

#### **40 AÑOS DEL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO.**

Carlos A. Toledo(1), Raquel Varela(2). (1) Laboratorio Central de Criminalística, Zulueta No.465 Ciudad Habana, Cuba. (2) Facultad de Ingeniería Eléctrica, ISPJAE.Habana, Cuba, e-mail: gordillo@mnmn.co.cu

La observación de objetos pequeños siempre ha estado entre los mayores desafíos encarados por el hombre y, sin lugar a dudas, el Microscopio Electrónico de Barrido ha figurado entre las principales herramientas que le han permitido salir victorioso de este reto.

Pero el desarrollo de este formidable instrumento no fue un camino fácil. Ya desde finales del Siglo XIX resultaba evidente a partir de los trabajos de Abbe que mediante la iluminación con ondas electromagnéticas no era posible mejorar significativamente la resolución del microscopio óptico, simultáneamente, mientras realizaba estudios con tubos de rayos catódicos, J.J. Thomson descubrió los electrones, partículas que luego jugarían un papel decisivo en los microscopios de nuevo tipo que se avecinaban.

En un inicio se vio que los electrones se manifestaban de forma compatible con las propiedades corpusculares y no existía en la Física la idea de que las partículas pudieran presentar un comportamiento dual. En el año 1924 D'Broglie sacude los cimientos del conocimiento de su época al enunciar el carácter ondulatorio de los electrones y asignarles longitudes de ondas dependientes de sus energías. Este planteamiento teórico, que luego fue confirmado, sentó las bases para que se pensara en los electrones también como una onda.

En el año 1926 Busch presenta el diseño de una lente electromagnética; de acuerdo a sus enunciados sería posible enfocar un haz de electrones de la misma forma que en la óptica se enfoca la luz mediante los lentes. Este aporte sin dudas significó el establecimiento del último requisito necesario para que fuera construido un Microscopio Electrónico de Transmisión, mérito que correspondió a E. Ruska y M. Knoll en 1933, invención que le valió al primero el Premio Nobel de Física en 1986.

A la obtención del Microscopio Electrónico de Transmisión (MET) siguió la propuesta del Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) por el propio Knoll en 1935; no obstante, el vertiginoso desarrollo que llevó en muy poco tiempo a la obtención del MET y que culminó en 1939 con la obtención del primer equipo comercial por parte de Siemens, no se produjo en el caso de MEB y fue necesario esperar 30 años, a partir de los trabajos de Knoll, para que el primer MEB saliera al mercado [1].

¿Por qué debió esperarse tanto entre la concepción teórica del MEB y su materialización? La interrogante planteada resulta contradictoria, sobre todo si tenemos en cuenta que la obtención del MET debió significar un apoyo tanto conceptual como tecnológico para el desarrollo de la Microscopía Electrónica. La explicación de esta demora era sin dudas tecnológica y entre ellas se encontraban los efectos causados por las aberraciones, las dificultades para lograr un sistema de barrido con el debido sincronismo y la necesidad de un sistema de detección con suficiente rapidez de respuesta.

A solucionar los problemas planteados se dedicaron numerosos científicos en diferentes partes del mundo. Ya en el año 1938 M. von Ardenne introduce un sistema de barrido en un MET, lo que dio lugar a un nuevo tipo de equipo, el Microscopio Electrónico de Barrido-Transmisión (MEBT). Un año después Boersch logra haces electrónicos del orden de los 2,5nm, factor determinante cuando se quiere alcanzar resoluciones elevadas [2].

En el año 1942 se produce un salto considerable en el desarrollo del MEB con los trabajos que desarrollan Zworykin y un conjunto de colaboradores. En el Microscopio desarrollado por Zworykin sobresalen la introducción de un Detector de Electrones Secundarios (DES), al cual se le aplicó una carga de recolección de +50V, así como un Tubo Foto Multiplicador (TFM). No obstante estos aportes este microscopio solo llegó a una resolución del orden de los 50nm y aumentos de 8,000x lo que lamentablemente desestimuló a sus creadores que no continuaron los trabajos.

En 1948, bajo un proyecto dirigido por C.W. Oatley, McMullan desarrolla una columna muy eficaz basada en lentes electromagnéticas, logra una fuente estable de alto voltaje para alimentar el filamento e introduce el Tubo de Rayos Catódicos (TRC) como sistema de registro y observación de las imágenes, aportes que representaron un importante avance en el desarrollo de la Microscopía Electrónica de Barrido [3].

En el año 1956 ocurre otro avance importante cuando K.C.A. Smith introduce el procesamiento no lineal de las señales, el barrido con doble deflexión del haz y la corrección electromagnética del astigmatismo, así como un sistema eficaz de centrado de las aperturas [1].

Dando continuidad a los trabajos de McMullan y de Smith, Everjart y Thornly desarrollan en 1960 un detector basado en el empleo de un dispositivo centellador, una guía de luz y un TFM. Este detector significó un aporte tal, que permanece como estándar hasta nuestros días sin variaciones significativas de su concepción y sin dudas fue la antesala de la salida del MEB al mercado [4].

