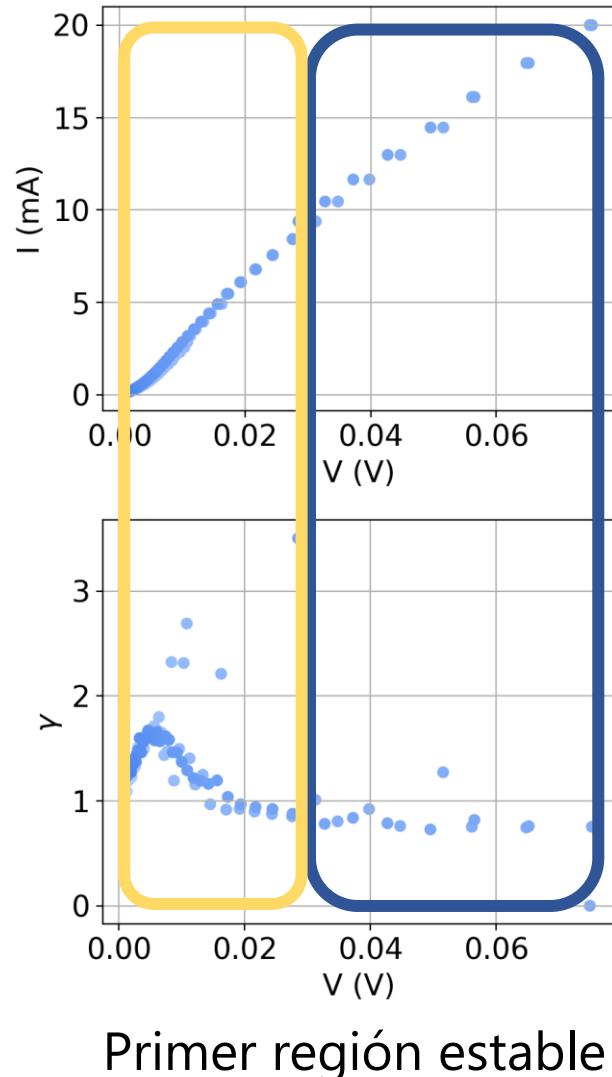
Los estudios a  $T \sim 15 K$  traen novedades



