

# Development of a computational application for visualizing and analyzing insulin treatment data in an adolescent with Type 1 Diabetes Mellitus

## Desarrollo de una aplicación computacional para visualizar y analizar datos del tratamiento con insulina en un adolescente con Diabetes Mellitus Tipo 1

J.A. García-Rodríguez  \*<sup>1</sup>, Jorge I. Cuevas-Chávez <sup>1</sup>, Roberto Carlos Diaz Velazco <sup>1</sup>, Sofía Mireles-S. <sup>1</sup>, G.Y. Cortés-Solares <sup>1</sup>, and Cynthia Mejía <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán,  
División de Estudios de Posgrado e Investigación,  
Av. Tecnológico 100, Ciudad Guzmán, Municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, México, CP. 49100  
{julio.gr, M22290910, M22290912, M22290908, M22290907, M22290909}@cdguzman.tecnm.mx

### Abstract

In this manuscript, a computational application is developed to analyze the effect of *Lispro* and *Glargine* insulins in an adolescent living with T1DM, who used a FreeStyle<sup>®</sup> sensor over a 14-day monitoring period. The action of both insulins is estimated using pharmacokinetic profiles based on their respective dynamic mathematical models. The results revealed prolonged hyperglycemic episodes and potential inefficiencies in medication. The application aims to be a strategic computational tool for medical professionals in making decisions regarding diabetes management.

**Keywords**— Type 1 Diabetes Mellitus (T1DM), FreeStyle<sup>®</sup> sensor, *Lispro* insulin, *Glargine* insulin

### Resumen

En este manuscrito se desarrolla una aplicación para analizar el efecto de las insulinas *Lispro* y *Glargina* en un adolescente que vive con DMT1 y usó un sensor FreeStyle<sup>®</sup> durante 14 días de experimentación. La acción de ambas insulinas se estima por la programación del perfil farmacocinético a través de su respectivo modelo matemático dinámico. En los resultados se identificaron episodios prolongados de hiperglucemia y posibles ineficiencias en la medicación. Esta aplicación pretende ser una herramienta computacional estratégica para los médicos especialistas en la toma de decisiones sobre el tratamiento de DMT1.

**Palabras clave**— Diabetes Mellitus Tipo 1 (DMT1), Sensor FreeStyle<sup>®</sup>, Insulina *Lispro*, Insulina *Glargina*

## I. Introducción

La glucosa es una variedad de azúcar transportada a través de la sangre y sirve como energía para que las células realicen sus funciones biológicas normales. La glucosa es un carbohidrato simple que se encuentra naturalmente en muchas cosas que comemos. Además, el cuerpo humano puede producir glucosa descomponiendo

otros carbohidratos más complejos. El cerebro, los tejidos y los órganos del cuerpo dependen de esta sustancia como su principal fuente de energía. Sin embargo, los tejidos no pueden retener naturalmente la glucosa del torrente sanguíneo. Aquí funciona la hormona insulina que se produce en el páncreas, permitiendo que la glucosa entre en los tejidos y se utilice como energía. Este proceso biológico es extremadamente complejo. Por lo tanto, la insulina es fundamental para el control de la glucosa y

\* Autor de correspondencia

el consumo humano [1].

La Diabetes Mellitus (DM) es un padecimiento que se distingue por presentar niveles de glucosa en sangre crónicamente elevados, teniendo como síntoma principal la orina abundante, sed excesiva, pérdida de peso, entre otros. En esta enfermedad existe una deficiencia relativa o absoluta de secreción de insulina pancreática agotando los recursos para controlar el nivel de azúcar en sangre. Hay dos tipos principales de DM, la tipo 1 (DMT1) y la tipo 2 (DMT2). La DMT1 sucede porque el sistema inmunitario ataca y destruye la célula productora de insulina en los islotes de Langerhans del páncreas (déficit absoluto). En DMT2 el cuerpo no utiliza la insulina adecuadamente. Puede aparecer por causas relacionadas a la obesidad, estilo de vida sedentario o carga genética [2]. La DM es un grave problema de salud pública ya que conlleva a complicaciones de corto y largo plazo. La falta absoluta de insulina puede conducir a una situación de cetoacidosis diabética o a un coma hiperglucémico con una gran tasa de mortalidad. La DM es una de las principales causas de ceguera, insuficiencia renal, ataques cardíacos, accidentes cerebrovasculares y amputación de miembros inferiores. La mortalidad por cardiopatía isquémica es entre 2 y 4 veces superior a la de las personas no diabéticas [3].

