

## Desarrollo e implementación de la técnica de nanoindentación instrumentada por Microscopía de Fuerza Atómica: Aplicación en el estudio de las propiedades mecánicas de sistemas nanoestructurados

Simón Roa<sup>1\*</sup>, Martín Sirena<sup>2†</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Nanociencia y Nanotecnología - Centro Atómico Bariloche, CONICET - CNEA, Av. E. Bustillo 9500, R8402AGP S.C. de Bariloche, Argentina.

\*sroadaz8@gmail.com, †martinsirena@hotmail.com

### Resumen

El estudio de propiedades mecánicas de sistemas nanoestructurados, fundamentales para el desarrollo de nuevas tecnologías emergentes como sistemas electro-mecánicos a escala micro (MEMS) y nanométrica (NEMS), ha sido un tópico de alto impacto dentro de la física de materiales en los últimos años. Hoy en día, la técnica de nanoindentación es uno de los métodos más extendidos para la caracterización de estas propiedades en nanomateriales. El reciente interés por esta técnica se ha debido al desarrollo de equipos especializados en su implementación, siendo principalmente impulsado por la creciente demanda multidisciplinaria en diversas áreas de la nanotecnología. En virtud de la relevancia actual de esta técnica, los objetivos fundamentales de este trabajo son el desarrollo e implementación de esta técnica utilizando un Microscopio de Fuerza Atómica (AFM), siendo esta técnica el primer desarrollo de este tipo en Argentina. El objetivo principal es la sistematización de protocolos de calibración para la medición de curvas de fuerza-desplazamiento por AFM, las cuales son cruciales para el análisis cuantitativo de las propiedades mecánicas mediante modelos estándar. Los resultados derivados de esta etapa han permitido dilucidar de forma exacta las principales limitaciones físicas asociadas a la implementación de esta técnica.

La parte principal este trabajo tiene como objetivo la implementación esta técnica para el estudio de fenómenos físicos de potencial interés tecnológico en distintos sistemas nanoestructurados. Como objetivo específico se ha planteado el estudio de sistemas tales como películas delgadas de Cu y Ag y nanodiscos de Ag, los cuales fueron analizados con el fin de entender y cuantificar el efecto de distintos tipos de confinamiento en el comportamiento mecánico efectivo de los mismos. Nuestros resultados han demostrado particularmente que los efectos de espesor y confinamiento lateral deben tenerse en cuenta en el desarrollo de componentes metálicos a nanoescala para su uso en tecnologías de nueva generación como MEMS/NEMS, ya que su vida útil podría verse negativamente afectada en determinadas escalas de tamaño. En general, los resultados provistos en este trabajo proveen sólidos cimientos para la futura implementación de esta facilidad por parte de investigadores que requieran estudios complementarios de este tipo, tanto para investigación básica como aplicada. Se ha validado la factibilidad y utilidad de esta técnica para el estudio del comportamiento mecánico de sistemas tanto *bulk* como nanoestructurados [1 - 4], abriendo futuras perspectivas para el estudio de diversos materiales con alto impacto en la industria nanotecnológica.

**Agradecimientos:** The authors thank the “Centro Atómico Bariloche - Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA, Argentina)” for providing the AFM set-up used for nanoindentation measurements. This work was partially supported by the Universidad Nacional de Cuyo (Argentina). This work has received funding from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation program under the Marie Skłodowska-Curie grant agreement No. 734801, grant number PID2019-104604RB-C33 funded by MCIN/AEI/10.13039/501100011033, and grant number IT1162-19.

### Referencias

- [1] S. Roa, M. Sirena, J. Mater. Res. 36, 938-948 (2021), <https://doi.org/10.1557/s43578-021-00147-z>
- [2] S. Roa, M. Sirena, Mater. Today. Commun. 28, 102572 (2021), <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.102572>
- [3] S. Roa, M. Sirena, Phys. B: Condens. 633, 413773 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.physb.2022.413773>
- [4] S. Roa, M. Sirena, C. Redondo, R. Morales, J. Phys. Chem. Solids 163, 110605 (2022), <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2022.110605>