# Commutación aleatoria (volatilidad y no volatilidad)

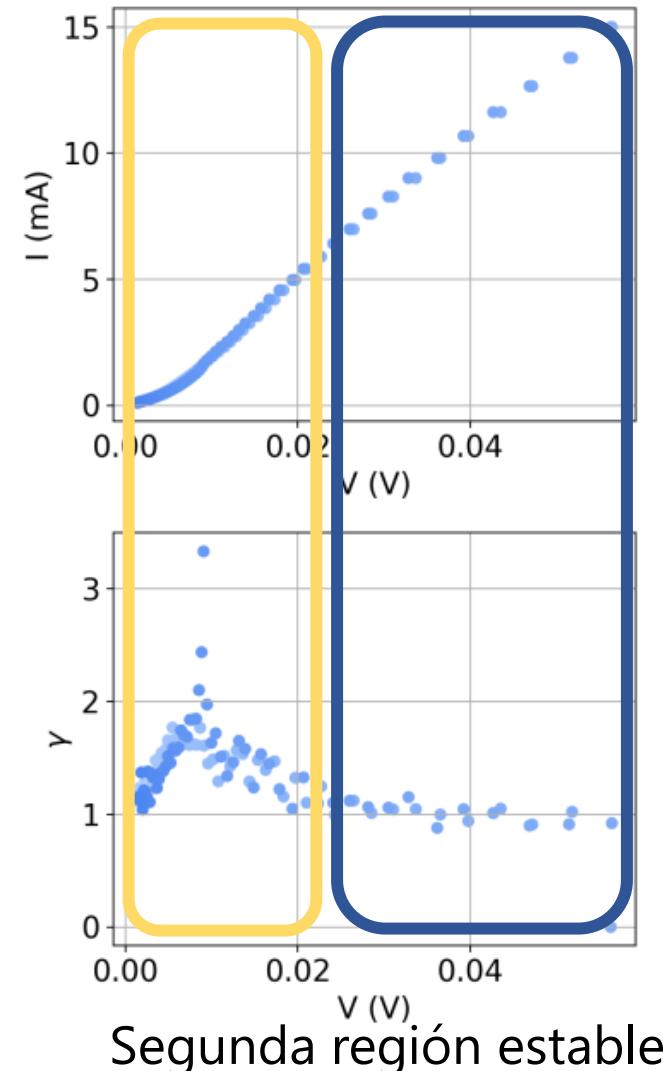


# Mecanismos de conducción: NL + óhmico

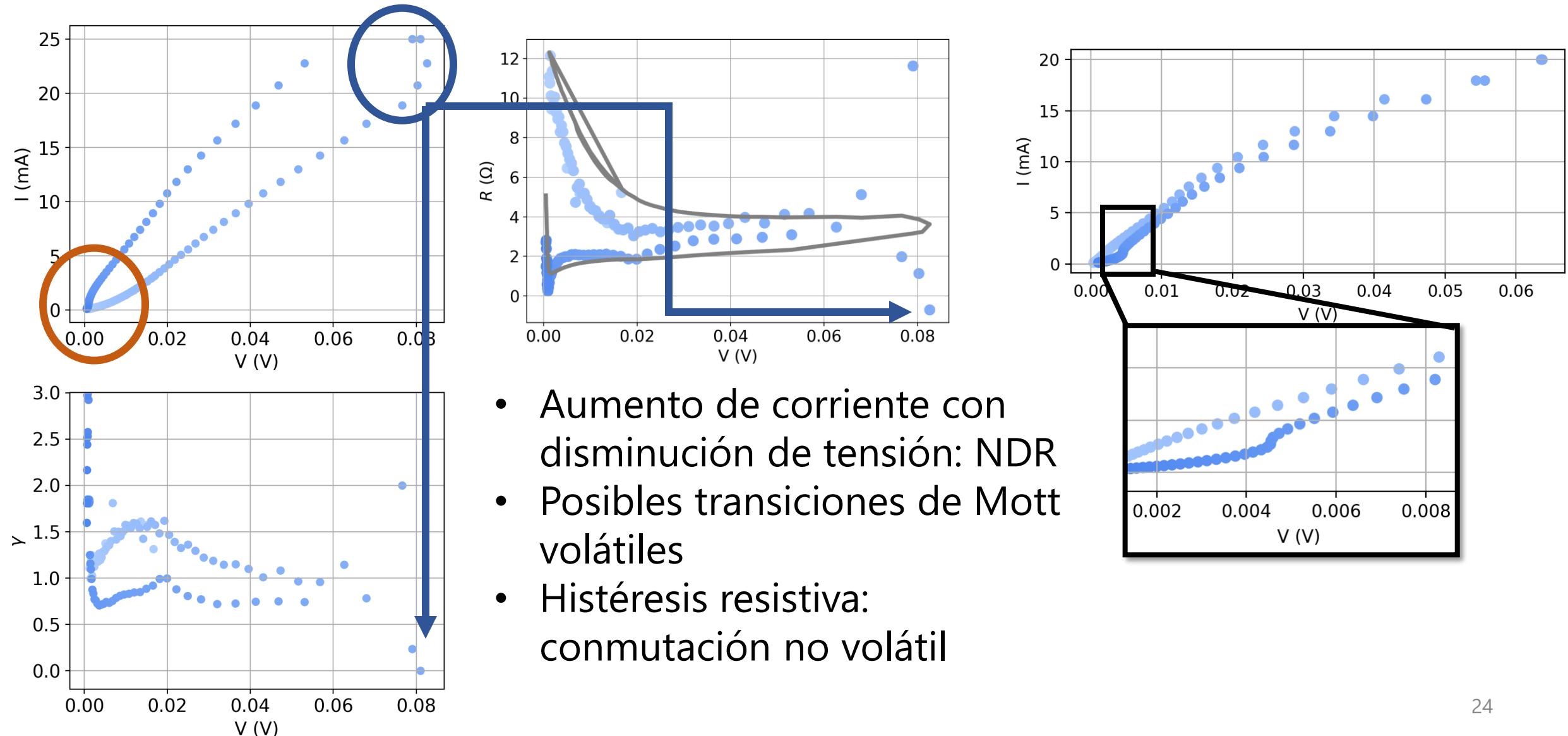


- Comportamiento NL a baja  $I$  ( $V$ )
- Conducción con limitante óhmico a mayor  $I$  ( $V$ )
- Asociación de oxigenación (parcial) ( $\gamma < 1$ ) a alta  $I$  ( $V$ )

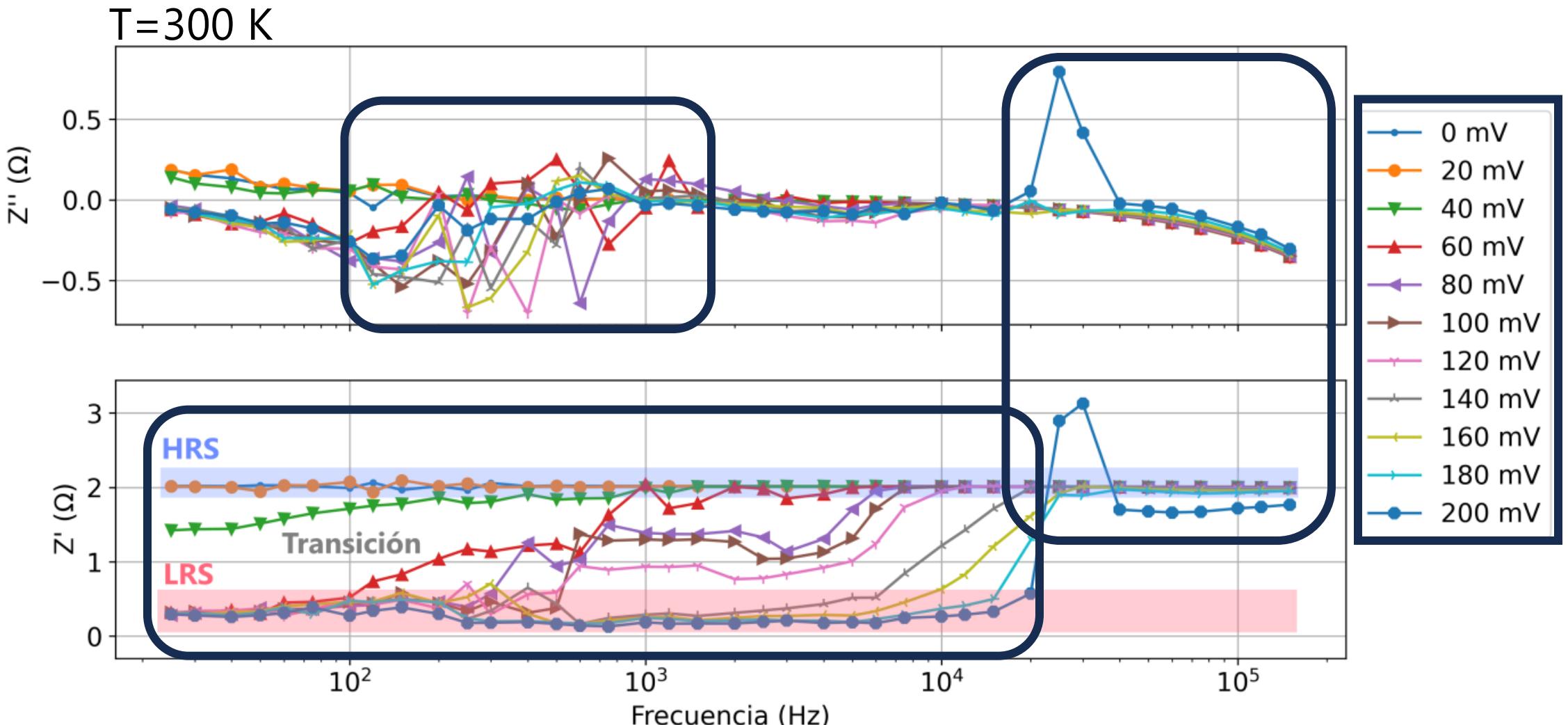
Resultados novedosos!



