



## Las excitaciones de baja frecuencia podrian pronto mapearse con precision nanometrica

Investigadores del ICFO han propuesto una tecnica que podria, por primera vez, detectar excitaciones de baja frecuencia en materiales no lineales y, al mismo tiempo, localizarlas espacialmente con resolucion nanometrica. Mediante ejemplos realistas, demuestran como su metodo podria identificar huellas moleculares del infrarrojo lejano a escala nanometrica. Este marco teorico, publicado en Nature Communications, podria implementarse utilizando luz visible y microscopios electronicos ya existentes.

January 27, 2026

---

Los atomos nunca permanecen completamente fijos, ni siquiera dentro de los materiales solidos. En cambio, vibran alrededor de sus posiciones de equilibrio, dando lugar a excitaciones colectivas conocidas como fonones. Estas y otras excitaciones fundamentales

son extremadamente difíciles de medir con una resolución espacial de nanómetros, principalmente porque sus frecuencias son tan bajas que las técnicas ópticas convencionales no alcanzan a resolverlas. De hecho, aun no existe un método capaz de acceder a información en el régimen que va desde el infrarrojo lejano hasta los terahercios con resolución nanométrica.

Ahora, investigadores del ICFO, **Leila Prelat** y el **Dr. Eduardo Dias**, dirigidos por el **Prof. ICREA F. Javier García de Abajo**, han propuesto a nivel teórico una **nueva técnica** denominada **catodoluminiscencia por mezcla de ondas** (wave-mixing cathodoluminescence, abreviado **WMCL**) para **mapear excitaciones de baja frecuencia** (del infrarrojo lejano a los terahercios) **en materiales no lineales con resolución nanométrica**. El enfoque, descrito en Nature Communications, usa exclusivamente **luz visible**, eliminando la necesidad de fuentes y detectores especializados de baja frecuencia.

El método WMCL comienza dirigiendo un haz de electrones hacia la muestra, lo que da lugar a excitaciones de baja frecuencia, como vibraciones de fonones. Al mismo tiempo, la muestra se ilumina con luz láser visible. Debido a la respuesta óptica no lineal del material, la luz láser y las excitaciones de baja frecuencia interactúan en lugar de evolucionar de forma independiente, mezclándose a través de un proceso llamado mezcla de ondas. Esta interacción produce un desplazamiento de frecuencia diminuto pero detectable en la luz láser dispersada, que, no obstante, permanece en el rango visible.

Así, **en el pequeño desplazamiento de frecuencia esta codificada información del rango de los terahercios, aunque la luz detectada siga siendo visible**. ¿En otras palabras, la mezcla no lineal permite que excitaciones de baja frecuencia invisibles se impriman en fotones visibles? explica Leila Prelat, primera autora del artículo. El profesor Javier García de Abajo, investigador principal del estudio, añade: ¿Este método abre un nuevo canal de medida a baja frecuencia en un campo en el que ninguna técnica existente cumple con la combinación requerida de resolución espacial y espectral? El equipo también ha mostrado cómo el WMCL podría utilizarse para identificar distintos componentes químicos dentro de capas moleculares delgadas depositadas sobre nanoestructuras. En particular, analizaron nanobarras de plata (nanoestructuras unidimensionales alargadas) recubiertas de una capa molecular de retinal. Ahora se necesita una realización experimental para validar estas predicciones y explorar aplicaciones adicionales, entre ellas la extensión de WMCL más allá de las vibraciones moleculares lo que permitiría sondear otros tipos de excitaciones de baja frecuencia.

#### **Referencia:**

Prelat, L., Dias, E.J.C. & García de Abajo, F.J. Wave-mixing cathodoluminescence microscopy of low-frequency excitations. Nat Commun **16**, 11551 (2025).

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-67288-1>

**Agradecimientos:**

This work was supported by the European Research Council (Adv. Grant 101141220-QUEFES), the European Commission (FET-Proactive 101017720-eBEAM), the Spanish MICIU (PID2024-157421NB-I00 and Severo Ochoa CEX2024-001490-S), and the CERCA program.