Un análogo de insulina tiene el propósito de emular la función regulatoria que la insulina humana desempeña. La administración de un análogo de insulina se realiza típicamente mediante inyecciones subcutáneas. Estas dosis son administradas antes de las ingestas de comidas para absorber la glucosa circulante en el torrente sanguíneo y regular los niveles después de la comida [4]. Existen dos tipos principales de insulina utilizada en el tratamiento de DM: la insulina de acción rápida y la insulina de acción prolongada [5], [6]. En los últimos años se han desarrollado insulinas de acción lenta mejoradas como la insulina *Glargina* que tiene un pico de acción de aproximadamente 4 a 7 horas y una duración total de 16 a 22 horas después de la administración [7], [8]. La insulina *Lispro* es uno de los análogos más comúnmente usados para obtener una acción rápida. Suele inyectarse entre 20 y 30 minutos antes de la comida y su acción máxima ocurre entre 1 y 2 horas después de la inyección [9]. Las dosis de insulina son prescritas por el médico basándose en el peso corporal del paciente y generalmente oscila entre 0.4 y 1.0 unidades por kilogramo. La combinación suele ser del 50 % de insulina de acción rápida y el 50 % de insulina de acción prolongada [10]. Las insulinas *Glargina* y *Lispro* pueden administrarse individualmente o combinadas para imitar el aumento natural de la insulina pancreática después de comer y mantener una concentración basal constante.

En este trabajo se desarrolla una aplicación utilizando

Matlab® App Designer para la visualización de seis variables cruciales en el control de la glucemia. Estas variables se basan en datos experimentales recopilados de un adolescente real de 15 años de edad, que vive con DMT1. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito tanto de los padres como del propio adolescente para utilizar un sensor de glucosa FreeStyle® durante un periodo de 14 días. El equipo de investigación registró información detallada, incluyendo todas las comidas con sus respectivos horarios, el tipo de insulina administrada (*Lispro* o *Glargina*), la cantidad de insulina, los horarios de las inyecciones y los síntomas generales, a lo largo del experimento. La aplicación computacional extrae esta información de una base de datos creada y genera gráficos representativos de las variables esenciales para el día seleccionado por el usuario. Las variables que se muestran incluyen el nivel de glucosa, la ingesta de carbohidratos, las unidades de insulina *Glargina* y *Lispro*, así como la acción de ambas insulinas. Tal acción se estima por la programación del perfil farmacocinético a través de su respectivo modelo matemático dinámico, desarrollados a detalle en la sección III. El objetivo principal de esta interfaz gráfica es proporcionar una herramienta útil para las personas que viven con DMT1. Además, se busca brindar un respaldo confiable a los médicos especialistas en DMT1, permitiéndoles tomar decisiones más informadas sobre el ajuste de la medicación y la gestión del tratamiento mediante un análisis preciso del comportamiento glucémico facilitado por esta interfaz.

## II. Estado del arte

Es un hecho que el tratamiento de la DMT1 ha avanzado significativamente mediante el uso de tecnologías digitales como sensores de monitoreo continuo de glucosa (MCG), aplicaciones móviles y herramientas basadas en inteligencia artificial. Aún así, los pacientes y médicos continúan enfrentando desafíos para integrar y visualizar múltiples fuentes de información clínica como niveles de glucosa, dosis de insulina e ingesta de carbohidratos de manera clara y útil para la toma de decisiones terapéuticas.

Durante las últimas décadas, se han desarrollado modelos matemáticos precisos que representan el comportamiento dinámico del sistema glucosa-insulina. Destacan los modelos propuestos por Dalla Man *et al.* [11] para simular la absorción gastrointestinal de carbohidratos y la respuesta a la insulina del cuerpo humano [12]. Así como el modelo compartimental para la absorción subcutánea de insulina *Glargina* desarrollado por Schiavon *et al.* [13]. Estos modelos han servido como base para simulaciones fisiológicas y para el diseño de algoritmos en el ámbito clínico y experimental.

