



lo cual sugiere que c-src desempeña una función muy importante en las células normales. El hallazgo descrito para src fue repetido para otros oncogenes retrovirales. Así, Sheines y Bishop descubrieron en 1979 el gen c-myc (presente en el retrovirus MC29), el cual se encuentra molecularmente alterado en varios carcinomas humanos, incluyendo cáncer cérvico-uterino.

Con el descubrimiento de los proto-oncogenes y sus versiones alteradas (los oncogenes), se ha efectuado el avance más espectacular en relación al mecanismo molecular que hace que una célula normal se transforme en cancerosa; con estos estudios se explican e integran los resultados que tanto clínicos como investigadores moleculares han acumulado durante muchos años. Actualmente se tienen suficientes evidencias experimentales indicando que el cáncer empieza por daño al DNA, específicamente a los "genes del cáncer", es decir, a los proto-oncogenes descubiertos por Bishop y Varmus. El daño genético provoca una actividad aumentada del producto de los oncogenes, con la siguiente desregulación del crecimiento celular. Respecto a esto último, hay evidencias experimentales indicando que los proto-oncogenes celulares (unos 50 tipos diferentes) juegan un papel importante en la replicación del DNA celular (c-myc), en la transcripción de genes probablemente implicados en crecimiento celular (c-jun) y en otros procesos básicos de la célula. Los productos de los proto-on-

cogenes yes, fgr, abl, fps, fes y ros son tirosina-cininasas; otros son factores de crecimiento y aún otros son receptores a factores de crecimiento.

Actualmente, y como consecuencia de los experimentos de Bishop y Varmus, se empiezan a delinear las bases moleculares de un diagnóstico precoz, pronóstico adecuado y terapia efectiva en cáncer humano. Por ejemplo, varios reportes recientes correlacionan amplificación del oncogen c-erb b-2 con mal pronóstico en cáncer mamario, lo cual implica tratamientos más radicales en esta neoplasia.

Los descubrimientos de Bishop y Varmus seguirán teniendo por mucho tiempo un gran impacto, no sólo en la lucha contra el cáncer sino en investigación básica, y esto sin duda, será el mejor premio que un científico pueda recibir.

## Física: Átomos sin núcleo como nuevos patrones de tiempo

*David J. Fernández C.*

**Departamento de Física**

*Rigoberto García Cantú*

**Sección de Metrología,**

**Departamento de Ingeniería Eléctrica**

El viernes 13 de octubre del presente año, se dieron a conocer los nombres de los ganadores del premio Nobel de física 1989. La distinción será otorgada al estadounidense Norman F. Ramsey, por su trabajo que dió lugar al primer reloj atómico y al primer maser de hidrógeno. Al estadounidense Hans G. Dehmelt y al alemán Wolfgang Paul les corresponde por sus contribuciones fundamentales al desarrollo de las trampas de iones y electrones. Ambos trabajos tienen su aplicación más relevante en la obtención de patrones atómicos de tiempo y frecuencia. La incertidumbre que se ha logrado con el patrón atómico de cesio es de sólo ocho partes en  $10^{14}$ , pero dicha incertidumbre se reducirá a una parte en  $10^{18}$  utilizando trampas iónicas. El trabajo de N.F. Ramsey, principalmente en física de haces moleculares, dió lugar a la redefinición del segundo, unidad de tiempo, en la 13 Conferencia General de Pesas y Medidas (1967): el segundo es

la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles hiperfinos del átomo de cesio 133.

El estudio de las transiciones atómicas en haces moleculares permitió a Ramsey desarrollar una técnica mediante la cual éstas se observan con alta exactitud, eliminando la totalidad de las perturbaciones aleatorias. Dicha técnica se ha aplicado en el patrón atómico de cesio, así como en la medición de momentos magnéticos atómicos y nucleares, el corrimiento Lamb del hidrógeno, la estructura hiperfina del muonio y la medición del momento dipolar eléctrico del neutrón.