# IVs complejas: no-linealidad y transiciones (NDR)

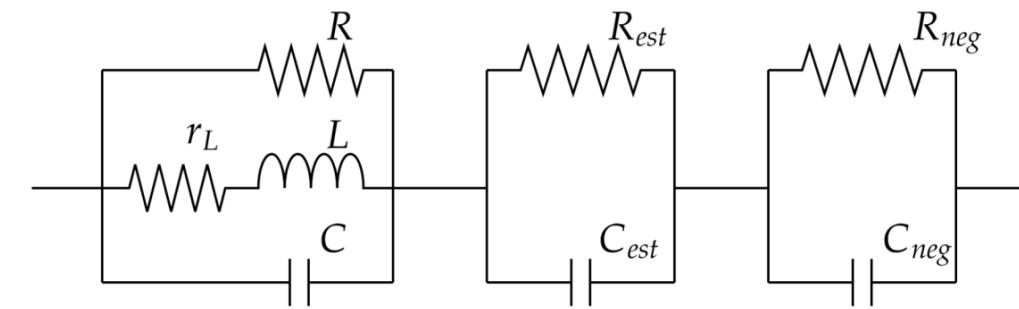
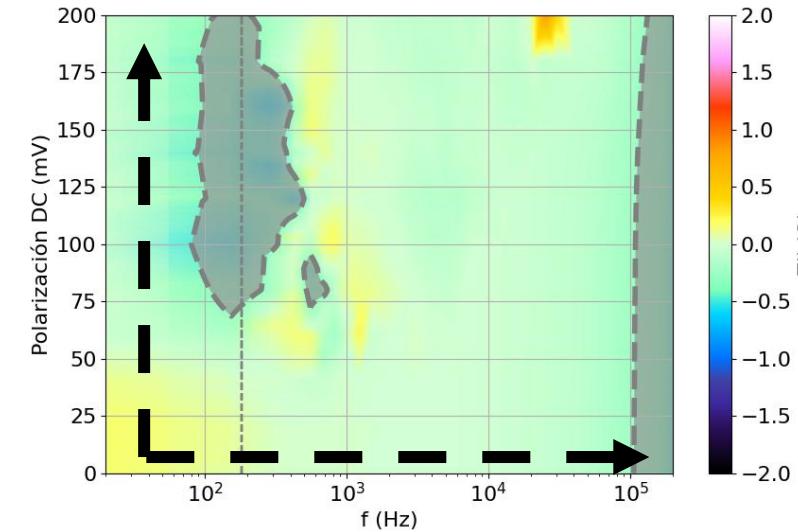
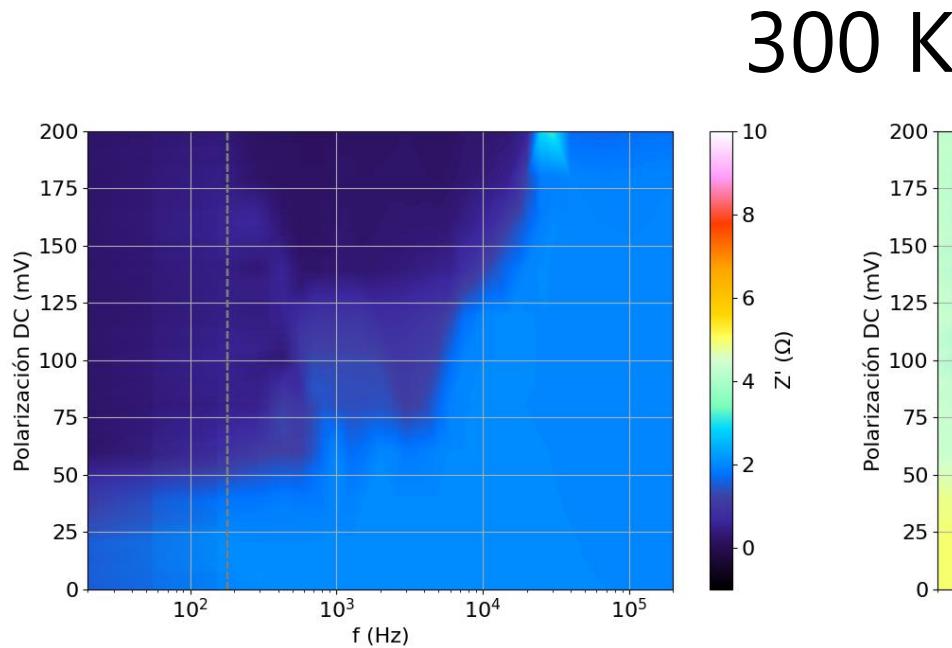


