

¡Que vienen los robots!

J.M. González Buitrago

En 1956, Leonard T. Skeggs publicó un trabajo que marca el comienzo de la automatización de las determinaciones analíticas en los laboratorios clínicos. En él describía un analizador de flujo continuo que aplicó a la determinación de urea en suero. El sistema lo comercializó al año siguiente la compañía Technicon que registró la palabra *AutoAnalyzer* (autoanalizador) para denominar a estos aparatos. También, en 1956, Wallace Coulter presentó un sistema para «contar» eritrocitos y leucocitos de forma automática, con base en lo que se denominó principio de apertura-impedancia. Este trabajo es el punto de partida de los recuentos celulares automatizados.

La llegada de los analizadores automáticos a los laboratorios clínicos supuso una revolución. Hasta entonces, todos los análisis se realizaban de forma manual, lo que requería una gran dedicación de técnicos y tiempo. A partir de ese momento, la capacidad de trabajo de los laboratorios clínicos iba a conocer un incremento espectacular.

El inicio de la automatización analítica en los laboratorios clínicos fue lento y vacilante. Los primeros sistemas eran complejos, requerían una atención y mantenimiento constantes y tenían un gran número de averías. Durante los años 60 se fue mejorando la mecánica y la electrónica de los analizadores con la incorporación de los avances que la ciencia y la técnica producían en estos años de revolución industrial. La implantación de los microprocesadores en los analizadores en la segunda mitad de los años 60 mejoró mucho su funcionamiento ya que se controlaban de una manera más adecuada todas las operaciones.

Como sucede con todos los sistemas revolucionarios, la llegada de los analizadores automáticos a los laboratorios clínicos no estuvo exenta de cierto recelo, aunque pronto se comprobó que los analizadores representaban una ayuda muy importante y no eran competidores de los procedimientos manuales. La presencia de los analizadores automáticos permitió que los laboratorios clínicos incrementaran el número de especímenes que procesaban diariamente y que se ampliara el número de magnitudes que podían determinarse. Los laboratorios clínicos iban modificando su estructura como consecuencia de la automatización y comenzaron a crearse las unidades o secciones alrededor de los analizadores automáticos.

Los años 60 contemplan también la llegada a los laboratorios clínicos de los equipos de reactivos manufacturados por las industrias de diagnóstico. Estos equipos fabricados inicialmente para los procedimientos manuales, posteriormente se desarrollaron para su uso en los analizadores automáticos. Estos últimos han desempeñado un papel importante en la mejora de los métodos analíticos utilizados en los laboratorios clínicos para la medida de sustratos, enzimas y proteínas, ya que permiten operar con una gran versatilidad sobre los parámetros de reacción, como la canti-

dad de espécimen y reactivos y el intervalo de seguimiento de la reacción. Durante los años 70 y 80 se consolidan de forma definitiva los analizadores automáticos en los laboratorios clínicos.

El final de la década de los 70 marca la llegada de los Sistemas Informáticos de Laboratorio. Inicialmente, los ordenadores se conectaron con los analizadores automáticos para recoger la información que proporcionaban. De forma manual se introducían, tanto las peticiones, como los datos demográficos de los pacientes, y una vez finalizado el trabajo del analizador automático se editaban los correspondientes informes. En estos primeros tiempos, la capacidad de trabajo de los ordenadores era muy limitada.

Los analizadores han automatizado la parte analítica, pero existe una fase preanalítica de preparación de los especímenes compleja y tediosa. El procesado de los especímenes antes de la realización de las determinaciones analíticas es uno de los problemas operativos más importantes con los que se enfrentan en la actualidad los laboratorios clínicos. Este procesado incluye la toma del espécimen, el transporte al laboratorio, la centrifugación y la separación de alícuotas para cada una de las determinaciones. Asimismo, el flujo de especímenes por los distintos analizadores se realiza de forma manual, y bien se preparan alícuotas para cada analizador o, si se emplea código de barras, diferentes tubos para cada analizador, o se trasladan los mismos tubos de unos analizadores a otros.

La palabra robot fue creada en 1921 por el escritor checo Karel Capek en la obra de teatro R.U.R. (*Rosum's Universal Robots*) para denominar a un androide construido por un sabio, que era capaz de llevar a cabo todos los trabajos que normalmente ejecuta el hombre. Esta obra se tradujo al inglés en 1923 y de esta manera se extendió el término robot. Isaac Asimov utilizó las palabras robot y robótica en sus novelas de ciencia-ficción recogidas en «I, robot» de 1950.

La Real Academia Española de la Lengua define robot (del inglés *robot*, y éste del checo *robota*, trabajo, prestación personal) como el ingenio electrónico que puede ejecutar automáticamente operaciones o movimientos muy variados. Asimismo, define la palabra robótica, como la técnica que aplica la informática al diseño y empleo de aparatos que, en sustitución de personas, realizan operaciones o trabajos, por lo general en instalaciones industriales. La Gran Enciclopedia Larousse define robot como el aparato automático capaz de manipular objetos o de ejecutar una o varias operaciones según un programa establecido, modificable o adaptable.