A Paul y Dehmelt se les otorgó por sus contribuciones fundamentales al desarrollo de las "trampas iónicas", estructuras específicas que generan diversos tipos de campo electromagnético y que permiten atrapar o confinar a un gas de partículas cargadas en una región limitada del espacio. Si el número de electrones atrapados es pequeño, uno de estos sistemas asemeja a un átomo sintético, ultrapesado, metaestable e inmóvil, con las cargas circulando dentro de la trampa y con el campo confinante jugando el papel del núcleo atómico. Por esta razón, Dehmelt llamó "átomos de Geonium" a esos arreglos, ya que los electrones están ligados a un aparato residiendo sobre la tierra. El más simple de estos "átomos", el que consta de un solo electrón confinado, hizo realidad en 1973 lo que fue considerado por mucho tiempo un sueño en física atómica: atrapar un electrón el tiempo necesario para medirle con gran precisión sus propiedades fundamentales. Similares experimentos se han realizado ya para otras partículas cargadas (positrón, protón, ciertos átomos ionizados, etc.).

El interés por atrapar partículas cargadas es muy viejo. De hecho, desde 1936 existió una estructura para confinar electrones (trampa de Penning). Esta consta de un campo electrostático cuadrupolar con simetría axial, generado por tres hiperboloides de revolución, y un campo magnetostático homogéneo en la dirección axial. Durante la década de los 50, Paul contribuyó vigorosamente en esta dirección sugiriendo diversas alternativas a este arreglo. La más exitosa, que ahora se conoce como trampa de Paul o electrodinámica, fue propuesta en 1958. Esta es similar a la de Penning, só-

lo que el campo cuadrupolar oscila sinusoidalmente en el tiempo y el campo magnetostático no existe. El desarrollo paralelo de estas dos trampas desató, durante la década de los 70, grandes polémicas y una gran competencia. De hecho, cada una de las dos es adecuada para cierto tipo de experimentos. Así, en tanto que la trampa de Paul es más estable que la de Penning, esta última posee frecuencias de excitación muy bien definidas, tanto desde el punto de vista teórico como experimental. Dehmelt y sus colaboradores usaron una trampa de Penning, en 1973, para aislar el electrón. Pero, ¿Cómo lograr tal hazaña? ¿Cuál es el procedimiento experimental que se sigue?

El primer paso consiste en arrancar electrones a un punto de emisión, dirigiéndolos luego a una cámara llena de un gas residual muy diluido, que los desacelera para introducirlos a la trampa. Después, se acopla en resonancia un circuito al movimiento axial, ya que éste es el de un oscilador armónico simple, produciendo oscilaciones forzadas que expulsan lentamente a los electrones. Las oscilaciones forzadas inducen una pequeña corriente en un circuito de detección que se observa por la técnica de detección de fase sensible. La corriente inducida, como una función del tiempo, muestra claramente una estructura a saltos en la que, uno a uno, fueron abandonando la trampa los electrones sobrantes. Una adecuada calibración identifica el ruido en la señal de corriente, permitiendo detectar el momento en que ha quedado solamente uno de ellos. Ya que, aún con el forzamiento axial, el sistema con un electrón es muy estable, es posible manipularlo adecuadamente y medirle algunas de sus propiedades. El valor más exacto en la actualidad para la razón giromagnética del electrón, su factor  $g$ , se obtuvo usando un electrón atrapado de este modo. Estos experimentos vinieron también a poner a prueba las teorías cuánticas de monopartícula. Así, recientemente se observó un salto cuántico en un átomo ionizado, confinado por medio de estas estructuras. Debido a su gran estabilidad, las trampas monoiónicas aparecen también como prometedoras alternativas a los actuales patrones de frecuencia y de tiempo, como lo es aún el reloj atómico de cesio. Por todos estos logros, desencadenados gracias a sus contribuciones fundamentales, a todas luces se aprecia lo justo del premio para esta terna de excelentes científicos. ❁