# Exploraciones en corriente alterna (4W)



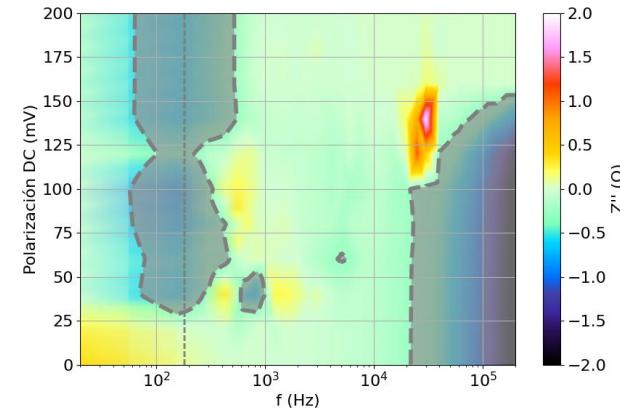
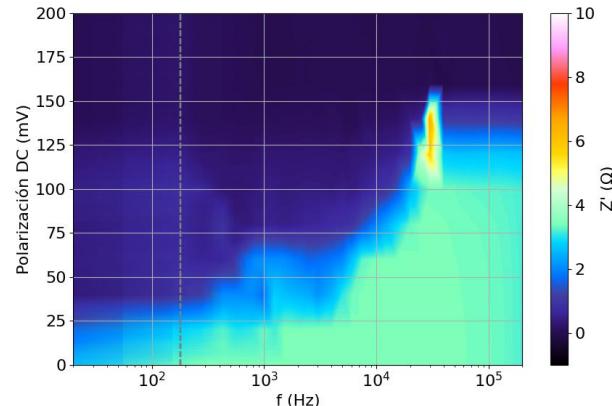
# Evolución en temperatura de las EI 4W en X5-a

- Dos estados: HRS y LRS  $\rightarrow$  nos concentraremos en  $V_{dc} = 0$
- Inductancia a capacitancia con  $f, V_{dc}$

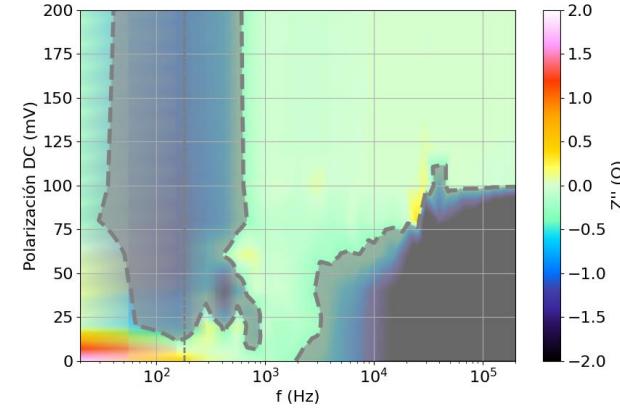
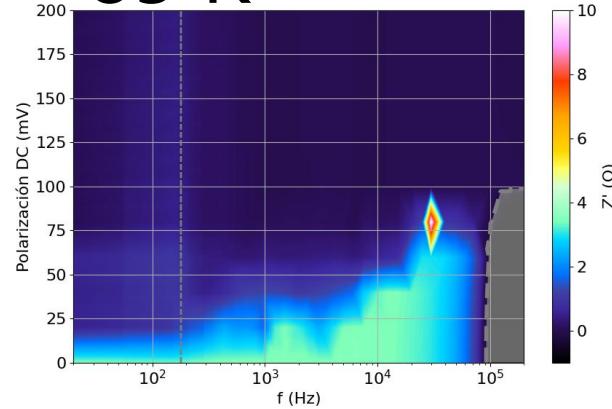