Los robots se emplearon inicialmente en la industria para realizar trabajos que, en lengua inglesa, se denominan de las tres D (*dull, dangerous, dirty*; monótonos, peligrosos, sucios) o de las tres H (*hot, hazardous, heavy*; calientes, peligrosos, pesados). En la industria del automóvil, donde la aplicación de los robots está muy extendida, se utilizan en las cadenas de montaje para soldadura, pintura, etc. En la actualidad, los robots se emplean en un gran número de industrias para una gran diversidad de procesos.

Los robots que pueden aplicarse en los laboratorios clínicos tienen tres configuraciones básicas:

- * Robots cartesianos.
- * Robots cilíndricos.
- * Robots articulares.

Los robots cartesianos son dispositivos con tres grados de libertad, de forma que pueden moverse en un espacio tridimensional (x,y,z), pero no pueden girar. Este tipo de robots son la base de los dispositivos de toma de espécimen de muchos analizadores automáticos y se aplican también en las denominadas estaciones de pipeteo, diseñadas para realizar muchas actividades de manejo de líquidos.

Los robots cilíndricos son sistemas con cuatro grados de libertad: rotación de la base, elevación, movimiento en el plano y giro de muñeca. La principal limitación de estos robots es la carencia de giro de pistón, útil para entrar y salir de lugares estrechos. La orientación de la mano y los dedos está determinada por servomotores potenciométricos que permiten al robot «sentir» su orientación en todo momento. Este brazo es muy útil para realizar tareas repetitivas simples y se ha empleado para muchos protocolos de preparación de muestras.

Los robots articulares son los más versátiles para los laboratorios clínicos ya que ofrecen más grados de libertad que los anteriores. Este tipo de robot posee hombro, codo y muñeca, ya que rotan sobre una base pivotante. Además, el robot posee maniobras de giro de pistón que permiten el acceso a áreas a menudo difíciles de alcanzar en los instrumentos analíticos. Puede obtenerse una exactitud posicional de 0,5 mm o menor.

Una característica importante del funcionamiento de los robots es su precisión y exactitud posicional. Se han conseguido grandes precisiones (menos de $\pm 0,025$ mm) en los robots industriales de ensamblaje de relojes, pero son muy costosos. Una repetibilidad adecuada para los robots útiles en los laboratorios clínicos es de $\pm 0,2$ a $\pm 1,5$ mm. La exactitud posicional no es generalmente tan buena como la precisión y depende de algún tipo de calibración de la posición de reposo. La locomoción de los robots añade otro grado de libertad, lo que permite aumentar la variedad de hardware con el que el robot puede interactuar.

¿Cuál es la situación actual de los robots o de los sistemas robotizados en los laboratorios clínicos? De forma individual, la utilidad de los robots en los laboratorios clínicos no es muy grande. Hasta ahora, la principal aplicación es la de los robots cartesianos como sistemas para el manejo de líquidos en los inmunoanálisis con reactivos marcados. Se han presentado algunos dispositivos que robotizan la realización de técnicas específicas como la determinación de receptores hormonales o la de algunas hormonas. Sin embargo, estas aplicaciones han sido más desarrollos experimentales que posibilidades reales. Parece que en un futuro cercano la principal utilidad de los robots será la de formar parte de cadenas para procesar las muestras. A continuación se señalan algunos ejemplos.

En hematología, la empresa japonesa Toa ha comercializado el IHS (*Integrated Hematology System*: Sistema Integrado de Hematología), del que ya se han instalado algunas unidades en España. Se trata de un sistema de transporte de muestras controlado por ordenador al que se añaden dispositivos analíticos. El sistema de transporte consta de una doble correa de transmisión con una línea principal que conecta todas las estaciones o módulos analíticos. El IHS está formado por una unidad de proceso de datos y los módulos analizadores siguientes: analizador hematológico automático con diferencial leucocitario de cinco poblaciones, analizador de reticulocitos automático y unidad de prepa-

ración de extensiones. El sistema incluye el intercambio de datos entre los diferentes módulos analizadores utilizando redes de información.

Con esta disposición, el procesado de cada prueba se determina de forma automática, de acuerdo con los resultados de las determinaciones precedentes. El sistema se programa para responder a las magnitudes anormales del recuento celular y ordena un recuento de reticulocitos o una extensión cuando se exceden determinados límites seleccionados previamente.

En bioquímica, la empresa japonesa Nissei Sangyo ha creado sistemas robotizados para la empresa Hitachi formados por los siguientes módulos: clasificador y distribuidor de muestras, centrifuga, destapador de tubos, preparador de alícuotas y etiquetador. Todos los módulos están conectados mediante una cadena de transporte que lleva los tubos de unos módulos a otros. Estos sistemas se han instalado exclusivamente en Japón desde el año 1990.