La comunidad científica ha comenzado a explorar el desarrollo de herramientas computacionales con capacidad predictiva, empleando algoritmos de aprendizaje automático como clasificadores RF (del inglés: *Random Forest*), máquinas de soporte de vectores (SVR, del inglés: *Support Vector Machine*) o redes neuronales artificiales (ANN, del inglés: *Artificial Neural Network*) con el fin de anticipar episodios de hipoglucemia o hiperglucemia [14], [15], [16]. Estas iniciativas suelen apoyarse en datos simulados o en bases de datos clínicos históricos y buscan generar sistemas personalizados de apoyo a decisiones médicas. Aunque muchos de estos desarrollos se encuentran en fases de prueba o validación, representan un paso importante hacia soluciones predictivas aplicables en entornos reales. No obstante, pocas propuestas han logrado integrar en una misma plataforma visualización de datos reales, modelos dinámicos de absorción de insulina y registros detallados de ingesta alimenticia. Esta integración resulta crucial para contextualizar los niveles de glucosa en función del tratamiento administrado y los hábitos alimenticios diarios de los pacientes DMT1.

### III. Materiales y métodos

En esta sección se describen a detalle los materiales y métodos que conforman esta propuesta.

#### III.1. Monitoreo continuo de glucosa (MCG)

Uno de los principales objetivos de investigación en DM ha sido el de proporcionar monitorización continua de la glucosa para que la terapia con insulina se mantenga en niveles normales la mayor cantidad de tiempo posible. Los sensores de glucosa pueden colocarse por vía subcutánea hasta 14 días y se comunican de forma inalámbrica con dispositivos inteligentes como los smartphones [17]. El sensor de glucosa FreeStyle® contiene un transmisor y generalmente se inserta mediante un aplicador en la parte posterior y superficial del brazo. El sensor FreeStyle® y el aplicador pueden verse en la Figura 1. La cánula que se inserta mide 0.4 milímetros de ancho y 5 milímetros de largo. El sensor se comunica de forma inalámbrica con el medidor y la calibración es automática. Las lecturas de glucosa se obtienen sosteniendo el medidor a 4 centímetros del sensor o mediante una aplicación en un teléfono móvil. Los datos se pueden descargar a una computadora [18]. En el diagrama de la Figura 2 se muestra cómo el sensor de glucosa queda pegado en la piel y la cánula es capaz de llegar al fluido intersticial para medir la cantidad de glucosa proveniente del torrente sanguíneo.



Figura 1: Fotografía del Sensor FreeStyle® dentro del aplicador.

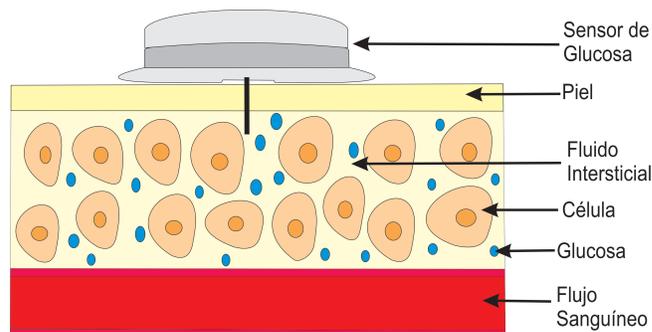


Figura 2: Diagrama del sensor de glucosa sobre el tejido subcutáneo.

#### III.2. Modelos de absorción subcutánea de insulina

Los modelos de absorción subcutánea de insulina de acción prolongada (del inglés: *Long Acting*) y de acción rápida (del inglés: *Short Acting*) fueron obtenidos de los trabajos Michele Schiavon *et al.* en [6] y [13], respectivamente. Estos estudios detallan los modelos de cada tipo de insulina y explican cómo son aplicables a personas que usan insulina.

#### III.3. Acción rápida

La insulina de acción rápida se utiliza para regular los niveles de glucosa en sangre justo después de las comidas. Ésta se absorbe de manera rápida en el tejido subcutáneo y su perfil de absorción se representa mediante el gráfico por compartimentos de la Figura 3. El modelo describe cómo se absorbe la insulina rápida en el cuerpo después de una inyección subcutánea. El trabajo de Michele Schiavon *et al.* [13] argumenta que en su modelo incluye un retraso de promedio de 7.6 minutos antes de que la insulina comience a distribuirse. Una parte de la insulina pasa directamente al plasma y otra parte va a un segundo compartimento antes de llegar al plasma. Este enfoque logró representar con precisión cómo varía la insulina en la sangre tras la inyección.

