



PERSPECTIVAS DE LA MICROSCOPIA ELECTRÓNICA EN EL ESTUDIO DE NANOMATERIALES

DANIEL BAHENA URIBE

e-mail: dbahenau@cinvestav.mx

Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación y de Estudios Avanzado,
Laboratorio Avanzado de Nanoscopia Electrónica

Av. Instituto Politécnico Nacional núm. 2508, San Pedro Zacatenco, Gustavo A. Madero, C. P. 07360, Ciudad de México, México

La curiosidad es parte de la naturaleza del ser humano, buscar respuestas a lo desconocido es parte del ADN de la especie humana, el tratar de entender lo que nos rodea observando y estudiando su comportamiento ha llevado al desarrollo de herramientas que incrementan y superan la capacidad de la resolución del ojo humano el cual comprende su visión en el rango del espectro de la luz visible.

A continuación, se hace un breve recorrido por la historia de la microscopia con énfasis particular en los desarrollos que han marcado un detonante en el área. Alrededor del año 1590 Zacharias Janssen, su hijo Hans y Hans Lippershey, recibieron el crédito por la invención del primer microscopio óptico compuesto. Este novedoso instrumento fue usado en el siglo XVII por el filósofo natural británico Robert Hooke, quien realizó demostraciones en la organización británica de promoción científica conocida como Royal Society. Dichas demostraciones comenzaron en 1663 y dos años después se publicó el primer volumen de la revista *Micrographia*, el cual introdujo y mostró un amplio rango de objetos familiares, tales como pulgas y piojos, entre otros. Cabe destacar que el término *célula* fue acuñado por primera vez al describir un tejido.

El holandés Antonie van Leeuwenhoek construyó un microscopio simple (Figura 1), sus observaciones fueron pioneras en el estudio y entendimiento de microorganismos de agua dulce hacia 1670. Él fue el primero en describir células y bacterias; sus microscopios eran del tamaño de una estampilla de correos con una resolución alrededor de $0.7 \mu\text{m}$.

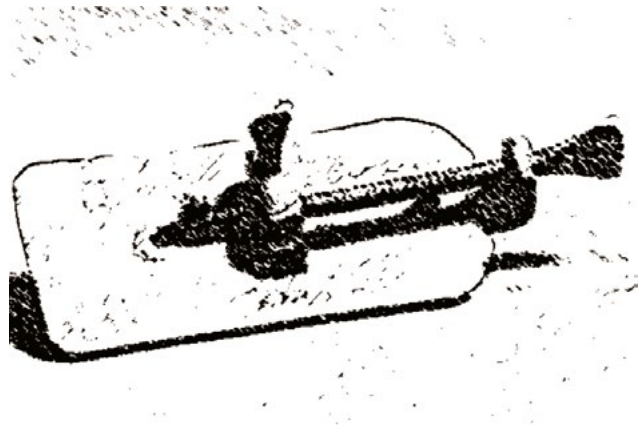


Figura 1. Microscopio fabricado por Antonie van Leeuwenhoek.

La microscopia fue revolucionada en la década de los años treinta, en gran medida por la implementación de electrones para iluminar las muestras a estudiar, lo cual llevó a crear imágenes de mayor magnificación en comparación con lo que permitían los microscopios ópticos.



A Ernest Ruska se le atribuye el diseño y construcción del primer microscopio electrónico de transmisión basado en una idea del físico Leo Szilard 1931. El microscopio electrónico depende de electrones y no de fotones o luz visible para ver un objeto, como es el caso de un microscopio óptico, los microscopios de transmisión modernos pueden visualizar objetos del diámetro de un átomo (Figura 2). El desarrollo de este microscopio le dio el premio Nobel de Física en 1986.

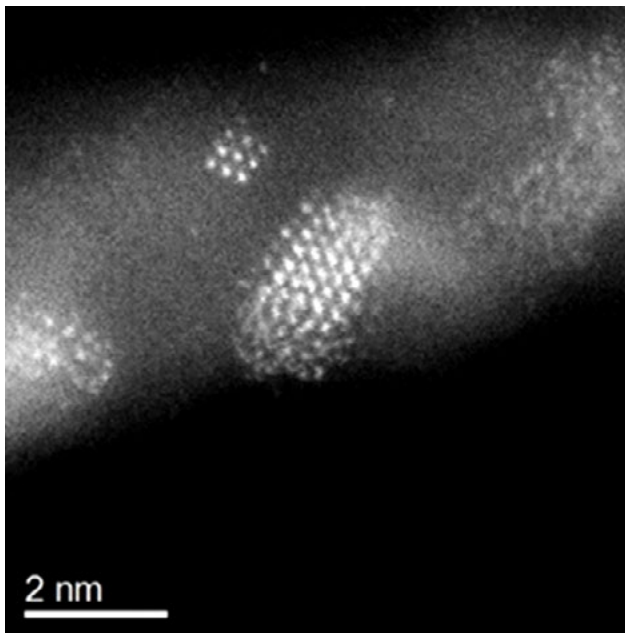


Figura 2. Átomos de iridio soportados en TiO_2 [1].

El primer microscopio electrónico de transmisión en barrido (STEM, por sus siglas en inglés) fue construido en 1937 por Manfred von Ardenne, basado en la idea de Max Koll, de un escáner de haz de electrones, aunque en realidad fue el trabajo de Albert Victor Crewe [2] sobre el estudio de la emisión de campo de electrones lo que revolucionó la técnica STEM.

