la diaria

MONTEVIDEO URUGUAY · VIERNES 24 DE JUNIO DE 2011 · Nº 4

* **álef:** primera letra del alfabeto hebreo. En matemática se usa para representar los distintos órdenes de infinitos.

Hace tiempo que el desarrollo de la industria farmacéutica no se limita a los medicamentos tradicionales. La principal característica de los nuevos es que se diseñan para profundizar en la búsqueda de un blanco específico, y reducir así los efectos secundarios del tratamiento. Aunque todavía no los fabrica a gran escala, Uruguay se prepara para producir radio y biofármacos de última generación.

A vos mismo

A hombros de gigantes

Un paseo por la historia de la matemática sin salir del Parque Rodó

La biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República alberga un pequeño tesoro: una sección de libros clásicos que contiene fuentes históricas de la ciencia -sobre todo de la matemática- de un inmenso valor. En las páginas de esos libros es posible recrear varios episodios fundamentales de la historia de la ciencia. Aquí se invita al lector a seguir sólo uno de los muchos recorridos posibles.

UNA FUERTE intuición acompañó a los filósofos y a los matemáticos desde la antigüedad clásica hasta la primera modernidad: la idea de que una totalidad infinita es un absurdo, una contradicción.

Después de varios quebraderos de cabeza con el asunto, Aristóteles dictaminó en su momento que el infinito sólo puede ser entendido en forma negativa: como ausencia o privación; jamás en forma positiva, como existencia.

Infinito, desde el punto de vista aristotélico, es lo que crece o decrece sin término: lo que no acaba. La infinitud es entonces una potencialidad, no una realidad actual. Siempre será posible pensar, por ejemplo, un número más grande o más pequeño que cualquier número anteriormente dado y así sucesivamente, hasta alcanzar cantidades enormemente grandes o extremadamente pequeñas. En cada paso de ese proceso, sin embargo, nos detendremos en algún número finito, por muy grande o muy pequeño que sea. De este modo, la idea misma de un infinito en estado completo (un número, una figura, un objeto material) se vuelve absurda, porque lo infinito es por definición lo que no puede ser completado.

El pronunciamiento de Aristóteles trajo paz a las mentes durante casi 2 mil años, pero al final las cosas igual se fueron al diablo.

Los matemáticos de los siglos XVII, XVIII y buena parte del XIX poblaron sus tratados de cantidades infinitas -sobre todo infinitamente pequeñas-, aunque periódicamente los filósofos insistieran en que los infinitos sólo existen en potencia y jamás en acto consumado.

Los mismos filósofos denunciaron también inconsistencias en los conceptos, en los métodos y en las pruebas de la nueva matemática del infinito. Todo ello era cierto. Sin embargo, la matemática nunca antes avanzó y quizás nunca después haya vuelto a avanzar tanto como entonces. De lo anterior parece extraerse una enseñanza más bien sorprendente: no conviene hacerles caso a los filósofos, ni siquiera cuando llevan la razón. En cualquier caso, finalmente llegó el día en que las cantidades infinitas, que habían prestado un servicio tan alto a la causa matemática, fueron dadas de baja en forma deshonrosa.

Alrededor del círculo

La tentación de recurrir a totalidades infinitas como instrumento para resolver problemas específicos ganó primero a los matemáticos preocupados por el cálculo de áreas y volúmenes.

Resulta intuitivo y a la vez muy útil imaginar, por ejemplo, que el círculo es, en el fondo -aunque no lo parezca-, un polígono: el polígono regular de infinita cantidad de lados. De ese modo, sumando las áreas de infinitos triángulos de delgadez infinita sería posible calcular el área del círculo sin mayores dificultades. Para que la fórmula de cálculo no sea una mera aproximación, es decir, para que no incluya un cierto error, por pequeño que sea, es necesario que los triángulos efectivamente sean infinitos en número. Dicho de otro modo: no es suficiente pensar en un poliedro con una cantidad exorbitantemente grande de lados; es necesario que el poliedro tenga efectivamente un número infinito de lados. Pero ello es absurdo si entendemos que el infinito es sólo una mera potencialidad y nunca una realidad actual, como quería Aristóteles.

Es casi seguro que Arquímedes usó ese método, en el siglo III antes de Cristo, para averiguar la fórmula que permite calcular correctamente el área del círculo, aunque públicamente se limitara a demostrar su corrección (sin aclarar el modo en que la había obtenido) mediante el método lógicamente intachable de la reducción al absurdo (que exige tener la solución de antemano). Arquímedes, como cualquier otro matemático griego, no se hubiera permitido jamás concebir las figuras geométricas de la manera recién descrita y tener, por tanto, trato público con el infinito.

En el siglo XVII, el matemático italiano Bonaventura Cavalieri utilizó un método muy similar al de Arquímedes para obtener áreas y volúmenes, aunque no podía saber con certeza que había hecho tal cosa, porque el libro en que el matemático griego detalla su método de descubrimiento estaba perdido y no fue encontrado hasta los albores del siglo XX.

En su *Geometria indivisibilibus*, de 1635, Cavalieri sugirió que las figuras planas fueran concebidas como una colección de infinitas líneas paralelas, mientras que los sólidos fueran pensados como compuestos de infinitas láminas u hojas infinitamente delgadas. El italiano llamó a esos elementos constituyentes "indivisibles", en referencia y homenaje a los "átomos" de los antiguos físicos griegos. Con ese método, Cavalieri fue capaz de ofrecer fórmulas para el cálculo de áreas y volúmenes de un alto grado de generalidad. Su método fue severamente cuestionado, entre otras cosas, porque un agregado de líneas no puede constituir un área, salvo que éstas tengan algún grosor, en cuyo caso no son "indivisibles", y otro tanto vale para las láminas y los volúmenes. En cualquier caso, sus resultados convirtieron a Cavalieri en una celebridad matemática: algo así como el Arquímedes del siglo XVII, a pesar de que ni una sola demostración acorde a los estándares de rigor de los antiguos geómetras griegos pueda ser encontrada en toda su obra.

Los escrúpulos griegos con el infinito todavía existían, pero empezaban a perder fuerza.

La segunda edición (corregida y mejorada) de la *Geometria* de Cavalieri, publicada en Bolonia en 1653 en la imprenta de Ducijs, es uno de los libros más antiguos que posee la biblioteca.

> La segunda edición de *Geometria indivisibilibus* de Bonaventura. Cavalieri (Bolonia, 1653) es uno de los libros más antiguos que posee la biblioteca de la Facultad de Ingeniería.

Los fundadores

Esas cantidades extravagantes, capaces de ser algo (número o extensión) y aparentemente nada al mismo tiempo, pronto se revelaron útiles para pensar otro problema, además del cálculo de áreas y volúmenes: el cálculo de velocidades.

Si la velocidad media de un objeto es el cociente de -por una parte- la distancia que ha recorrido y -por otra- el tiempo que le insumió recorrerla, existe la tentación de pensar que la velocidad instantánea es la velocidad de ese objeto cuando el intervalo de tiempo considerado es sólo un instante, es decir, una cantidad de tiempo más pequeña que cualquier cantidad que podamos especificar. De este modo, un instante no será un segundo, ni una milésima de segundo, ni una millonésima de segundo, ni cualquier otra fracción de tiempo que podamos imaginar, por pequeña que sea. Cualquier cantidad finita de tiempo no será suficientemente pequeña para ser un instante, pues siempre será posible pensar una cantidad todavía más pequeña. Un instante debe ser, pues, una cantidad infinitamente pequeña. A su vez, la fracción de tiempo transcurrida tampoco puede ser nula, porque en tal caso no habría trascurrido tiempo alguno y sería absurdo pensar en la existencia de un movimiento que no transcurre en el tiempo. Un instante es, pues, un "átomo" o un "indivisible" temporal: una cantidad de tiempo más pequeña que cualquier cantidad finita pensable pero que, no obstante, tampoco es nula.

Esta intuición física está en la base de algunos desarrollos matemáticos del período. Por ejemplo, en las ideas matemáticas de Isaac Newton.

