

Imperios de la mente – Diabetes y tres premios Kovalevskaia después

Por **La Redacción** - 25/08/2021



Autor: Dr. José Martín Méndez González

Es el jueves 18 de abril de 1985, y un ingeniero químico llamado John Thomas Sorensen está punto de defender su tesis doctoral en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (mejor conocido como MIT, por sus siglas en inglés). Contrario a lo que podría esperarse dada la rama científica de su profesión, su tesis no analiza u optimiza un proceso químico industrial. Más bien, su trabajo de los últimos años se ha enfocado en modelar y analizar cómo se comporta un proceso fundamental que ocurre al interior de los seres humanos: el metabolismo de la glucosa (el "azúcar"). Su tesis doctoral se titula: ["Un modelo fisiológico de metabolismo de la glucosa en el hombre y su uso para diseñar y evaluar mejoras en](#)

[terapias con insulina para la diabetes."](#)

La característica principal de la diabetes es la falta de control en los niveles de glucosa en la sangre, lo cual conlleva complicaciones graves a largo plazo como ceguera, insuficiencia renal, daño al sistema nervioso y amputaciones, sólo por mencionar algunas. La falta de regulación de glucosa en sangre se debe a dos razones principalmente: 1) el páncreas del individuo deja de producir la hormona insulina (diabetes tipo I); 2) el cuerpo del individuo comienza a ser incapaz de aprovechar eficazmente la insulina que produce el páncreas (diabetes tipo II).

Específicamente, para los diabéticos tipo 1, no tener acceso a la insulina es una sentencia de muerte: el aire para respirar y la insulina vienen a ser lo mismo.

Sorensen empleó herramientas del control de procesos (*i.e.* matemáticas aplicadas) para diseñar y sintonizar un controlador que permite suministrar insulina para regular el "azúcar" en la sangre tal como lo haría—o lo más parecido a—el páncreas en un sujeto sano, sin diabetes tipo I. En otras palabras, Sorensen fue capaz de crear un algoritmo de control que hace el trabajo del páncreas, es decir, un "páncreas artificial".

Avancemos en el tiempo hasta mediados del año 2000. En esta ocasión, un científico e ingeniero químico mexicano—el [Dr. Alejandro Ricardo Femat Flores](#)—le ha estado dando vueltas a cómo mejorar los resultados de Sorensen y comenzar a diseñar e instrumentar una bomba que suministre insulina. Bien por azar o destino, a la sazón, en esta aventura se le une una estudiante próxima a graduarse de la licenciatura en electrónica en el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, que ya traía la idea de cómo sería posible incluir bioseñales a los circuitos electrónicos. Así, en 2003, surge la tesis de licenciatura "*Diseño e instrumentación de una bomba para suministro de insulina*".

Posteriormente, la ahora [Dra. Griselda Quiroz Compeán](#), se enrola en el programa de Control y Sistemas Dinámicos que ofrece el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A. C. ([IPICYT](#), un Centro Público de Investigación del CONACYT) continuando con la dirección del Dr. Femat. Su tesis de maestría (2005) surge de "la inquietud de contar con un sistema que determine la cantidad de insulina que necesita un diabético en determinado momento del día y bajo diversas condiciones; es aquí donde la teoría de control encuentra aplicación en el diseño de controladores retroalimentados, que sean capaces de suministrar la cantidad de insulina requerida

para la metabolización de glucosa de un individuo con Diabetes Mellitus Tipo 1 (DMT 1) se aproxime a la de una persona sana". Analizando el modelo de Sorensen, la Dra. Quiroz logró determinar qué parámetros tienen un efecto significativo sobre el comportamiento dinámico con la finalidad de modificarlos y poder representar un abanico más amplio de pacientes que los que define el modelo de Sorensen.

Tres años después, esa idea que traía como estudiante de la licenciatura de incluir bioseñales, se ve cristalizada en su tesis doctoral, *"Inclusión de bioseñales como funciones de peso en un sistema de control retroalimentado para manejo de glucemia en Diabetes Mellitus Tipo 1"*. En la tesis de la Dra. Quiroz se establece el diseño de controladores de glucosa para que sea aplicado como terapia. La principal aportación científica de su tesis es que los controladores diseñados permiten calcular la *cantidad* y la *forma* en que debe ser suministrada la insulina a una persona con DMT 1. Esto permite evitar escenarios (peligrosos) de hipoglucemia (concentraciones bajas de "azúcar") e hiperglucemia (concentraciones elevadas de "azúcar"), así como mejorar el manejo del control de glucosa cuando la persona realiza ejercicio.

Paralelamente al trabajo de la Dra. Quiroz, en el mismo grupo de investigación del Dr. Femat, también fue avanzado el de la Dra. Claudia Patricia Flores González quien, en 2003, defendió su tesis de maestría *"Control asistido por computadora de bomba para infusión de insulina"*, cuando se encontraba adscrita a la [Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí \(UASLP\)](#). Esta sinergia continúa durante el doctorado en el IPICYT, donde aplica metodologías de identificación de sistemas dinámicos (modelos de entrada-salida) logra obtener un modelo a partir de los datos de insulina suministrada vía subcutánea (entrada) a un sujeto y midiendo como respuesta (salida) la glucosa intersticial. Con dicho modelo, diseñó un controlador robusto que permite rechazar perturbaciones por ingesta, así como posibles variaciones paramétricas. Por lo anterior, su tesis doctoral lleva el título *"Identificación de modelo para incorporar escenarios de hiper e hipoglucemia en control de DMT 1"*, la cual la Dra. Flores defendió en 2011.