Recientemente, se ha producido la comercialización en Estados Unidos de diversos sistemas robotizados de manejo de especímenes. Coulter instala el *Coulter Laboratory Automation System*, que incluye la centrifugación automática con auto-equilibrado, el marcaje y alicuotado de los tubos secundarios, el transporte de los especímenes entre los analizadores, la carga automática de los analizadores y la refrigeración automática de los especímenes. Este sistema es capaz de mecanizar el manejo de los especímenes a analizar en las secciones de bioquímica, inmunoanálisis, orina, hematología y coagulación. Su precio depende del tamaño y complejidad de la instalación y está comprendido entre 75 y 250 millones de pesetas. A comienzo de 1995 Coulter había instalado un sistema de estas características en el laboratorio de referencia Metpath de San Luis en Missouri y otro en el Beth Israel Medical Center en Nueva York.

Autolab System de Canadá ha comercializado el Labotix. El sistema completo incluye un módulo de centrifugación, un módulo de alicuotado, un módulo de clasificación y un controlador del sistema. También incluye sistemas de comprobación de la integridad de los especímenes, mecanismos que alertan en caso de volumen insuficiente, rotura del tubo y detección de hemólisis, ictericia y turbidez. Con un precio comprendido entre 75 y 200 millones de pesetas ya se ha instalado en algunos grandes laboratorios de Canadá.

Un tercer fabricante (Automated) ofrece cinco módulos automáticos estandarizados: cargador, centrifuga, preparador de alícuotas, clasificador y controlador, que pueden conectarse en grupos para automatizar un laboratorio completo. El precio base de un conjunto completo de los cinco módulos es de unos 75 millones de pesetas. La primera instalación de este sistema se ha hecho en la Clínica Mayo de Rochester.

En España, que yo conozca, no se ha instalado todavía ningún sistema robotizado de manejo de muestras para bioquímica. Inicialmente estos sistemas serán sólo para laboratorios que procesen un número elevado de especímenes debido a que se requiere una inversión inicial muy elevada. Este hecho va a favorecer aún más la tendencia actual hacia la concentración de pequeños laboratorios para formar laboratorios con una gran capacidad de procesado de especímenes.

Con relación a la instalación de la robotización en los laboratorios clínicos existen dos posibilidades: la robotización total y la robotización progresiva. En la robotización total hay que modificar por completo la estructura del laboratorio y, en general, es difícil aprovechar las instalaciones existentes, de forma que hay que hacer instalaciones nuevas. Los

laboratorios se organizan en grandes salas, donde tras los sistemas de procesado de los especímenes se sitúa la cadena transportadora que conecta todos los analizadores colocados en línea.

Con una robotización progresiva se irán robotizando primero las diferentes secciones instrumentales, uniéndose mediante líneas de transporte los diferentes analizadores y robotizándose el manejo de los tubos y la toma de especímenes por los analizadores. Posteriormente, se irán uniendo las diferentes secciones instrumentales por medio de conexiones robotizadas. Este tipo de robotización progresiva será el más probable en un futuro cercano en los laboratorios de nuestro país por su menor coste y su menor impacto sobre la organización actual de los laboratorios clínicos.

La robotización del procesado de especímenes antes de su traslado a los analizadores automáticos (centrifugación automática, marcaje y alicuotado de tubos secundarios, destapador de tubos) se realizará primero en los laboratorios que procesen un número elevado de especímenes y posteriormente se reducirá la escala para su adaptación a laboratorios más pequeños. En cualquier caso, los sistemas robotizados y de transporte de especímenes van a requerir la estandarización de los dispositivos de comunicación entre los diversos analizadores. Deberán utilizarse los mismos tubos y los mismos contenedores de los tubos.

Nuestra actitud frente a la robotización de los laboratorios clínicos debe ser abierta y semejante a la que tenemos

actualmente con relación a los analizadores automáticos. Los principales objetivos de la robotización deben ser:

- * Evitar los errores por mezcla y confusión de especímenes.
- * Reducir los riesgos de contaminación biológica.
- * Minimizar la cantidad de muestra requerida.
- * Incrementar la eficacia de las operaciones del laboratorio.

El objetivo de la robotización no debe ser la disminución del personal que trabaja en los laboratorios clínicos. Este personal debe mantenerse, liberado de la realización de pruebas de rutina, reasignado a otros trabajos dentro del laboratorio. Un objetivo fundamental para el personal técnico y los titulados superiores será su dedicación a trabajos de investigación. Deben aprovecharse estas circunstancias para crear alrededor de los laboratorios clínicos la infraestructura necesaria para realizar una investigación, tanto clínica como básica, de calidad. Además, los titulados superiores deben trabajar en el desarrollo de las áreas de conocimiento de bioquímica clínica y patología molecular que faciliten a los clínicos la interpretación de los datos que genera el laboratorio clínico.

Correspondencia:

J.M. González Buitrago
Servicio de Bioquímica
Hospital Universitario
Departamento de Bioquímica y Biología Molecular.
Universidad de Salamanca