Newton concebía las cantidades geométricas como habiendo sido generadas en el tiempo a partir del movimiento. El movimiento de los puntos genera líneas (como la punta de una lapicera desplazándose sobre el papel) y de forma análoga ocurre con las líneas (cuyo movimiento genera planos) y con los planos (que generan volúmenes). La porción de línea que se genera en un instante -en un "átomo" o un "indivisible" temporal-, a partir del movimiento de un punto, es infinitamente pequeña. Otro tanto ocurre con los planos y los volúmenes.

Las cantidades infinitamente pequeñas también desempeñan un papel central en las ideas matemáticas de Gottfried Leibniz, pero en su caso las cantidades geométricas no son concebidas como generadas a partir del movimiento, sino dadas como una totalidad y descompuestas hasta obtener componentes de un tamaño infinitamente pequeño.

Newton y Leibniz descubrieron, en forma independiente, que el antiguo problema geométrico de hallar áreas encerradas por una curva y el problema de calcular velocidades (cuyo equivalente geométrico es el problema de trazar la tangente a una curva en un punto arbitrario) son problemas que están inversamente relacionados. A la rama de la matemática que se ocupa de la primera de estas cuestiones se le llama cálculo integral

Suplemento de cultura científica

Redactor responsable:
Marcelo Pereira
Edición:
Aníbal Corti
Colaboradores en este número:
Virginia Matos
Riardo Delgado
Amanda Muñoz
Corrección:
Ana Lía Fortunato
Edición gráfica:
Sandro Pereyra
Diagramación:
Florencia Lista
Ilustraciones:
Ramiro Alonso

Promueve y Financia
ANII

Algunos ejemplares de la colección de libros clásicos iniciada por Eduardo García de Zúñiga en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería. ✳ FOTO: NICOLÁS CELAYA

y a la segunda cálculo diferencial; el conjunto es conocido como cálculo infinitesimal. Este nombre recoge el término ("infinitesimal" o "infinitésimo") con que las cantidades infinitamente pequeñas eran conocidas en el siglo XVII.

Aunque Newton llegó primero al resultado fundamental (el que vincula ambos procesos, estableciendo que uno es el inverso del otro), Leibniz fue el primero en publicar.

El lector puede devolver a su estante el ejemplar de la *Geometria* de Cavalieri y tomar en su lugar el volumen que contiene el ejemplar de octubre de 1684 de *Acta Eruditorum* y leer la primera publicación sobre el nuevo cálculo: "Nova methodus pro maximis et minimis", un artículo que lleva la firma GGL (por Godefridi Guilielmi Leibnitii). *Acta Eruditorum* es una revista académica que se publicaba en Leipzig; una de las primeras en su género en el mundo. Antes de existir revistas especializadas, los letrados (sabios o eruditos) comunicaban sus descubrimientos mediante cartas o escribían tratados. Las revistas especializadas inauguraron un nuevo formato de comunicación: el artículo académico. Uno de los pequeños tesoros que alberga la biblioteca es una colección completa de esta revista.

En 1684, entonces, Leibniz comunicó al resto de los especialistas los rudimentos de su nuevo cálculo. Casi nadie entendió qué diablos era aquello, en parte porque el artículo era muy poco amable con el lector y en parte porque la edición estaba plagada de erratas. Puede decirse que Leibniz tuvo suerte. Su obra fácilmente podría haber caído en el olvido, si no fuera porque no pasó inadvertida para dos matemáticos excepcionales: los hermanos Jacques y Jean Bernoulli. Para 1690, una disciplina que no existía diez años antes había sido plenamente desarrollada -no ciertamente de la nada, pero sí a partir de elementos inconexos- sólo gracias al trabajo de tres personas: el propio Leibniz y los hermanos Bernoulli.

El lector puede asistir a esta historia fantástica sin tener que levantarse de su asiento para hacer otra cosa que tomar de su estante el siguiente tomo de la revista.

Lo sublime y lo obsceno

El avance fue tan vertiginoso que para fin de siglo ya existía un primer libro de texto del nuevo cálculo. El *Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes* fue publicado en 1696. En ese libro el cálculo diferencial (el libro no se ocupa del cálculo integral) es presentado en la forma de un sistema axiomático, con definiciones, postulados y teoremas. El postulado más importante del sistema es justamente el primero, que declara: "Se pide que puedan tomarse indistintamente la una por la otra dos cantidades que no difieran entre sí más que por una cantidad infinitamente pequeña; o, lo que es lo mismo, que una cantidad que sólo se vea aumentada o disminuida en una cantidad infinitamente pequeña pueda considerarse que permanece siendo la misma".

Este postulado es sorprendente, no porque los matemáticos no se hubieran servido de este tipo de cantidades hasta entonces, sino porque casi nadie había osado poner tal cosa en letras de molde con tal naturalidad.

Como puede verse sin dificultad, el postulado define las cantidades infinitesimales como aquellas que, sumadas o restadas, no producen aumento ni disminución en otras cantidades, pero que, sin embargo, tampoco son cero. Con cierta razón, ambas condiciones fueron consideradas incompatibles: o bien una cantidad es nula, en cuyo caso no produce aumento ni disminución si es agregada o quitada a otras cantidades, o bien no lo es, en cuyo caso sí produce aumento o disminución.

La publicación del libro originó un pequeño escándalo matemático en París, pero las aguas finalmente se aplacaron y los infinitesimales, esas cantidades extrañas que agregadas o restadas a cualquier cantidad finita no la incrementan ni la disminuyen, pero que sin embargo tampoco son nulas, se abrieron paso sin mayores dificultades.

Toda vez que se le preguntó directamente a Leibniz cómo justificaba la existencia de semejantes monstruosidades y cómo salvaba la contradicción lógica que suponía, en las pruebas, considerar a esas cantidades a veces como no nulas (positivas o negativas) y otras veces como cero, el filósofo evadió una respuesta directa. En varias oportunidades adujo que eran meras ficciones útiles, es decir que no tenían existencia real, pero que resultaban efectivas como instrumentos de cálculo. Sin embargo, ello no explica cómo pueden resultar útiles en la práctica conceptos cuya propia naturaleza parece absurda.

Aunque Leibniz no creía en la existencia real de las cantidades infinitesimales -o, al menos, le producía gran culpa afirmar tal cosa, tanto en público como en privado-, todo indica que Jean Bernoulli sí creía fervientemente en su existencia.

Fue Bernoulli quien convirtió o inició en la nueva ciencia del infinito a los matemáticos de la siguiente generación. De hecho, el *Analyse* es el resultado de las clases particulares que dio en París a uno de sus discípulos, el Marqués de l'Hospital. La primera edición de ese libro no reconoce autoría alguna, pero a partir de la segunda el nombre del marqués aparece en la portada. Es precisamente un ejemplar de esa segunda edición, publicada en París por François Montalant en 1715, el que está a disposición de los investigadores en la Facultad de Ingeniería.

El más destacado de los discípulos de Bernoulli fue, sin dudas, Leonhard Euler. Si el lector deja en su estante el libro que l'Hospital escribió inspirado en las clases de su maestro y toma, en su lugar, el *Introductio in analysin infinitorum*, la obra monumental de Euler publicada en dos volúmenes en 1748, que la biblioteca posee en su traducción al francés de 1796 y también en el latín original en la edición de sus obras completas, podrá ser testigo del uso de los infinitesimales más fructífero y creador en la historia de la matemática.

Antonio José Durán, editor y anotador de la edición castellana, a cargo de la Real Sociedad Matemática Española, que incluye una edición facsimilar del original y que vio la luz en 2001, ha dicho de este libro: "De entre la ingente producción matemática de Leonhard Euler, la *Introductio in analysin infinitorum* destaca con luz propia. De ella alguien dijo que difícilmente se podía encontrar otra obra en toda la historia de las matemáticas que produzca en el lector una impresión tan fuerte de la genialidad de su autor. Los protagonistas de la *Introductio* son, como reza en su título, los infinitos (grandes y pequeños): esas bestias que los griegos consideraron temibles hasta el punto de huir de ellos. En la *Introductio*, Euler no huyó, más bien al contrario, se acercó a los monstruos, les acarició el lomo y les unció un yugo que le permitió hacer fértiles campos antes estériles. [...] La *Introductio*, más que un texto de matemáticas, es en realidad una gran novela de amor: la de Euler y los infinitos. Una pasión que bien pudo sugerirle a Immanuel Kant su célebre categoría estética de lo sublime".