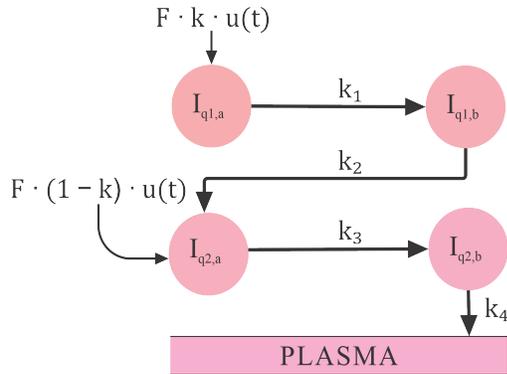


Figura 3: Modelo de absorción de insulina de acción rápida.

### III.4. Acción prolongada

La insulina de acción prolongada es un tipo de insulina diseñada específicamente para liberarse de manera más lenta hacia el torrente sanguíneo. Ayuda a regular la glucosa durante las comidas del día y el periodo nocturno. El modelo de insulina de acción prolongada publicado por Michele Schiavon *et al.* en [6] es lineal y consta de dos compartimentos. Este modelo matemático representa cómo la insulina glargina en sus formulaciones Gla-100 y Gla-300 se disuelve primero en el sitio de inyección y luego se distribuye entre dos compartimentos antes de llegar al plasma. El modelo se representa en la Figura 4 donde se pueden ver las etapas representadas por ecuaciones matemáticas.

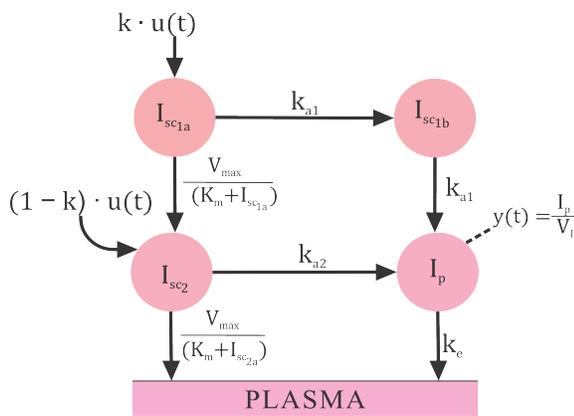


Figura 4: Modelo de absorción de insulina de acción prolongada.

## IV. Resultados

La obtención de datos de un sensor de glucosa Freestyle® puede realizarse mediante la aplicación

Freestyle Libre o a través de la plataforma LibreView de Abbott® exclusiva para usuarios de sensores.

### IV.1. Monitoreo continuo de glucosa en un adolescente con DMT1

El grupo de investigación que desarrolla el presente artículo obtuvo el consentimiento informado por escrito tanto de los padres como del propio adolescente para utilizar un sensor de glucosa FreeStyle® durante un periodo de 14 días. Se coloca el sensor en la parte trasera del brazo izquierdo del adolescente que vive con DMT1, como se presenta en la Figura 5.



Figura 5: Colocación del sensor Freestyle® en el brazo izquierdo del adolescente DMT1.

El sensor se calibrará dentro de los primeros 60 minutos de manera automática. Después estará listo para monitorear el nivel de glucosa en el fluido intersticial del adolescente. El monitoreo continuo de glucosa se lleva a cabo durante los próximos 14 días y los datos se suben automáticamente a la plataforma LibreView con almacenamiento en la nube. Los datos están disponibles para descargar en formato .csv.