Otto Scherzer estableció en su famoso artículo científico en 1936 la inevitable aberración esférica positiva (Cs, por sus siglas en inglés)

en las lentes electrónicas redondas, aunque ya en 1947 propuso esquemas prácticos para eludir la aberración esférica. Sus ideas iniciales tomaron 50 años para llevarse a cabo. A Otto Scherzer se le conoce como el padre de la corrección de aberración esférica.

Numerosos grupos de investigación en Alemania, Reino Unido y Estados Unidos intentaron construir correctores de aberración esférica pero no fue hasta finales de 1990 gracias a la alta precisión de los sistemas electrónicos y al gran progreso de los sistemas de cómputo que Harald Rose, Joachim Zack y Max Haider lograron construir los sistemas corrección de aberración esférica para microscopios TEM y STEM.

Como contexto, el microscopio electrónico es usado principalmente para resolver y revelar la estructura interna de los materiales sólidos, cabe resaltar que los científicos del área de materiales le llaman *microestructura* mientras que los biólogos prefieren el término *ultraestructura*.

En la actualidad, los avances en microscopía electrónica van de la mano con los desarrollos de porta muestras que permiten realizar diversos estudios *in situ*, lo cual ha aportado un gran entendimiento de las propiedades en las áreas de ciencia de materiales y biológica. Las pruebas que actualmente existen en el mercado son de calentamiento, electroquímicas, eléctricas, mecánicas, bajas temperaturas, con ambientes de gas controlado, los cuales nos pueden dar un mejor entendimiento a resolución atómica de sistemas a estudiar en sus medios nativos, como es el caso del área biológica o estudio de materiales catalíticos en entornos de gases reactivos y ver las interacciones de la superficie del nanomaterial y el gas a resolución atómica.

En la Figura 3 se observa la gráfica de la evolución en la mejora de la resolución espacial,



¿se ha llegado al límite? Aún no conocemos esta respuesta, pero la tendencia actual en microscopía electrónica está enfocada en dos líneas principalmente, una de ellas ha sido el desarrollo de detectores de nueva generación que pueden coleccionar más información, la microscopía electrónica 4D STEM es una técnica que captura patrones completos de difracción en 2D en cada posición de píxel en modo STEM. Estas señales difractadas en modo STEM contienen información acerca de la estructura, composición, espectros de fonones, cristalografía de defectos 3D y mucha más información del material.

Por último, existen grupos de investigación que están proponiendo como estrategia de sostenibilidad de la infraestructura de los microscopios una modalidad de intercambio de un aditamento en el microscopio, cambiar las piezas polares del equipo ya que el 90% de las características de la mayoría de los equipos son similares y solo la pieza polar es la que varía, dependiendo si es un equipo se trata para obtener información de la muestra en alta resolución o un equipo para realizar estudios analíticos como EDS o cátodo-luminiscencia.

En resumen, en la actualidad estamos atravesando una de las revoluciones tecnológicas en el área de la microscopía electrónica más importantes. Han sido varias décadas de investigación y desarrollo que han logrado aportar avances en el área de ciencia de materiales y biología. Entre ellos destaca el Premio Nobel del año 2017, el cual fue otorgado a un grupo de investigación por el desarrollo de la Cryo-electron Microscopy, la cual ha ayudado a la determinación de la estructura de biomoléculas en solución.

Referencias

- [1] Hernández-Cristóbal, O., Arenas-Alatorre, J., Díaz, G., Bahena, D., & J. Yacamán, M. (2015). High resolution HAADF characterization of Ir/TiO₂ catalyst reduced at 500 °c: Intensity profile analysis. *Journal of Physical Chemistry C*, 119(21), 11672-11678. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b01923>
- [2] Crewe, A. V. (1971). High Intensity Electron Sources and Scanning electron Microscopy. *Electron Microscopy in Material Science*, 162-207. Academic Press, New York.
- [3] Pennycook, S.J., Varela, M., Hetherington, C.J.D. et al. (2006). Materials Advances through Aberration-Corrected Electron Microscopy. *MRS Bulletin*, 31, 36-43. <https://doi.org/10.1557/mrs2006.4>

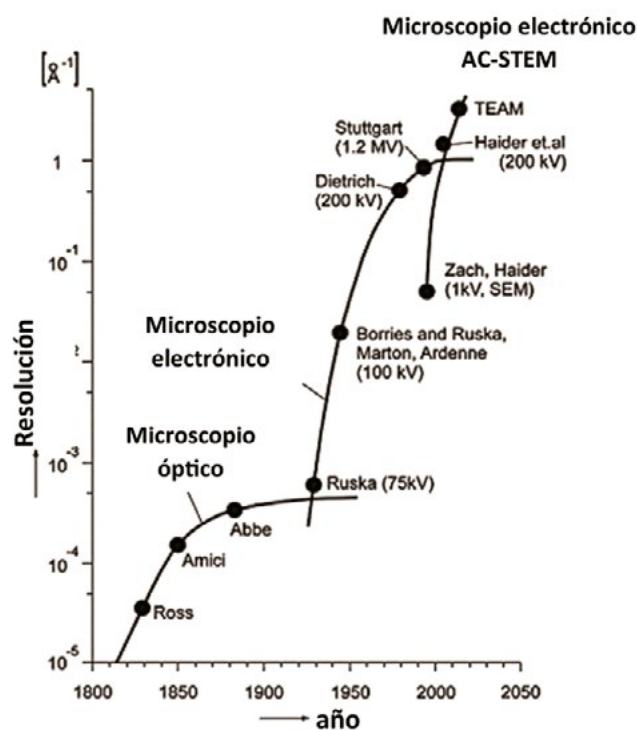


Figura 3. Evolución de la resolución en la microscopía [3].