> "*Analyse des infiniment petits pour l'intelligence des lignes courbes* del Marqués de l'Hospital es el primer libro de texto de cálculo infinitesimal de la historia. La biblioteca posee la segunda edición (París, 1715).

Si Euler vivió con gran pasión su amor por los infinitos, otros matemáticos experimentaron un placer más bien culposo. Lagrange, por ejemplo, trató de deshacerse de ellos a como diera lugar en su *Théorie des fonctions analytiques,* de 1797, pero sólo obtuvo un éxito muy parcial. Cauchy lo consiguió en mayor medida, pero sólo para volver a entregarse a su pasión poco tiempo más tarde.

Todavía en Cauchy (esto no suele decirse en las historias de la matemática, pero es verdad) cada número finito está rodeado, como si se tratara de un halo fantasmal, de infinitos números, infinitamente pequeños e infinitamente próximos. Fue el matemático alemán Karl Weierstrass, en la segunda mitad del siglo XIX, quien demostró que ese halo fantasmal es prescindible: que se pueden reconstruir todos los resultados obtenidos por métodos infinitesimales desde Newton y Leibniz hasta Cauchy recurriendo en forma exclusiva a cantidades finitas. Bajo la égida de esa reconstrucción conceptual se escribieron todos los textos de cálculo en que, mientras el lector visita la sección de libros antiguos, cientos de estudiantes que están en la sala principal estudian para sus exámenes. La expulsión de los infinitesimales del universo matemático fue considerada, a fines del siglo XIX, un requisito imprescindible en el proceso de rigorización de la disciplina; pero los infinitesimales eran inocentes. Bernoulli, Euler y Cauchy no estaban equivocados: puede concebirse sin contradicción que cada número finito posee un entorno infinitesimal de infinitos números, infinitamente pequeños e infinitamente próximos.

Un cierto Abraham Robinson demostró que ello era posible. Pero ésa es otra historia y otra biblioteca.

Aníbal Corti

AGRADECIMIENTO

Por error, se omitió aclarar en el número pasado que la nota de portada tuvo su origen en varias charlas con Martín Graña, investigador del Instituto Pasteur de Montevideo, sin cuya valiosa colaboración nunca podría haber sido escrita. Vaya para él el agradecimiento del autor.

De punta contra el cáncer

Científicos uruguayos diseñan nuevos y mejores tratamientos contra la enfermedad

Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), más del 70% de las muertes por cáncer suceden en países de ingresos bajos y medianos. En Uruguay el cáncer es la segunda causa de muerte, después de las enfermedades cardiovasculares. Cada año hay unos 15.000 nuevos casos y mueren alrededor de 7.500 personas. El cáncer más habitual en el hombre es el de próstata -con el 55,67%- y en la mujer es el de mama -con el 71,38%-.

En declaraciones a *El Espectador* el 4 de febrero de este año, el vicepresidente de la Comisión Honoraria de Lucha contra el Cáncer, doctor Ignacio Musé, dijo que las acciones preventivas están dando buenos resultados. "Hay una reducción del orden del 1% anualmente, más en los hombres que en las mujeres, porque en éstos hay un notorio descenso de cáncer por pulmón. [...] Tenemos cifras muy buenas en cuanto a curabilidad y diagnóstico temprano en cáncer de mama, comparables a los países desarrollados. [...] Estamos trabajando fuerte en cáncer de cuello de útero, que tiene poco peso en cuanto a mortalidad en Uruguay pero debería ser cercano a cero y hay 120 muertes por año", sostuvo.

Estas cifras seguramente se seguirán reduciendo, gracias a la incorporación de nuevas técnicas de diagnóstico y tratamiento. La inauguración del Centro Uruguayo de Imagenología Molecular (CUDIM) en marzo del año pasado significó un gran salto hacia la excelencia en técnicas diagnósticas de cáncer, que permiten detectar tumores en estadios tempranos de su desarrollo y la consecuente aplicación de tratamientos más eficaces que los que se indicaban en su ausencia.

Los avances científicos logrados en el campo de la radiofarmacia en los últimos años permiten la producción de radiofármacos terapéuticos personalizados específicos para el tratamiento de ciertos tipos de cáncer, que irradian directamente la zona del tumor sin dañar el área circundante y con efectos secundarios casi nulos. En nuestro país se creó un centro de referencia de producción y control de estos radiofármacos, que funciona en el Centro de Investigaciones Nucleares de la Facultad de Ciencias, lo que nos ubica al nivel de países europeos en materia de producción y aplicación de conocimiento científico en el tema. El próximo paso es universalizar el acceso a los modernos tratamientos.

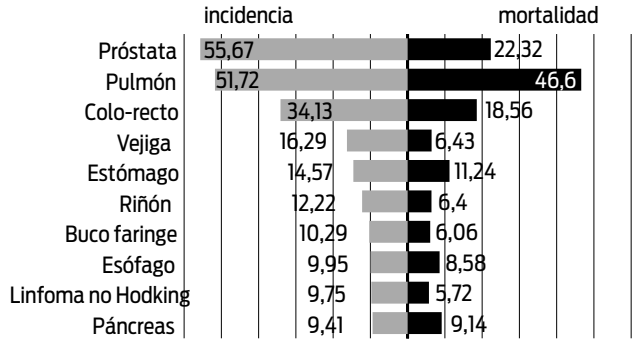
Radiofármacos made in Uruguay

Uruguay tiene ahora también la posibilidad de producir en nuestro país nuevos radiofármacos (RF) tanto para el diagnóstico como para el tratamiento de algunos tipos de cáncer. De hecho, algunos con fines diagnósticos ya se están produciendo y utilizando en pacientes del CUDIM. La particularidad de los RF terapéuticos es que son diseñados específicamente para el tumor en cuestión, de forma personalizada, e irradian a la persona de una forma menos agresiva que la radiación externa que se usa desde hace 50 años.

Actualmente hay un gran auge a nivel mundial en la investigación, desarrollo y aplicación en pacientes de estos RF terapéuticos, a través de la llamada radioterapia dirigida.

Un RF es una sustancia o compuesto determinado de acuerdo con el caso, que contiene átomos radiactivos en su composición y que, por su forma farmacéutica, además de la cantidad y calidad de la radiación emitida, es adecuado para su administración en seres humanos, ya sea con fines diagnósticos o terapéuticos, dependiendo del tipo de radiación.

Cáncer en los hombres, en Uruguay
Tasa ajustada por edad a la población mundial estándar
expresada en casos por 100.000



En el caso de los RF terapéuticos, los átomos radiactivos que contienen son de alta transferencia lineal de energía, para que puedan cumplir con su rol: destrucción de células malignas por irradiación directa dentro del tumor. Este tipo de RF reconoce específicamente el tejido tumoral y se une fuertemente a él, dirigiendo la radiación hacia allí para que quede "depositada" en el tumor y comience con su efecto destructor de las células malignas. Dicho efecto se mantiene por varios días.

Internacionalmente y también en Uruguay, los RF empezaron a tener un uso generalizado a partir de los años 60 del siglo pasado. Hasta hace 10 o 15 años, el grueso de la radiofarmacia estuvo orientado al uso diagnóstico, a pesar de que desde hace muchos años se administra en nuestro país el Iodo 131 para el tratamiento de cáncer de tiroides. De todos modos, los grandes avances en el desarrollo de RF terapéuticos se produjeron en los últimos 10 años.

La aplicación de estos avances está cristalizando en Uruguay mediante la ejecución de dos proyectos: uno financiado por la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), que aportó 47.882 dólares para la creación de un Centro de Referencia Nacional para la Producción y Control de Radiofármacos Terapéuticos que funciona en el Centro de Investigaciones Nucleares (CIN) de la Facultad de Ciencias, y otro de cooperación técnica del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que donó al CIN instrumental para la elaboración de estos RF y financió la capacitación de parte de su personal en el exterior a través de becas.

Las doctoras Henia Balter, investigadora del CIN y responsable del Área de Producción de Radionucleidos y Radiofármacos del CUDIM, y Patricia Oliver, responsable del Área de Desarrollo Biomédico de esa misma institución, trabajan en radiofarmacia desde hace 30 años y tienen a su cargo esos proyectos: Balter el de cooperación de OIEA, y Oliver, el de ANII.