### IV.2. Conteo de carbohidratos

Una persona que vive con DM debe seguir un plan de alimentación equilibrado y personalizado. Su estilo de vida y cuidados médicos son extremadamente importantes para mantenerse dentro de un régimen de control. Es crucial cuantificar la ingesta de alimentos, en especial la de los carbohidratos. Todo esto, en conjunto con la actividad física diaria puede ayudar a controlar los niveles de glucosa en la sangre, optimiza la sensibilidad a la insulina y mejora el control de la diabetes, manteniendo un peso saludable. El adolescente

elaboró un registro manual de todos los alimentos consumidos durante los días de experimentación. El Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes (SMAE) es una guía que agrupa los alimentos que contienen carbohidratos, proteínas o grasas. Sirve para ayudar a las personas, especialmente con diabetes, a planear sus comidas [19]. En el conteo de carbohidratos, el SMAE indica cuánta cantidad de un alimento contiene más o menos 15 gramos de carbohidratos. De esta manera, se hace el conteo de carbohidratos por comida y por día usando la guía SMAE. Como resultado se obtiene una base de datos que contiene todos los alimentos consumidos y la cantidad de carbohidratos correspondiente en los 14 días de experimentación. Para este manuscrito, solamente se presentan los datos de dos días que corresponden al 20 de Diciembre de 2023 y 24 de Diciembre de 2023 en las Tablas 1 y 2, respectivamente. Se seleccionaron estos días por evidenciar con mayor claridad la interacción entre glucosa, insulina y carbohidratos en comparación con los demás.

**Tabla 1:** *Conteo de carbohidratos. Día 20 de Diciembre de 2023.*

Día 1	Alimentos	Carbohidratos (gramos)
Desayuno	2 Molletes de frijoles con queso, 1 taza de papaya y calabacitas.	56.3
Comida	1 Porción de carne asada con chorizo, 1 taza de frijoles y 2 tortillas de maíz.	53.6
Cena	1 Taza de cereal y 1 taza de leche.	61.0
Consumo Total		170.9

**Tabla 2:** *Conteo de carbohidratos. Día 24 de Diciembre de 2023.*

Día 2	Alimentos	Carbohidratos (gramos)
Desayuno	1 Plato de menudo con 2 tortillas.	37.1
Comida	Picadillo con romeritos y 1 tortilla.	23.6
Cena	2 tamales de carne con 1 vaso de atole.	113.0
Consumo Total		173.7

### IV.3. Desarrollo de la aplicación y base de datos

Se desarrolló una aplicación con el objetivo de procesar los datos obtenidos por el sensor de glucosa y poder visualizar las mediciones a cada minuto, junto con la acción de las inyecciones de insulina y el consumo de carbohidratos.

Se obtuvieron las mediciones de glucosa del paciente durante un periodo de 14 días, con un tiempo de muestreo de 15 minutos. Para adquirir el nivel de glucosa en cada minuto del día se utilizó el método de interpolación Spline cúbico. A través de esta técnica se pueden construir funciones polinómicas de tercer grado entre cada par de puntos adyacentes, garantizando que dichas funciones sean suaves y continuas en sus primeras y segundas derivadas. De esta manera, se estimaron los valores faltantes para la aproximación de todos los datos consecutivos. Se realizó el procesamiento de datos en Matlab<sup>®</sup>, importando los datos obtenidos por el sensor desde excel e interpolándolos con el comando *spline*.

### IV.4. Interfaz gráfica

La aplicación se creó en un entorno de desarrollo interactivo llamado Matlab<sup>®</sup> App Designer, el cual está integrado en el editor de este software. Este entorno permite diseñar de manera sencilla interfaces gráficas de usuario y programar el comportamiento funcional de la aplicación en un mismo espacio. Se opta por usar Matlab<sup>®</sup> App Designer debido a su compatibilidad directa con funciones matemáticas y de procesamiento de datos, así como por su eficiencia para integrar visualizaciones interactivas con rutinas de análisis numérico.

Como se puede observar en la Figura 6, se muestra inicialmente la interfaz gráfica. En esta, podemos apreciar, en primera instancia, un selector que despliega los días de monitoreo de glucosa del paciente DMT1. Dentro de la ventana de la Figura 6, están dos subgráficas (superior e inferior) que proporcionan información adicional sobre el comportamiento de la glucosa del paciente. En la superior se hace referencia al comportamiento de la glucosa e ingesta de alimentos. En la inferior se despliega la acción de las insulinas *Lispro* y *Glargina*, así como a las inyecciones de insulina. Ambas subgráficas tienen un doble eje vertical (eje Y), los cuales presentan dos escalas de información útil. Además, el eje horizontal (eje X) representa la hora del día. Cuando se selecciona una fecha específica, como el 20 de diciembre de 2022, se despliegan en los rectángulos las curvas de información, tal como se muestra en la Figura 7. En la subgráfica superior, se despliega el nivel de glucosa en (mg/dL) en color rosa y cómo cambia su comportamiento a lo largo de las horas del día. También se puede observar en color rojo la ingesta de carbohidratos (CH) que el paciente consumió en una hora específica. El usuario,