# Evolución en temperatura de las EI 4W en X5-a (cont.)

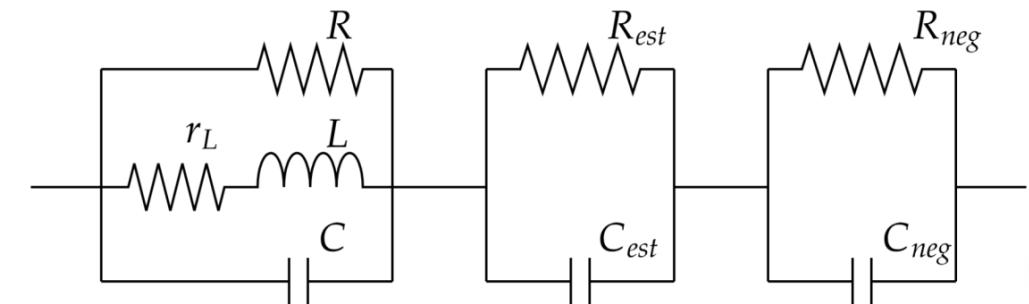
160 K



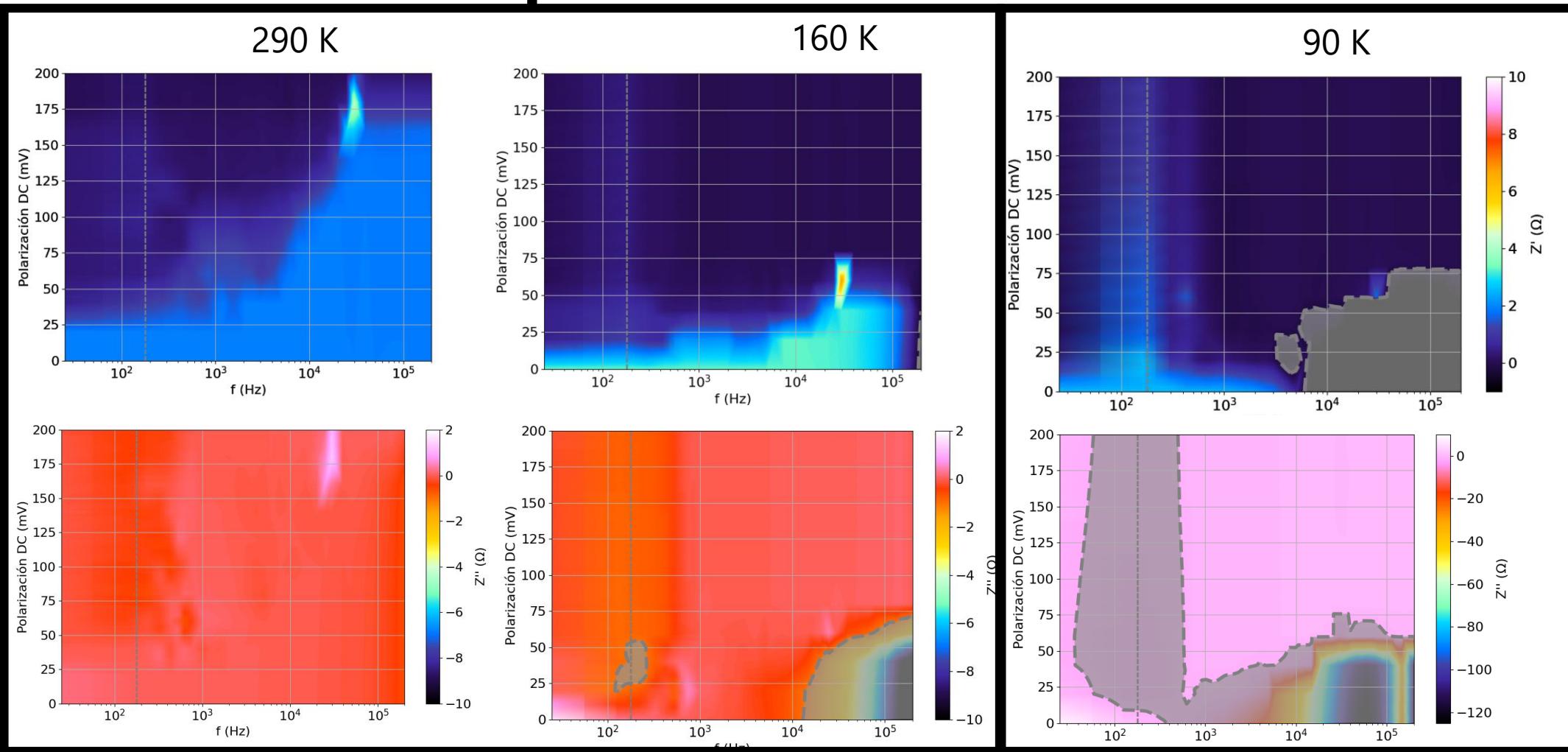
85 K



- Aumento de resistencia en HRS consistente con la  $\rho(T)$
- Cambios en la importancia de los bloques por el  $\tau(R)$
- Baja  $T \rightarrow$  sube  $R$  y toma relevancia el bloque de "resistencia negativa"



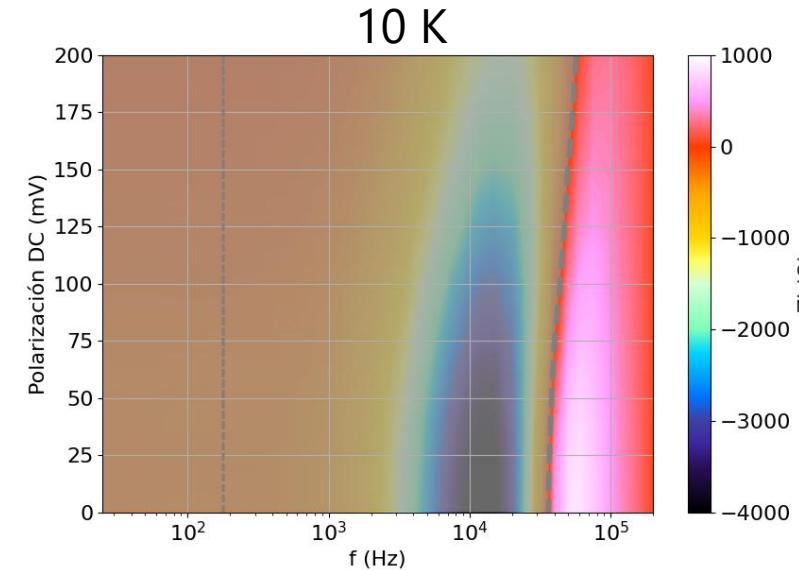
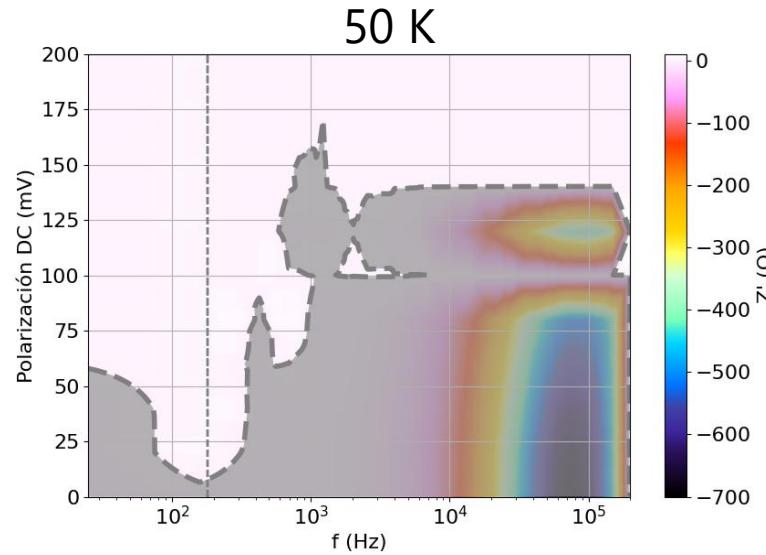
# Evolución para X5-b