El laboratorio de referencia que se crea "es el único lugar del país que tiene la infraestructura necesaria como para producir RF terapéuticos en condiciones de asepsia y calidad", comentó Oliver (ver recuadro). Lleva el nombre de la Dra. Ana María Robles en homenaje a una de las pioneras en radiofarmacia y radioquímica en Uruguay: fue ella quien formó a la mayoría del personal actual del área radiofarmacéutica.

La producción de RF terapéuticos ya comenzó en el CIN y se están usando en fase piloto para el tratamiento de tumores neuroendócrinos y metástasis óseas. Un tercero, para el tratamiento de ciertos tipos de linfoma, está a punto de empezar a usarse.

Tipos y acción

Un RF se compone de una molécula que le da la especificidad biológica -por ejemplo, péptidos o anticuerpos- unida en forma estable a ("marcada" con) un radionucleido: un átomo cuyo núcleo es inestable y que, para lograr la estabilidad, emite algún tipo de radiación. Actualmente existen más de 2.700 radionucleidos artificiales.

Las especialistas explicaron que, según el tipo de reacción nuclear que se induce en su producción, los radionucleidos tendrán determinada emisión radiactiva. Los de emisión gamma son ideales para diagnóstico y los de emisión beta, los más adecuados para terapia.

Oliver indicó: "La emisión gamma que se usa para diagnóstico recorre una distancia mucho más larga que la beta. Es inyectada en el paciente, atraviesa el cuerpo y es detectada por los aparatos que obtienen la imagen. En cambio, la emisión beta tiene un trayecto corto, por eso queda dentro del tumor. La diferencia con una radiografía es que en ésta la radiación viene de afuera, el rayo x atraviesa a la perso-

La medicina nuclear en la historia

La utilización de la radiactividad con fines científicos y médicos se remonta al descubrimiento de la radiactividad del uranio en 1896 por Becquerel, y de la radiactividad natural por Marie Curie en 1898. A principios del siglo XX se originaron grandes avances en este campo, con el descubrimiento de los isótopos (elementos químicos que poseen el mismo número de protones y distinto número de neutrones), de las modificaciones que sufren los elementos químicos debidas a la desintegración nuclear y de las técnicas de trazadores en la investigación biológica. La construcción del primer ciclotrón en 1930 supuso el inicio de la producción de radionucleidos, un logro importante teniendo en cuenta que todos los radionucleidos utilizados en la práctica clínica son artificiales. Las aplicaciones médicas de los isótopos radiactivos o radionucleidos comienzan, en sentido estricto, en 1938, con estudios sobre la fisiología de la glándula tiroides con radioyodo y con el primer uso clínico de un radioisótopo artificial con fines terapéuticos, el fosfato de sodio (^{32}P), en un paciente con leucemia. Este uso terapéutico fue un hecho importantísimo en el progreso de la terapia con radionucleidos.

Otro acontecimiento importante en la medicina nuclear fue el uso del ioduro de sodio (^{131}I) en la enfermedad tiroidea, cuya primera dosis terapéutica se administró en 1941. En 1946 se publicó la desaparición de múltiples metástasis tiroideas en un paciente que había sido tratado con radioyodo.

En los años sucesivos se intensificó la investigación y desarrollo de nuevos radionucleidos y radiofármacos para uso con los nuevos dispositivos de imagen. El acontecimiento más destacado de esta era, en el ámbito de la medicina nuclear, fue el descubrimiento y posterior desarrollo del tecnecio (^{99m}Tc), que estaba destinado a ser el radionucleido más utilizado hasta el momento, por presentar la energía de imagen ideal y vida media-corta y ser capaz de unirse a múltiples compuestos.

Los primeros radiofármacos para estudiar el sistema cardiovascular se aplicaron en 1926. La radiocardiografía se desarrolló a partir de 1948 y en 1962 se comenzó a disponer de imágenes de infartos miocárdicos. Posteriormente se logró medir la función ventricular mediante una dosis de pertecnetato de ^{99m}Tc y estudiar la perfusión miocárdica utilizando el cloruro de talio (^{201}Tl).

La historia ha demostrado que el ^{201}Tl se ha convertido en el radionucleido más utilizado en cardiología nuclear y es responsable directo del rápido crecimiento y establecimiento de la medicina nuclear cardiovascular.

En los años sucesivos aparecieron nuevos trazadores y nuevas técnicas.

En las últimas décadas del siglo XX y comienzos del siglo XXI se han desarrollado nuevas técnicas en el campo de la medicina nuclear, como la tomografía por emisión de fotón único (SPECT) o por emisión de positrones (PET).

Fuente: "Radiofármacos de uso humano: marco legal e indicaciones clínicas autorizadas en España", A. Cortés-Blanco y J. Esteban Gómez, publicado en Seguridad Nuclear, número 26, primer trimestre de 2003.

Patricia Oliver y Henia Balter, en el Centro de Investigaciones Nucleares. ✳ FOTO: NICOLÁS CELAYA

PARA LEER MÁS

Para entender las radiaciones: energía nuclear, medicina, industria es un libro de reciente publicación elaborado por los físicos Gabriel González Sprinberg y Carolina Rabin Lema, del Instituto de Física de la Facultad de Ciencias, con la colaboración del ingeniero nuclear Sergio Ribeiro y el especialista en física médica Ignacio Di Biase. Se trata de un material de divulgación pensado para un público amplio y está escrito, por ello, en forma accesible, pero rigurosa. El libro es parte de un proyecto financiado por la Universidad de la República en un programa cuyo objetivo es, precisamente, fomentar la comprensión general de temas de interés público. El material impreso se ve complementado por un sitio web, cuya dirección es: *radiaciones.fisica.edu.uy*.

na, mientras que con el RF es al revés: se le inyecta la sustancia radiactiva. Es posible rastrear esa sustancia a lo largo del organismo y así localizar el eventual tumor, ya que la sustancia se une a él y eso se puede visualizar mediante cámaras especiales".

Balter añadió que "hoy en día esta técnica se está usando junto con la tomografía computarizada, que permite visualizar estructuras (la morfología de los órganos), mientras que con los RF se visualiza su funcionalidad", con lo cual se logra una mejor detección del proceso al combinar ambas imágenes.

La necesidad de producir RF terapéuticos específicos según el tumor se debe a que "no todos los tumores son iguales, sino que expresan distintos receptores o estructuras a nivel de la superficie de las células. Entonces, se estudia primero qué cosas expresa ese tumor en particular, que sean específicas de él y que no se expresen en otros lugares, de manera tal que el RF una vez desarrollado se una sólo al tumor y no a otra parte del cuerpo. Es decir, se buscan RF específicos para cada tipo de tumor. A través de la energía emitida, el RF produce la muerte de las células malignas por daño a su ADN; se logra así interrumpir la reproducción acelerada de las células cancerígenas", explicó Oliver.

Pero, además de producirse RF específicos para diagnóstico o para tratamiento, también se diseñan RF que cumplen ambas funciones simultáneamente. "Algunos emisores beta van acompañados de radiación gamma, lo cual es muy bueno, porque tienen efecto diagnóstico y a su vez también terapéutico, ya que se pueden obtener imágenes a través de una cámara Spect o una gammacámara para determinar su localización exacta y calcular qué dosis de radiación está recibiendo el paciente", añadió Oliver.

A la especificidad de los RF de acuerdo con el tipo de cáncer a tratar, se le suma la virtud de no afectar las células sanas, cosa que sí hace la radioterapia externa. Y, a diferencia de ésta y de la quimioterapia, los efectos secundarios son "prácticamente nulos", aseguró la experta.

De todas formas, las entrevistadas consideran conveniente aclarar que el tratamiento de primera línea para el cáncer siempre es la cirugía y que la terapia con RF no sustituye a ninguno de los otros tratamientos. "No es posible determinar qué terapia es más efectiva; no hay un método que sea el mejor. En medicina una terapia nunca sustituye a la otra. No sería ético inhibir a los pacientes de otros tratamientos disponibles. Lo mejor es analizar en cada caso la estrategia de terapia en función del tipo de tumor y del estadio de la enfermedad", aclaró Balter.