que podría ser un médico, puede interpretar los datos de la siguiente manera: aproximadamente a las 7:30 horas, el paciente ingirió su desayuno con un contenido de carbohidratos de alrededor de 55 gramos de CH, lo cual provocó un ligero incremento en la dinámica de la glucosa (curva rosa) del paciente. En la subgráfica inferior de la Figura 7, se muestran diferentes curvas del comportamiento de las inyecciones de insulina y las dosis aplicadas. En el impulso de color verde, se puede apreciar la inyección de la dosis de insulina *Glargina*. La curva punteada color verde es su acción correspondiente. Es decir, la interfaz calcula la curva de acción de la insulina como volumen en miliunidades por mililitro (mU/ml) usando como dato de entrada  $u(t)$  la cantidad inyectada por el paciente. Este cálculo se lleva a cabo por

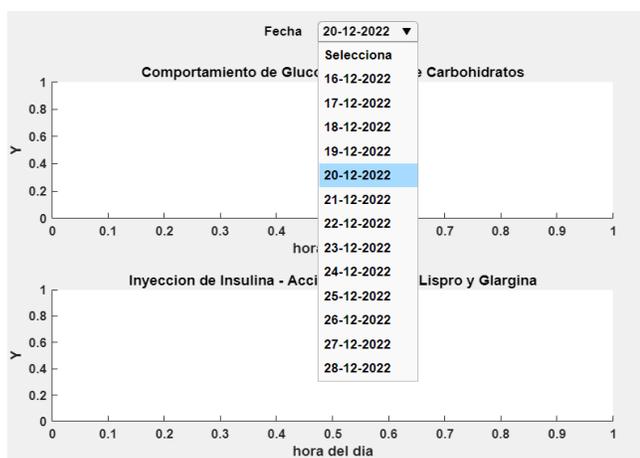


Figura 6: Ventana de la aplicación computacional para seleccionar el día de visualización.

la programación interna de las ecuaciones diferenciales que describen el modelo de absorción prolongada de la Figura 4. Es fácil ver cómo el efecto de la *Glargina* se prolonga a lo largo del día, durante casi 16 horas. Por otro lado, el impulso de color azul muestra las inyecciones de insulina *Lispro*. A diferencia de la *Glargina*, la insulina *Lispro* se aplica varias veces a lo largo del día, normalmente antes de cada comida. La curva punteada azul describe el comportamiento dinámico en volumen de insulina en (mU/ml). De igual forma, por el modelo de absorción rápida de la Figura 3 explicado en la sección 2. Puede observarse fácilmente cómo el efecto dura menos tiempo que la *Glargina*, por este motivo las inyecciones de acción rápida son usadas para compensar la comida y mantener la glucosa controlada. De nuevo, un médico puede interpretar los datos de la siguiente manera: se inyecta la insulina *Glargina* aproximadamente a las 7:15 horas, la concentración de insulina empieza a elevarse lentamente alcanzando el pico máximo a las 13:00 horas. La mínima concentración de *Glargina* es a las 24:00 horas. Respecto a la acción de *Lispro* tiene un máximo a las

8:45 horas y el mínimo a las 13:30 horas. Puede verse claramente cómo la glucosa desciende rápidamente de 175 mg/dL a las 8:45 horas a 70 mg/dL a las 9:50 horas, por la acción de la *Lispro*. Este comportamiento es similar para la comida de las 13:30 horas y la cena de las 20:30 horas. La insulina de acción rápida *Lispro* calculada por la interfaz, describe de manera precisa la compensación en la glucosa real monitoreada continuamente por el sensor. Mientras que la *Glargina* ofrece estabilidad de glucosa con menor impacto durante todo el día.