Antes de continuar, es conveniente un poco de contexto. [La Federación Internacional de la Diabetes estimó en 2019 la muerte de 4.2 millones de personas](#) debido a la diabetes y *sus complicaciones*. México ocupó en 2017 el lugar número uno en diabetes entre los [países miembros de la OECD](#) y desde el año 2000 la diabetes es la [primera causa de muerte entre mujeres y la segunda en hombres](#). Son números nada desdeñables pero así como ciertos procesos industriales tienen una huella de carbono, así las enfermedades crónico-degenerativas dejan tras de sí una estela de recursos financieros y emocionales no menos importantes.

Uno de los órganos que se ve impactado por la diabetes mellitus es el riñón, y a su vez, cuando existen complicaciones en el riñón, puede incrementarse la posibilidad de un infarto al corazón. Tomando en cuenta que el riñón está profusamente vascularizado y es el principal medio del que dispone nuestro organismo para purificar y mantener el equilibrio químico en la sangre, su estudio en el contexto de la diabetes mellitus tiene sentido. ¿Cómo modelarlo matemáticamente? ¿Cómo obtener un modelo abstracto, pero suficientemente fiel a la realidad para incluirlo en los modelos de control de diabetes? O mejor aún, con el advenimiento de las impresoras 3D, general un algoritmo que permita *decirle* a la impresora 3D cómo debe imprimir el árbol vascular de un riñón para sustituir, reparar o dar terapia a un paciente con daño o problemas del riñón.

Siguiendo esta lógica de comprender cómo se forma el árbol vascular del riñón, se incorpora como estudiante de doctorado al grupo del Dr. Femat la [Dra. Aurora Espinosa Valdez](#). Su investigación logra generar árboles vasculares utilizando teoría de grafos e incorporando en los algoritmos de crecimiento del árbol información experimental de la fisiología presente en la bifurcación arterial. Es decir, el algoritmo que produce el árbol vascular no crece sin ton ni son, sino que lo hace contemplando restricciones biológicas. Así, los algoritmos desarrollados por la Dra. Espinosa lograron capturar la longitud y ancho promedio observada experimentalmente para los segmentos del árbol vascular. Además, en su tesis doctoral *"Grafos en el árbol vascular del riñón"* (2010) se conjetura que la dimensión fractal podría usarse como parámetro para identificar si la morfología del riñón es apropiada para realizar sus funciones; esta información podría obtenerse de los angiogramas.

La calidad en la investigación científica que he descrito de estas tres mujeres científica mexicanas no pasó desapercibida para la [Sociedad Matemática Mexicana](#), la cual otorga apoyo **financiero**

complementario para la participación de mujeres en la investigación en matemáticas en México a través de la Fundación Kovalevskaia. En 2009, tanto la Dra. Griselda Quiroz, como la Dra. Claudia Patricia Flores y la Dra. Aurora Espinosa recibieron el Premio Sofía Kovalevskaia.

Puede que a algunos lectore(a)s les parezca todavía muy lejano, como de ciencia ficción, el uso de las herramientas de control automático para mejorar la calidad de vida en pacientes con diabetes. O bien, piensen que se trata de terapias prohibitivas, exclusivas de países de "primer mundo". Nada más alejado de la realidad.

Uno de los ejemplos más destacados es el movimiento del páncreas artificial, liderado por [Dana M. Lewis](#). El proyecto hace uso de los datos generados por el individuo diabético para ajustar automáticamente el algoritmo (páncreas artificial) de código abierto que calcula la tasa adecuada de insulina que debe suministrarse a través de una bomba dependiendo de sus niveles de glucosa en tiempo real (inclusive cuando el individuo duerme y no está alerta); así, se cierra el lazo de control (*looping* en la jerga de este movimiento). La mejora en la calidad de vida ha sido tan exitoso que éste movimiento también ha generado un mercado *underground* para el [hackeo informático de bombas de insulina](#).

Lamentablemente, asociaciones como la [Asociación Mexicana de Diabetes](#), a 32 años de su fundación, aún no cuenta "con presupuesto ni con el personal capacitado para investigaciones de este tipo. [Sus] objetivos y alcances hoy, están centrados en educación en diabetes." A esto hay que añadir el impacto de la pandemia en la diabetes ya que "el virus SARS-CoV-2 suprime la capacidad de la glucosa para estimular la secreción de insulina".

Que no se diga que en México no hay talento científico para hacer frente a problemáticas de salud no sólo de impacto nacional sino mundial. Creo, más bien, que lo que hace falta es talento empresarial nacional para apostar por ese talento científico, de lo contrario, alguien más lo hará. O peor aún, ese talento científico se volverá un derelicto, oxidándose en las costas de un país que pudo ser líder científico pero que prefirió no serlo, y observando cómo otros surfean las olas del cambio. No en balde el científico del MIT, Phil Sharp, al referirse a la fragilidad de una sociedad del conocimiento señala: "la innovación camina sobre dos pies". Hoy, al menos en diabetes (un problema de escala mundial), tenemos esa innovación a la vuelta de la esquina; mañana, quién sabe.