En ciertas situaciones, sin embargo, los RF constituyen la única alternativa terapéutica. Es el caso de los tumores avanzados con metástasis: "Cuando están diseminados en todo el cuerpo, la cirugía es imposible y la radioterapia externa no se puede aplicar, porque no se puede bombardear con precisión los distintos lugares. En esos casos, la radioterapia dirigida no tiene competencia porque el RF va a unirse directa y exclusivamente al tumor y sus metástasis", indicó Balter.

En el caso de los tumores neuroendócrinos, que es un tipo de cáncer poco frecuente y altamente complejo, las únicas posibilidades son la cirugía y el tratamiento con RF, ya que no existen las alternativas quimio o radioterapéuticas.

Oliver agregó que "incluso en tumores neuroendócrinos que por su tamaño no pueden ser extirpados y que tienen metástasis, el uso de RF terapéuticos es ideal, porque se pueden tratar al mismo tiempo las metástasis y el tumor principal, de manera tal de reducir la masa tumoral y poder operar. La diferencia con otro tipo de terapia -y que vuelve únicos a los RF- es que se trata al mismo tiempo el tumor y las metástasis".

Los RF también se usan como terapia paliativa del dolor de metástasis óseas. "Estas metástasis producen un dolor muy intenso y muchas veces los analgésicos fuertes no son suficientes para calmarlo. Un RF específico -un fosfonato marcado con Lutecio 177- produce un alivio importante del dolor, hasta el punto de que es posible eliminar la administración de analgésicos convencionales. Y también se ha visto que puede frenar los procesos metastáticos; todavía no está comprobado que tenga un efecto curativo, pero sí mejora mucho la calidad de vida", comentó Balter.

Las metástasis óseas se desarrollan en aproximadamente 50% de los pacientes con cáncer de mama o de próstata, los más frecuentes en Uruguay, y su tratamiento con radiofármacos ha sido beneficioso para muchos pacientes, aliviando el dolor de 40% a 80%, durante períodos que van de semanas a meses.

Para todos

La producción nacional de RF terapéuticos hará posible el acceso a estos tratamientos para personas que actualmente no acceden a ellos ya que no se importan, debido a su costo. "El tratamiento en el exterior cuesta entre 10 y 20 mil dólares y está disponible en Italia y Alemania. Entonces, estamos creando la posibilidad de que se traten pacientes que no tenían posibilidades de ser tratados en el país", comentó Balter, agregando que "la idea es llegar a toda la población a través de los centros de medicina nuclear. Estas instituciones [ANII y OIEA] sientan la semilla, pero para poder llegar a la población del país hay que buscar un financiamiento que puede ser de las propias mutualistas o del Fondo Nacional de Recursos [FNR]. Pensamos que esta última es la mejor opción, porque el FNR cubre a toda la población del país". El FNR financia los estudios diagnósticos que se hacen en el CUDIM con tecnología de punta, a los cuales pueden acceder usuarios mutuales y de Salud Pública.

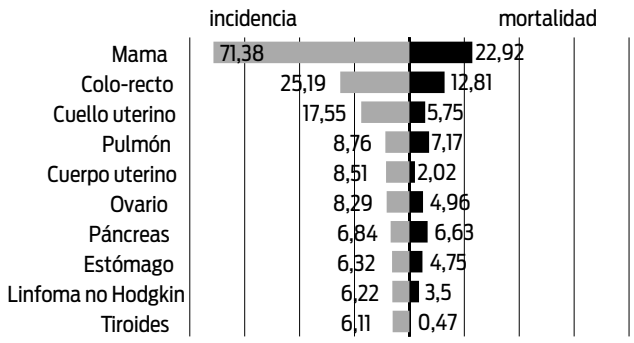
Algunos pacientes ya están recibiendo tratamientos con estos RF terapéuticos de forma gratuita como parte de la fase piloto de los proyectos. Cinco se están tratando por metástasis óseas con el fosfonato mencionado y cuatro por cáncer neuroendócrino con la molécula DOTA-TATE marcada con Lutecio 177. El origen de los pacientes es diverso (mutual, Salud Pública). Las responsables de los proyectos analizan los casos junto con los médicos nucleares y en función de ello seleccionan a los pacientes que ingresan en el plan piloto.

Además de los dos anteriores, un tercer RF: el anticuerpo monoclonal anti-CD20, que se usa para el tratamiento de un tipo de linfoma ("linfoma no Hodgkin"), "ya pasó por todas las etapas de investigación, desarrollo y validación preclínica y ya va a pasar al estudio piloto en humanos", señaló Oliver.

En cuanto a las perspectivas respecto de la producción de nuevos RF de modo de ampliar el abanico de tumores a tratar, Oliver indicó que nacional e internacionalmente "se investigan muchas moléculas. Se está tratando de desarrollar RF terapéuticos para cáncer de colon, de mama, de pulmón, de próstata, entre otros. Es decir, para los que tienen mayor incidencia a nivel mundial".

Virginia Matos

Cáncer en las mujeres, en Uruguay
Tasa ajustada por edad a la población mundial estándar
expresada en casos por 100.000



CELDA DE PRODUCCIÓN

El equipamiento donado por OIEA al CIN se encuentra en una celda que cumple con los requerimientos para el trabajo en forma segura con material radiactivo. Allí se preparan los RF terapéuticos, asegurando tanto la protección de las personas y del ambiente como el mantenimiento de las condiciones de asepsia requeridas para el trabajo. El recinto está diseñado para contener cualquier escape que se pudiera producir: tiene blindaje en todas sus dimensiones y el aire es filtrado hasta quedar libre de partículas y de bacterias. Cuenta con ventanas de vidrio plomado en la parte frontal y accesos para trabajar con pinzas que se manejan desde el exterior o con guantes, lo que permite un aislamiento total del sistema.

El organismo internacional también donó un equipo de cromatografía líquida de alta precisión, lo que permite efectuar el control de calidad de los productos con tecnología de punta.

No tenés remedio

Uruguay desarrolla biofármacos pero aún no los produce por falta de normativa legal

Producidos a partir de organismos vivos, los biofármacos son vistos como el futuro de la farmacéutica y así lo entienden desde el Instituto Pasteur y Laboratorios Celsius, en donde vienen trabajando en el desarrollo de esta innovadora disciplina. Sin embargo, la inexistencia de una normativa legal que regule su registro impide que actualmente se produzcan a nivel local, lo que podría abaratar sus costos. El gerente operativo de Celsius, Fabricio Sarlos, considera que estos desarrollos son una apuesta al futuro.

Conocidos como los "remedios del futuro", los biofármacos son una realidad del presente, y hoy en día son utilizados en Uruguay para el tratamiento de diversas enfermedades como el cáncer, la hepatitis, la esclerosis múltiple y la diabetes, entre otras. Como sugiere su nombre, se trata de medicamentos producidos a partir de organismos vivos y "son una esperanza en el horizonte de la industria farmacéutica", tal como los definió el diario argentino *La Nación*, en el artículo "10 preguntas sobre biofármacos".

Según ese informe, el primer biomedicamento data de 1982, cuando se produjo mediante ingeniería genética la insulina recombinante humana. Sin embargo, pese a que pasaron casi tres décadas desde entonces, en Uruguay aún no se elabora este tipo de fármacos, aunque desde hace algunos años se está en un proceso de desarrollo y posiblemente en un corto plazo se comiencen a producir.

La principal importancia que tienen estos medicamentos es que se caracterizan por tener un "blanco" específico, es decir que actúan directamente sobre los mecanismos moleculares que producen una enfermedad. Las fuentes de producción de los biofármacos son células vivas, como bacterias, levaduras o tejidos de seres vivos.

En Uruguay, en julio de 2009, el Ministerio de Salud Pública inauguró el primer Laboratorio de Control de Biofármacos, ubicado en el Instituto Pasteur, que busca posicionar al país a la vanguardia internacional en la materia.

En marzo del año pasado, se firmó una alianza entre el Pasteur y Laboratorios Celsius para el desarrollo de tecnologías para el control de calidad de biofármacos, con el financiamiento de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII).