Hasta  $\sim T_{MI}$  no cambia mucho la respuesta

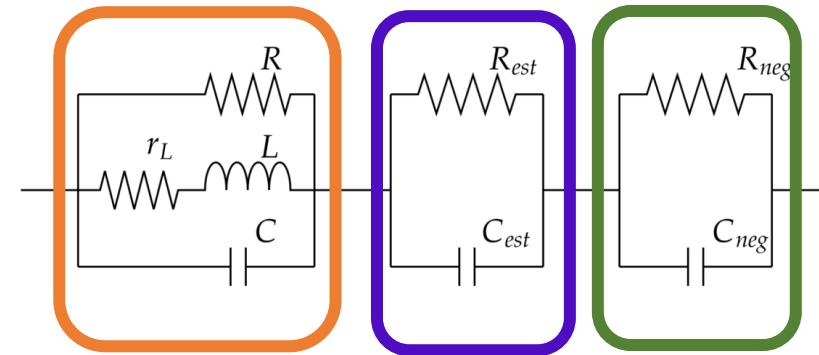
Por debajo ya aparecen diferencias 28

# X5-b a temperaturas muy bajas

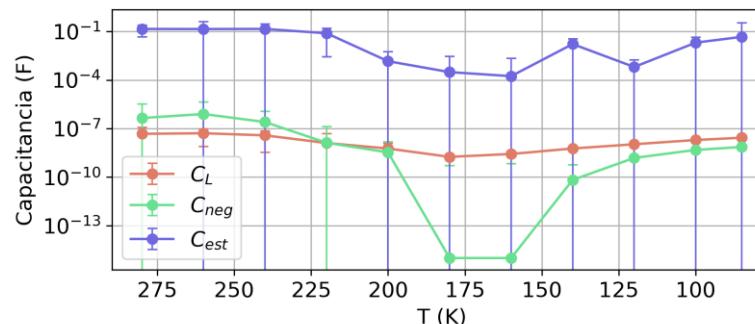
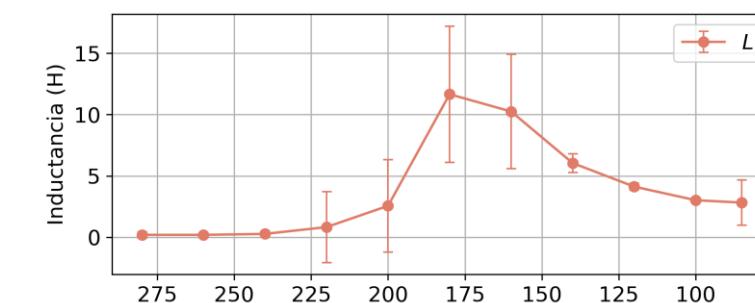
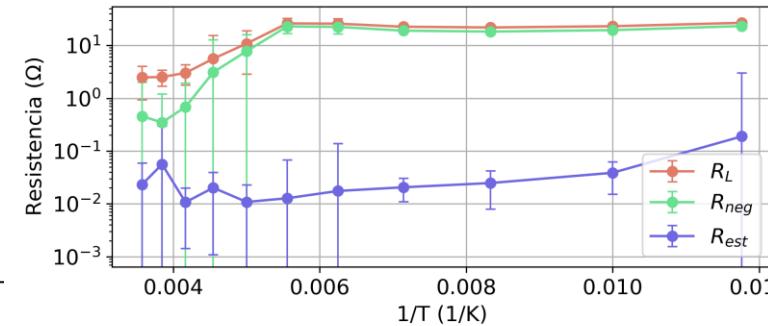


A muy bajas temperaturas el comportamiento se vuelve sumamente complejo

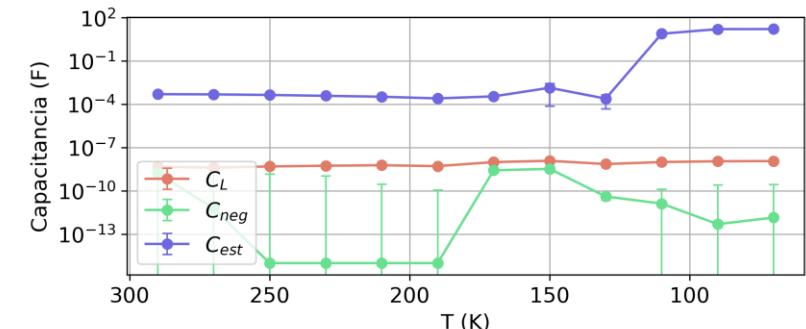
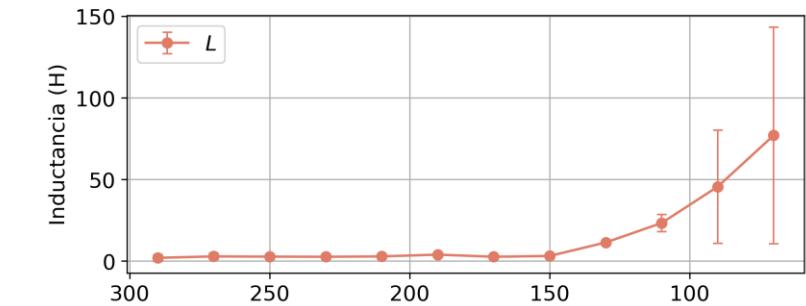
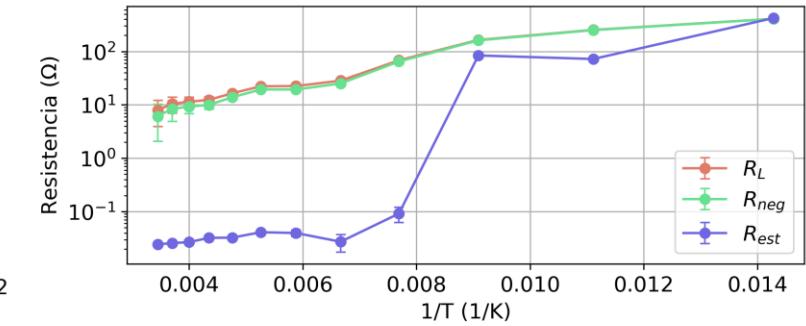
# Modelado en circuito equivalente



- Bloque de inductancia química: asociado a respuesta a migraciones
- Bloque estequiométrico: información de la oxigenación del material y otros defectos
- Bloque NDR: tiene las transiciones de Mott