En los años 60 varios fabricantes de Microscopios Electrónicos trabajaron en el desarrollo de un equipo que pudiera ser comercializado, este logro le correspondió a la Cambridge Scientific Instruments con el MARK I

STEREOSCAN, equipo que sale al mercado en Diciembre de 1965, seguido muy de cerca por JEOL, que comercializa su primer MEB en enero de 1966 [5].

El desarrollo del Microscopio Electrónico de Barrido no se detuvo con la salida al mercado del primer microscopio hace ya 40 años, sino que por el contrario continúa en nuestros días. Un aporte importante a este desarrollo estuvo relacionado con el mejoramiento de las fuentes de iluminación. Hasta ese momento los filamentos de Wolframio dominaban este importante componente del equipo, pero en 1969 Broers introduce el filamento de LaB<sub>6</sub>, mientras que casi simultáneamente Crewe realiza sus trabajos que destacan las ventajas como fuente del Cañón de Efecto de Campo.

En la década del 70 se van produciendo diferentes mejoras y refinamientos sobre todo en las lentes de los microscopios, así como en el desarrollo de diferentes sistemas de detección, hasta que en 1985 la firma Carl Zeiss obtiene un resultado importante al introducir el primer MEB en el cual el barrido no era controlado de forma analógica sino digital, este aporte luego sería determinante para lograr Mapeos de Rayos X mucho más eficaces, y para corregir defectos de imagen por acumulación de cargas en el espécimen [6].

En el año 1986 surge la Microscopía Electrónica de Barrido controlada mediante computadora. En este momento eran computadoras de propósito específico y a estos equipos se les llamó de 1era. generación, para diferenciarlos de los que surgieron en el año 1992, llamados de 2da. generación, en los que una computadora personal tomaba el control del sistema. Estos dos aportes fueron logrados por LEO, firma heredera de la Cambridge Scientific Instruments, que había logrado el primer MEB comercial.

A finales de la década del 80, pero sobre todo ya en los años 90, tuvo lugar otro avance importante en la Microscopía Electrónica de Barrido; hasta ese momento, salvo en trabajos que luego no tuvieron continuidad (como los del propio Smith en 1956), siempre se había considerado como inevitable que la muestra que se observaba en el Microscopio Electrónico debía estar al vacío, condición que imponían tanto la duración del filamento, como el paso de los electrones por la columna, lo que debía ocurrir como un camino libre sin interacciones que afectaran su movimiento. Pero en este período surgen diferentes opciones para diferenciar el vacío del cañón y la columna, del correspondiente a la zona donde se encontraba la muestra. En el desarrollo de tecnologías con esta finalidad, indiscutiblemente la Philips con sus Microscopios Ambientales y la utilización de varias Aperturas Limitadoras del Vacío en sus diseños tuvo los resultados más significativos [7].

En la actualidad la Microscopía Electrónica de Barrido no se ha detenido. Aunque han surgido otros Microscopios como los de Fuerza Atómica con resoluciones superficiales a niveles atómicos, el MEB conserva un importante sector en los requerimientos de gran cantidad de ramas del conocimiento humano. En los últimos años se ha visto el surgimiento de la Microscopía Remota, que no solo facilita el diagnóstico de roturas a distancia sino incluso el que un equipo pueda ser compartido por usuarios ubicados a grandes distancias [8]. También se ha trabajado con éxito en la obtención de equipos “inteligentes”, capaces de fijar las condiciones de trabajo con un alto grado de independencia, a partir de algunos datos elementales sobre la muestra [9].

No cabe duda de que en el futuro la Microscopía Electrónica de Barrido continuará prestando, como en estos 40 años, un invaluable servicio a la comunidad científica, en campos tan disímiles como la Arqueología, la Medicina, la Botánica, el Análisis de Materiales y las Ciencias Forenses.

#### Bibliografía

- [1] J.I. Goldstein, et al., Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, Plenum Press, New York 1992.
- [2] V.D. Scott & G. Love, Quantitative Electron-Probe Microanalysis, Ellis Horwood Ltd., 1983.
- [3] W. Nixon, History and Early Developments of the Scanning Electron Microscopy, XIV ICEM, Mexico, 1998.
- [4] B.C. Breton, The Early History and Development of the Scanning Electrón Microscope, Cambridge University Engineering Department, 2004.
- [5] S. Kimoto, The Scanning Microscope as a System, JEOL News, Jeol Ltd., 1985.
- [6] LEO, The New Force in Electrón Microscopy, LEO Electron Microscopy Ltd., UK, 1995
- [7] FEI Electron Optics, Todo lo que quiso saber sobre la Microscopía Electrónica, 90-9007555-3, 1990.
- [8] B.C. Breton et al., Remote Microscopy in the Real World, Microscopy and Analysis, Sep. 1997.
- [9] N.H.M. Caldwell et al., Making SEMs Smarter, Microscopy and Analysis, Nov. 1996.