Como resultado de esta alianza estratégica, el Laboratorio de Control de Biofármacos "adquirirá una nueva metodología para la caracterización de biofármacos que podrá ser aplicada para la prestación de sus servicios. Por su parte, Laboratorios Celsius tendrá acceso a técnicas de control de calidad que garantizarán el cumplimiento de la normativa internacional de los biofármacos que ha desarrollado, fortaleciendo así la competitividad de sus productos", describe la página de ANII.

Despacio por las piedras

El gerente operativo de Celsius, Fabricio Sarlos, explicó que actualmente no se están produciendo biofármacos en Uruguay, debido a que aún no existe una normativa a nivel nacional que regule esa eventual producción, por lo que todos los que actualmente se utilizan son de origen extranjero.

"No hay producción nacional porque no hay normativa que lo regule, o sea, el Ministerio de Salud Pública o el Poder Ejecutivo aún no tienen las reglas que se van a usar para los biofármacos de producción nacional. Si bien hay biofármacos en el mercado y se utilizan habitualmente, son todos importados", comentó.

El experto detalló que Celsius se volcó a la investigación "como parte de la estrategia a largo plazo de la empresa", y que se logró una transferencia tecnológica que les permitió acceder a algunas cepas de células para producir biofármacos comenzando a generar la plataforma para su elaboración.

"Eso quiere decir que sabemos hacer biofármacos en determinadas líneas celulares, no en todas, y tenemos montado un laboratorio de desarrollo", sostuvo.

Señaló que la normativa que es necesario elaborar a nivel gubernamental es fundamental, por ejemplo, para registrar ese medicamento, porque establece las características que éstos deben cumplir. "Eso no existe hoy; lo que tenemos montado es la plataforma, con la gente trabajando, y seguimos avanzando en el desarrollo".

El funcionario de Celsius dijo, además, que los biofármacos también tienen "agregados" que "modifican la llegada de ese medicamento a determinados órganos o aumentan el tiempo de exposición del medicamento", y que la empresa también está trabajando en esos componentes.

"Es como una especie de apuesta a futuro porque algún día va a haber normativa, algún día va a tener que existir porque pasan estas cosas, porque hay empresas que se los ponen a hacer, como nosotros ahora", argumentó.

En ese sentido, explicó que actualmente se está trabajando en una comisión multidisciplinaria en que "está todo el mundo involucrado en el asunto". "Estamos nosotros, hay gente de las multinacionales, hay gente del Ministerio de Salud Pública", detalló Sarlos, añadiendo que se realizan "reuniones periódicas en las que se trabajan los lineamientos generales". "Obviamente, luego le corresponde al Poder Ejecutivo determinar cuál va a ser la normativa legal que se establecerá", explicó, estimando que "posiblemente se tome el ejemplo de lo que han hecho otros países en la materia".

Indicaciones

Sarlos dijo que los biofármacos se utilizan para el tratamiento de enfermedades autoinmunes, oncológicas, virales -como el tratamiento contra las hepatitis C y B- y para atenuar o eliminar los efectos nocivos de otros tratamientos. A modo de ejemplo, comentó que la quimioterapia "provoca una disminución de los glóbulos blancos, lo que genera en el paciente una mayor probabilidad de contraer una infección de cualquier cosa". "Son pacientes inmunodeprimidos, pero hay una serie de biomedicamentos que se usan para eliminar ese efecto secundario y que regeneran los glóbulos blancos", añadió.

En lo que refiere al costo de estos medicamentos, argumentó que "hay dos tipos de biofármacos: unos son las proteínas y otros son los anticuerpos", que "son distintos en muchísimos aspectos", incluyendo el costo.

El experto señaló que las proteínas "son mucho más sencillas de producir, son las que se hicieron primero y en una enorme cantidad de esos casos ya han caído sus patentes". Dijo que "en general se usan para sustituir alguna otra proteína que está faltando, como, por ejemplo, el caso de la insulina recombinante".

Del otro lado, los anticuerpos "son más complejos y son los que están de moda ahora, que implican determinar a nivel molecular qué está pasando, ver dónde actúa una enfermedad y hacerle un anticuerpo. Son cosas muy específicas para cada enfermedad".

Esa complejidad para su elaboración hace que los precios sean muy caros, mientras que las proteínas, al caer las patentes y al existir múltiples empresas que fabrican copias, tienen precios más accesibles.

Consultado respecto de si la producción local implicaría una reducción del costo, Sarlos afirmó enfáticamente que "sin dudas". "La razón por la que nos pusimos a hacer esto es, en primer lugar, porque vemos que la producción farmacéutica va para ese lado y, en segundo lugar, porque se pueden hacer cosas muy bien hechas con un costo muchísimo menor", explicó.

Parecido no es lo mismo

Un punto de polémica vinculado al desarrollo y producción de biofármacos es provocado por la relación entre el medicamento "original" y "la copia", también conocida como "biosimilar".

Sarlos detalló que "los medicamentos tradicionales nunca generaron mayores problemas porque no había mucha excusa: hay algo como una receta de cocina que se copia y se acabó; a menos que haya un tema de patentes en el medio, no tiene mucha vuelta". Sin embargo, "como acá se trata de un proceso biológico, hay células metidas en el tema. Hay, entonces, una posible causa de que un medicamento pueda ser distinto al original, porque el que lo inventa tiene una célula propia y la copia va a tener que ser otra (a menos que se la haya robado, cosa que no ocurre); va a tener que ser una célula propia, que es casi igual, pero esa línea celular se cría en condiciones distintas y en esencia es distinta a la originaria".

Existen, además, otras condiciones de producción que influyen sobre la calidad de los medicamentos y que son secretos industriales. Quienes están en contra de la producción de biosimilares argumentan, justamente, que el medicamento que se produce bajo condiciones que no son las originales no es igual en sus propiedades al que se desarrolló en un principio.

Sarlos señaló que ésta es una discusión que "está en boga" y que tiene "muchas aristas". La complejidad del tema, precisamente, es lo que explica, al menos en parte, que en el país no se tenga una postura tomada al respecto.

La normativa que establezca el Poder Ejecutivo para los biofármacos, cualquiera que fuere, deberá tomar en cuenta también ese debate.

Ricardo Delgado

Alumno de la escuela Carmelo de Arzadum de Pueblo Fernández en el departamento de Salto.
✳ FOTO: SANDRO PEREYRA

Matemáticamente tenemos chance

Primera evaluación de los efectos del Plan Ceibal en el aprendizaje

A pesar de tratarse de una gran inversión económica, el Plan Ceibal nació sin que se hubiera planificado un modo de evaluar su efecto en los estudiantes y su entorno. Por eso, conocer su impacto en el aprendizaje no es fácil. Entre 2008 y fines de 2010 un grupo de investigadoras universitarias se abocó a esa tarea y recorrió diversos caminos para validar sus hallazgos.

EL TRABAJO FUE financiado por la Comisión Sectorial de Investigación Científica de la Universidad de la República (CSIC-Udelar) y contó además con el apoyo financiero de UNICEF. Sus autoras son Alina Machado, Mery Ferrando, Ivone Perazzo y Adriana Vernengo, docentes del Instituto de Economía de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración de la Udelar.

El Plan Ceibal* se implementó por etapas a partir de 2007, comenzó cubriendo departamentos del interior y dejó para lo último a Montevideo y Canelones. El trabajo de campo en que se basa la investigación se desarrolló entre mayo y junio de 2009, justo antes de que se entregaran las computadoras en Montevideo y Canelones.

Se realizó una evaluación de aprendizaje a 800 niños de siete departamentos en los que el plan tenía entre un año y un año y cinco meses de aplicado (Florida, Durazno, Colonia, Paysandú, Río Negro, Salto y Soriano) y a 800 alumnos de Montevideo y Canelones, para comparar la evolución de los resultados obtenidos en lenguaje y matemática entre los expuestos y los no expuestos al plan. También se entregaron cuestionarios a los niños, a sus padres o referentes, maestros y directores de las escuelas.

El equipo tomó como punto de partida una evaluación internacional de aprendizajes (Segundo Estudio Regional Comparativo y Explicativo, SERCE) aplicada en 2006 a alumnos de tercer grado. Mediante la División de Investigación, Evaluación y Estadística de la Administración Nacional de Educación Pública (ANEP), las investigadoras obtuvieron la información actualizada respecto de la escuela y el grado en el que se encontraban los niños que habían participado en SERCE 2006. Dicha división proporcionó las pruebas a aplicar en 2009 a los efectos de garantizar la posibilidad de comparar los resultados en ambos períodos.