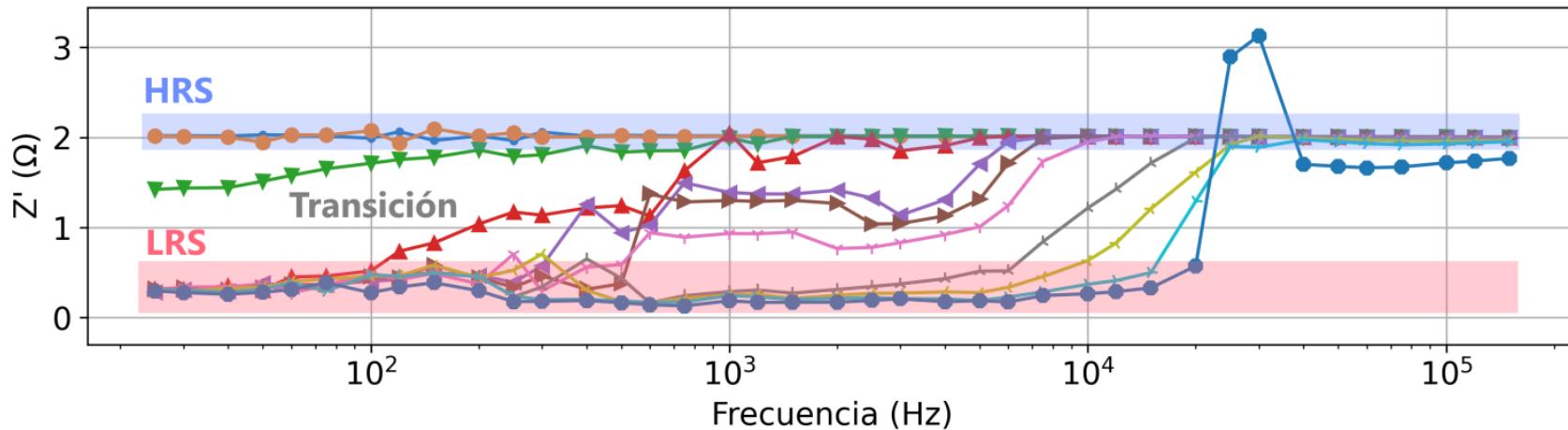


X5-a



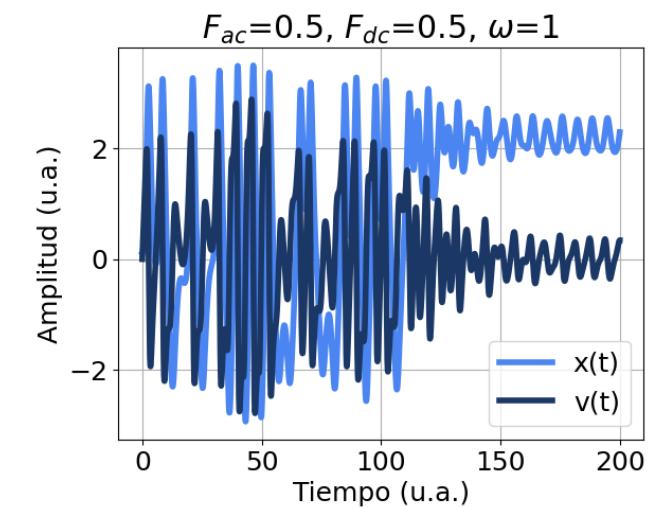
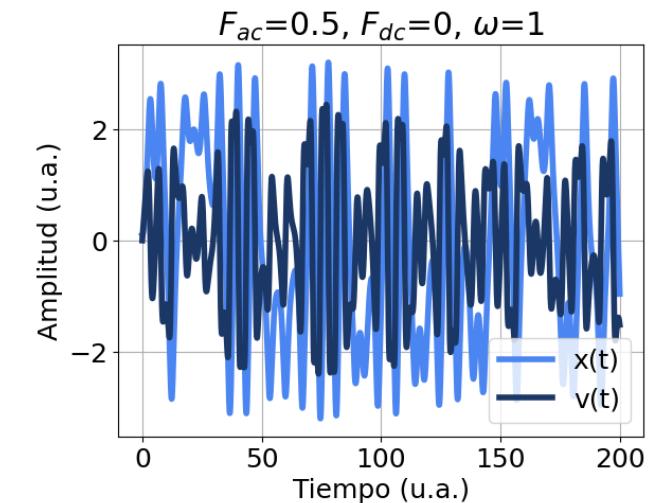
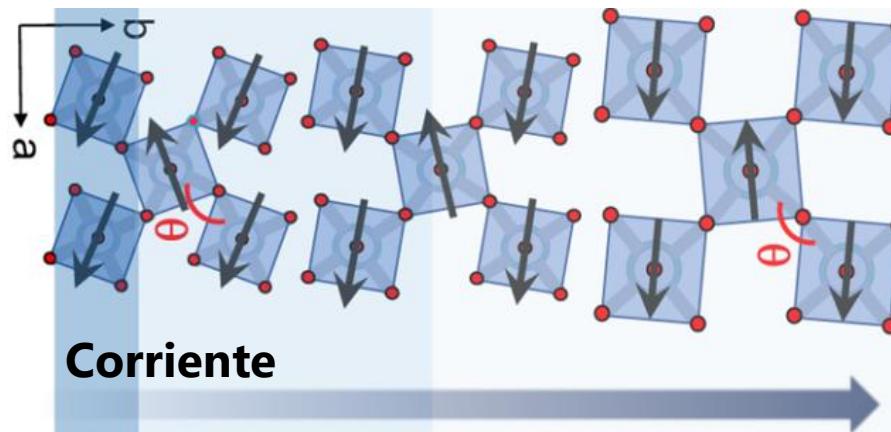
X5-b