La investigación detectó un efecto positivo del Ceibal en matemática, pero no encontró mejoras en el área de lenguaje. El resultado es robusto, porque cuando se aplicaron diferentes metodologías y pruebas se halló el mismo efecto y en una magnitud similar: un quinto del desvío estándar respecto de la media (que es un impacto relativamente importante).

Puesto que el estudio se basó en dos evaluaciones de aprendizaje que tenían distinta medición, las autoras debieron asegurarse de que ambas pruebas fueran comparables. En eso colaboró la socióloga especialista en evaluación de aprendizaje Carmen Haretche.

Estimaciones

Las investigadoras encontraron que las escuelas de Montevideo y Canelones "tienen entornos más problemáticos que las del interior, son de mayor tamaño y tienen mayores tasas de repetición, de asistencia insuficiente y de abandono intermitente que las del resto de los departamentos evaluados; estos son indicadores que surgen del Monitor Educativo de ANEP", sintetizó Alina Machado, coordinadora de la investigación. Esa diferencia fue crucial: "Por más que hicimos muchas pruebas y en todas los resultados obtenidos son consistentes, hay elementos que hacen a las particularidades de las regiones a evaluar que al menos dejan abierta la duda, y es que son dos realidades diferentes la de Montevideo y Canelones y la del resto del país; eso puede estar jugando en las diferentes evoluciones". Mery Ferrando agregó que si se hubiera pensado en una evaluación previa, el plan podría haber cubierto algunas zonas de Montevideo y otras no (barrios similares, precisó) y lo mismo con algunos departamentos del interior, para comparar mejor el impacto y saber con mayor certeza que los resultados no se debían a factores regionales.

Para tener en cuenta esas particularidades regionales, se seleccionaron escuelas similares en Montevideo y Canelones y en el resto del país, considerando las variables definidas por ANEP: "categoría de escuela" (Contexto Socio-Cultural Crítico, Tiempo Completo, Urbana Común, Habilitada de Práctica, Práctica) y "contexto de la escuela" (cinco categorías, de muy desfavorable a muy favorable, considerando nivel socioeducativo de los padres de los alumnos, estatus socioeconómico y nivel de integración social de los hogares de los estudiantes). Machado explicó que además se propusieron "trabajar con niños que hubieran tenido un desempeño similar en la prueba de tercer año".

La evaluación se realizó principalmente comparando las evoluciones en los desempeños de los dos grupos de niños entre 2006 y 2009. Se supone que la evolución en Montevideo y Canelones permite analizar cómo habrían sido las cosas si el plan nunca hubiera llegado a implementarse. Así, la diferencia entre las evoluciones de ambos grupos se asemeja al efecto del Ceibal.

"Hacemos una modelización que se aproxima al aprendizaje a partir de distintas variables e incluimos además una que identifica la existencia del Ceibal. Estas variables son en realidad índices que reflejan el clima escolar, el apoyo familiar, el involucramiento de la familia con la escuela, el clima educativo que reportan las maestras, la violencia y la discriminación en el aula, un índice de satisfacción de los maestros y otro de conformidad con la escuela", dijo Machado. Además introdujeron variables de condiciones iniciales que tuvieran en cuenta las diferencias de partida, a los efectos de aislar las diferencias de entorno y encontrar el efecto del Ceibal. Como condiciones de partida pusieron las tasas de repetición, de abandono intermitente y asistencia insuficiente, el tamaño del centro, la experiencia del docente y del director, entre otras variables. Por otro lado, y también con fines de modelización, se buscaron niños que fueran lo más parecidos posible en las variables de su entorno familiar y otras, y se aplicó una técnica de evaluación de impacto, que se llama Propensity Score Matching, básicamente un emparejamiento por puntaje a partir de un índice de similitud entre los expuestos y no expuestos al plan. Haciendo todos estos cálculos, las investigadoras volvieron a encontrar mejores resultados en matemática en los niños de los siete departamentos con Ceibal.

Pero también revisaron los resultados de otra manera. Los alumnos que evaluaron en 2009 cursaban sexto año, pero también cuarto o quinto, debido a repeticiones. Como Montevideo y Canelones tienen mayores tasas de repetición, analizaron por separado a los que estaban cursando sexto, por si el aprendizaje que evaluaban como menor en Montevideo y Canelones "estaba influido por esos niños, que en realidad no habían tenido la oportunidad de aprender otras cosas porque habían repetido. Pero volvimos a hacer el estudio y a encontrar el mismo efecto", relataron.

A su vez, compararon los resultados de las pruebas aplicadas a sexto año en 2009 con las aplicadas en 2006 al mismo grado de las mismas escuelas, para averiguar si en 2006 ya había un desempeño mejor en las que luego fueron expuestas al Ceibal, pero no era así. Machado agregó que para descartar que el resultado se debiera a una tendencia temporal más larga, contrastaron la evolución de desempeños entre 2006 y 2009 con la del período 1996-2006. En 1996 se realizó el primer y único censo de aprendizajes aplicado a niños de sexto año escolar, en el que participaron 43 de las 49 escuelas evaluadas luego por las investigadoras (las otras seis fueron creadas posteriormente).Se vio que las diferencias de puntajes entre 1996 y 2006 no eran significativas, es decir que no había evidencia de un cambio en la tendencia de los aprendizajes antes de 2006.

"Pensábamos que no iba a haber impacto o que no íbamos a encontrar algo que quedara tan claro con las distintas metodologías que aplicamos, porque el Ceibal había tenido poco tiempo de exposición y los cambios en aprendizaje pueden requerir procesos más largos; y también porque la computadora fue introducida sin un programa claro detrás y no sabíamos si estaba siendo usada", dijo Ferrando. Y Machado añadió: "No esperábamos encontrar un efecto, por eso necesitamos corroborarlo en detalle. Fue una grata sorpresa sobre la cual es necesario profundizar aun más, pues las particularidades de ambas regiones no permiten plantear certezas".

Continuará

El equipo presentó al Centro Ceibal otro proyecto para profundizar en los efectos del Ceibal sobre el desempeño de los estudiantes, que fue aprobado en marzo de 2011. Machado explicó que se proponen evaluar a los mismos niños, que ahora van a ser adolescentes. Para ello se relacionarán con liceos y escuelas técnicas y contactarán a aquellos que ya no asisten a instituciones educativas (con ellos indagarán además en los motivos de su deserción). Se proponen hacer el trabajo de campo en 2011, llegar a los hogares de los adolescentes y hacer entrevistas en vez de entregar cuestionarios. Aspiran a conocer el uso de la XO y cómo incide en la motivación o en las expectativas de continuar o no la enseñanza formal. ■

Amanda Muñoz

* PARA DEFINIR EL NOMBRE DEL PLAN ("CONECTIVIDAD EDUCATIVA DE INFORMÁTICA BÁSICA PARA EL APRENDIZAJE EN LÍNEA") SE BUSCÓ QUE SU SIGLA FUERA "CEIBAL", EN ALUSIÓN A LA FLOR NACIONAL DE URUGUAY.

HITOS: JUAN E. PIVEL DEVOTO

El doctor que amaba a los caudillos

JUAN E. PIVEL DEVOTO (1910-1997) FUE UNO DE LOS EJES EN TORNO A LOS CUALES GIRÓ LA RENOVACIÓN HISTORIOGRÁFICA QUE TUVO LUGAR EN EL PAÍS ENTRE 1940 Y 1960. AUNQUE ES UNA FIGURA CONTROVERTIDA, ES CONSIDERADO POR MUCHOS EL MÁS GRANDE DE LOS HISTORIADORES NACIONALES.

Pivel fue una figura pública muy destacada. Tuvo una larga trayectoria intelectual, política, de gobierno y administrativa. Fue dirigente del Partido Nacional, ministro de Instrucción Pública, presidió el Codicen y el Sodre, ejerció la docencia en la enseñanza secundaria y en el IPA, fue director del Museo Histórico Nacional durante cuatro décadas, tuvo a su cargo el Archivo General de la Nación durante un período más breve, fue autor de una valiosa producción bibliográfica, impulsó la edición de "clásicos" de la literatura uruguaya y la exhumación de documentos en repositorios uruguayos y extranjeros, sobre todo en el marco del Archivo Artigas, una monumental iniciativa orientada a publicar todos los documentos relativos al prócer.

De todo lo anterior, lo que interesa aquí son sus aportes a la historia como disciplina científica.

Juan E. Pivel Devoto en su domicilio de la calle Ellauri [s/d].
✳ FOTO: GENTILEZA: ARCHIVO GENERAL DE LA NACIÓN, S/D AUTOR

Uruguay como preocupación

De Pivel dijo José Pedro Barrán en una oportunidad que "creó la historia política uruguaya". José Rilla, que comparte ese dictamen, agrega, a su vez, en su libro *La actualidad del pasado* (2008), que construyó "una narración matriz y por largo tiempo persuasiva que tuvo a los partidos en el centro de la escena, pero que no quiso traspasar la frontera cronológica -política- que separa el siglo XIX del XX. La reconstrucción piveliana es de la política y de las ideas (la política concebida como lucha de ideas encarnadas en partidos) y mantiene vigencia si se piensa que no ha sido hasta ahora mayormente contestada, en su terreno".

Se ha dicho también, en detrimento de su obra, que su pensamiento no fue amplio, más bien estrecho -quizás incluso sectario-, pues redujo el protagonismo de la vida nacional y sus múltiples actores y vertientes a los dos partidos tradicionales. También se ha dicho que, en su concepción teórica -o más bien en su ejercicio práctico-, la historia era una empresa heterónoma, ancilar, sierva de la política: un mero instrumento al servicio de intereses ajenos al conocimiento.

Hay una anécdota que es muy citada para respaldar este último alegato. En 1985, durante la primera presidencia de Julio María Sanguinetti, en oportunidad de su designación como presidente del Consejo Nacional de Educación (Codicen), se le rendía un homenaje en la cámara alta. El entonces senador y correligionario suyo Guillermo García Costa contó que Pivel había sido invitado, en cierta oportunidad, a ofrecer documentación probatoria que respaldara juicios ajenos -pero presuntamente compartidos- contra alguna personalidad histórica concreta. "Yo no estoy dispuesto -respondió Pivel en esas circunstancias- a dar elementos que socaven a los grandes héroes que han contribuido a crear la nacionalidad. Todos tuvieron momentos de flaqueza; todos pueden ser acusados, pero creo que lo que al país le interesa es rescatar lo que de noble y magnífico hay en los creadores de la nacionalidad y de los partidos, es decir, los que contribuyeron a hacer la patria. De esos elementos no doy datos aunque los conozca".

El propio García Costa no dejó de notar que puede dudarse, frente a una declaración de semejantes características, que ésta provenga de "un historiador impecable; pero la rescato como la de un patriota impecable", afirmó.

He aquí precisamente el nudo de la cuestión. ¿Es que Pivel optó por ser primero un patriota impecable, antes, por ejemplo, que un historiador impecable?

Un renovador de la historiografía nacional

Alguien tan poco afecto a hablar bien de nuestro homenajeado como el profesor Carlos Zubillaga ha sostenido, sin embargo, en su artículo "Comunidades historiográficas y renovación disciplinaria en Uruguay" (publicado en *Revista Complutense de Historia de América* en 2003) que Pivel, desde el Museo Histórico Nacional y el Archivo Artigas, fue uno de los ejes de la renovación historiográfica que tuvo lugar en el país entre 1940 y 1960. El otro eje, a su juicio, fue el historiador argentino José Luis Romero, desde la base institucional que le proveía la novel Facultad de Humanidades y Ciencias de la Universidad de la República.

Sostiene Zubillaga que Pivel esbozó categorías nuevas, modificó la percepción de ciertos temas del pasado nacional y utilizó fuentes desconocidas -o fuentes ya conocidas, pero de una manera original- "en términos que los historiadores profesionales, formados en la Universidad, hubieron de retomar (controvertir, profundizar, modificar), nunca ignorar o desdeñar".

El aporte sustantivo de Pivel a esa renovación historiográfica, siempre según Zubillaga, consistió en dotar al nacionalismo de "una nueva densidad conceptual"; en sustituir, en suma, las tesis del nacionalismo tradicional (esencialista, metafísico, "estático", así como ensayístico, literario, especulativo) por un nacionalismo de nuevo cuño (inserto en la historia real, "dinámico", así como científico y sólidamente establecido sobre las fuentes documentales).

"En este campo -afirma el historiador- realizó Pivel Devoto, como manifestación de la aludida renovación historiográfica, su aporte quizás más valioso: *Raíces coloniales de la Revolución Oriental de 1811* (Montevideo, 1952), que, apartándose de la trillada génesis proceril del movimiento emancipador, buscó una explicación más honda en la dinámica de fuerzas sociales e intereses económicos, proyectismo ilustrado y empecinamiento popular. El cauce oficial en el que la labor de Pivel Devoto se concretó, no hacía esperar un pronunciamiento hermenéutico de ese tenor".

Para ejemplificar el apartamiento de Pivel de las tesis nacionalistas más ingenuas -aquellas de cuño marcadamente esencialista o metafísico- y su inmersión en las dinámicas de la "historia real", Zubillaga cita este pasaje, muy significativo, de *Raíces coloniales...*: "Los factores económicos y políticos [...] hicieron, entonces, las veces de fuerzas catalizadoras en un medio cuya desorganización lo predisponía desde hacía tiempo para ser el escenario natural de un movimiento revolucionario. Durante años se había diferido la solución de los viejos problemas de la Banda Oriental, originados en su mayor parte por la forma inorgánica en que se había desarrollado su proceso de población. La no definición de la frontera, los desórdenes que resultaban de la práctica del contrabando y de no haberse concentrado las parcialidades indígenas en reducciones; la desarticulación administrativa, el choque entre los poseedores de grandes extensiones de tierra y los que sin permiso se afincaban en ella, que estimulaba la vagancia e influía para que fuera cada vez más grande el número de hombres sueltos que merodeaban por los campos; el estado embrionario de las paupérrimas poblaciones que habían surgido, la resistencia que los grandes propietarios oponían a los intentos para la formación de pueblos, la indeterminación de la jurisdicción real de los existentes que impedía el desarrollo de los mismos y el fomento de las haciendas; la carencia de jueces que administraran justicia expeditiva configuraban una serie por cierto numerosa de problemas de carácter social, sobre los cuales incidieron, para provocar el estallido revolucionario, los factores que resultaron de la serie de medidas adoptadas por el gobierno de Montevideo para obtener recursos e imponer su autoridad".

Caudillos y doctores

Para Pivel, la historia de Uruguay es la historia de sus partidos políticos, partidos que hunden sus raíces en la época colonial. Esta tesis, que fue de hecho muy criticada en los años sesenta (por dejar prácticamente fuera de las dinámicas sociales a un conjunto muy importante de agentes y de fuerzas históricas), fue retomada y revalorizada por la generación de jóvenes historiadores (Rilla, Gerardo Caetano) que pusieron a la "partidocracia" uruguaya y al "partidocentrismo" en el centro de sus consideraciones.

Desde el punto de vista de nuestro autor, los partidos uruguayos (los partidos tradicionales, desde luego) son el producto de la actividad de los grandes caudillos rurales y no les deben mayormente nada a los doctores de la ciudad. Esta dialéctica entre caudillos y doctores, en que los primeros son la expresión más auténtica de la democracia y los segundos tan sólo hábiles redactores de manifiestos, cuya destreza con la pluma es directamente proporcional a su incapacidad para expresar los sentimientos populares, atraviesa casi toda la producción historiográfica de Pivel, quizás más como un ideal normativo que como una hipótesis descriptiva.

Hay un libro, sin embargo, en que los sofisticados y superfluos letrados "principistas" de la ciudad adquieren por una vez un significado trascendente en el relato piveliano de la nación: *La amnistía en la tradición nacional* (1984), la última de sus obras (escrita en colaboración con su esposa, Alcira Ranieri).

Es que, aunque se sintiera quizás en la obligación moral de amar a los caudillos, Pivel, por supuesto, era un doctor.

Aníbal Corti