# Modelado dinámico y Ec. de Duffing



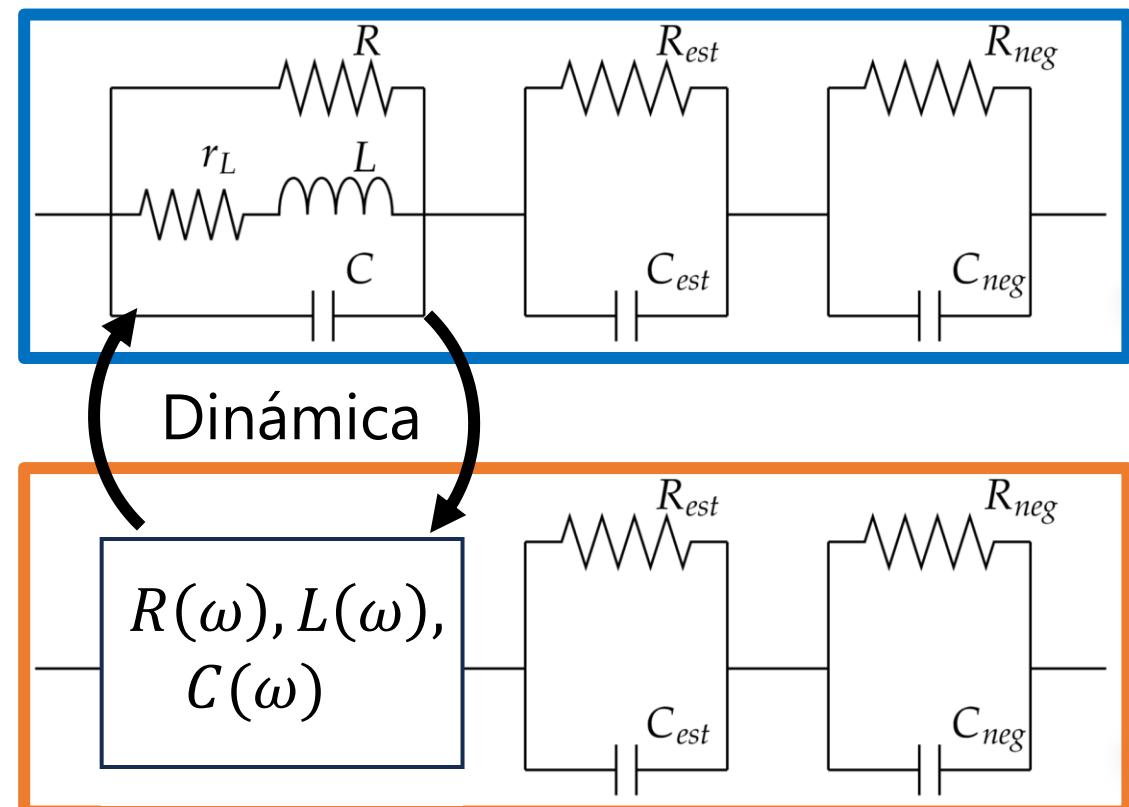
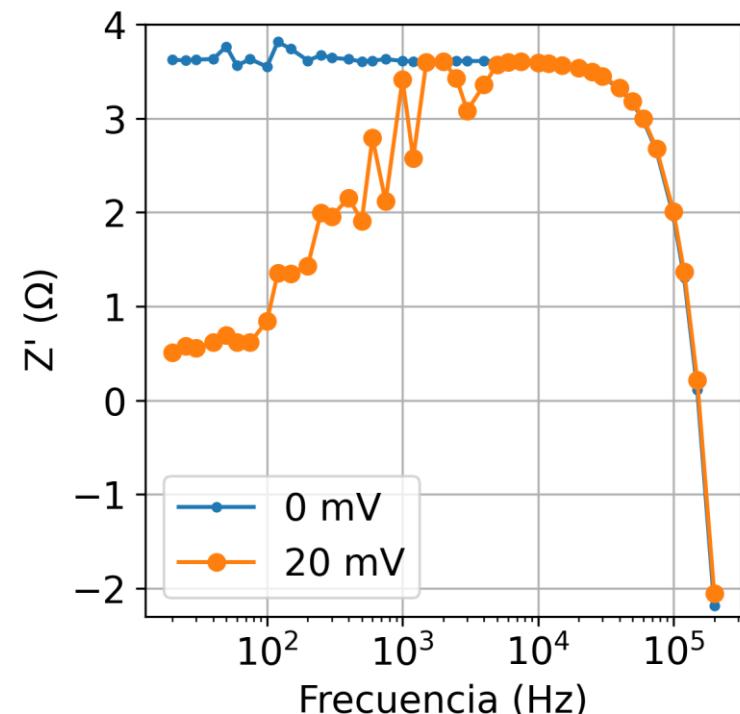
La frecuencia puede determinar en que estados nos encontramos.  
¿Y el  $V_{dc}$ ?  
Mas aun, ¿qué son estos estados?

Propuesta: ¡dinámica de octaedros!



# $V_{dc}$ y la dinámica de estados

- Aplicar un  $V_{dc}$  también modifica el estado: el bloque de la inductancia química cambia, hasta perder relevancia a frecuencias mayores



# **Conclusiones y perspectivas**

- La caracterización del SIO fue exitosa, generalmente replicando los comportamientos esperados pero mostrando la existencia de una novedosa memoria no volátil.
- La respuesta del sistema es de gran complejidad: NL+óhmico, R dinámica y transición de Mott (volatilidad y no volatilidad).
- La respuesta alterna evidenció la existencia de tres bloques: un bloque “Duffing” (ligado al movimiento de oxígenos), otro asociado al contenido de oxígeno y un tercero ligado a la transición de Mott.

### Perspectivas:

- Cristales con diferentes estequiométrías y/o defectos
- Expandir el modelado por la ecuación de Duffing: mayor resolución temporal, verificación de la dinámica

Fin  
¡Gracias por asistir!

# Agradecimientos