En la Figura 8 se observa la ventana para el día 24 de diciembre de 2022. Pueden distinguirse 4 comidas, 9:00, 13:00, 17:00 y 20:45 horas. Respecto a las insulinas, el adolescente se inyectó 45 Unidades de *Glargina* a las 8:50 horas, 8 Unidades de *Lispro* a las 8:55 horas, 8 Unidades a las 16:55 horas y 10 Unidades a las 20:40 horas. En este día de experimentación puede verse claramente que la glucosa tuvo periodos prolongados en hiperglucemia, en comparación con la del 20 de diciembre. Es interesante evaluar cómo la dinámica glucémica del 24 de Diciembre tiene pendientes descendentes y ascendentes muy pronunciadas. Los niveles de hiperglucemia alcanzados este día son de riesgo y evidentemente las dosis de insulina no son suficientes para controlar al adolescente. Por lo tanto, la información que proporciona la interfaz que evalúa el efecto de dos tipos de insulina es completamente útil para que el médico especialista sugiera ajustes en la medicación de los diabéticos y de esta manera evitar escenarios de riesgo que puedan conducir a complicaciones más graves.

## V. Discusión

La propuesta presentada en este artículo constituye un avance relevante en el desarrollo de herramientas computacionales para la gestión personalizada de la DMT1. A diferencia de las soluciones que se basan sólo en predicción y simulación, la aplicación de este manuscrito se centra en la integración visual de datos reales de un paciente, lo que la convierte en una herramienta interpretativa. Con la referencia de los modelos matemáticos propuestos por Schiavon *et al.* [6], [13] se logró estimar de manera dinámica la acción farmacocinética de las insulinas *Lispro* y *Glargina*. Esta estimación fue representada de forma visual junto con variables esenciales como el nivel de glucosa, la ingesta de carbohidratos y las dosis administradas, lo que facilita el análisis de la respuesta metabólica de una persona que vive con DMT1. La utilidad de esta integración se evidenció en los resultados presentados. Esto es, el día 24 de diciembre, donde se observaron prolongados episodios de hiperglucemia, la visualización permitió identificar rápidamente posibles fallos en la

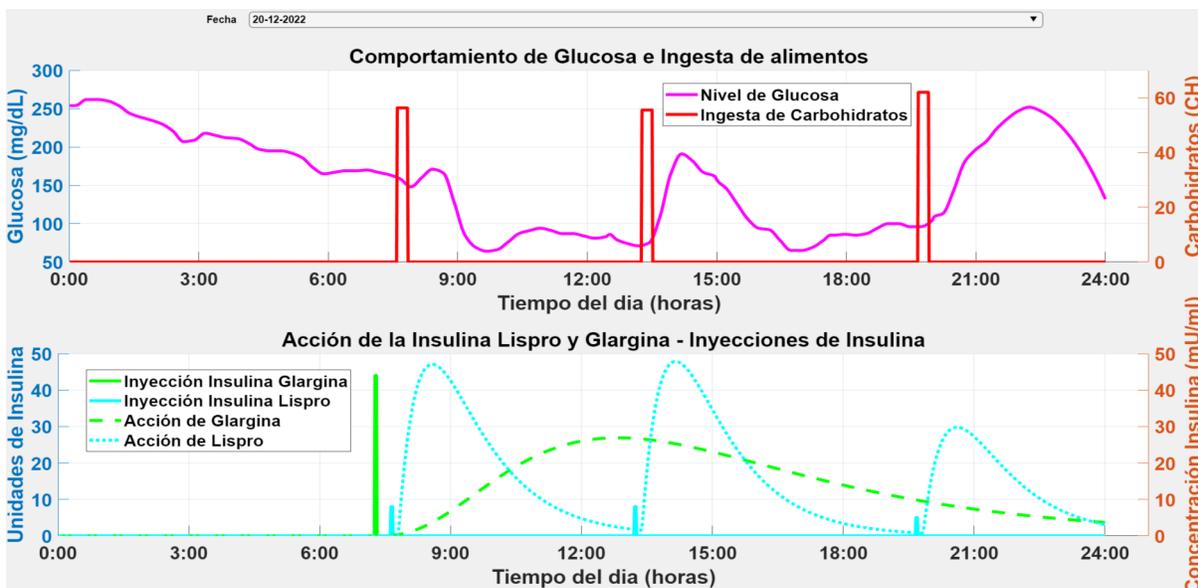


Figura 7: Ventana de la aplicación computacional que describe la dinámica completa de un adolescente DMT1 para el día 20 de diciembre de 2022.

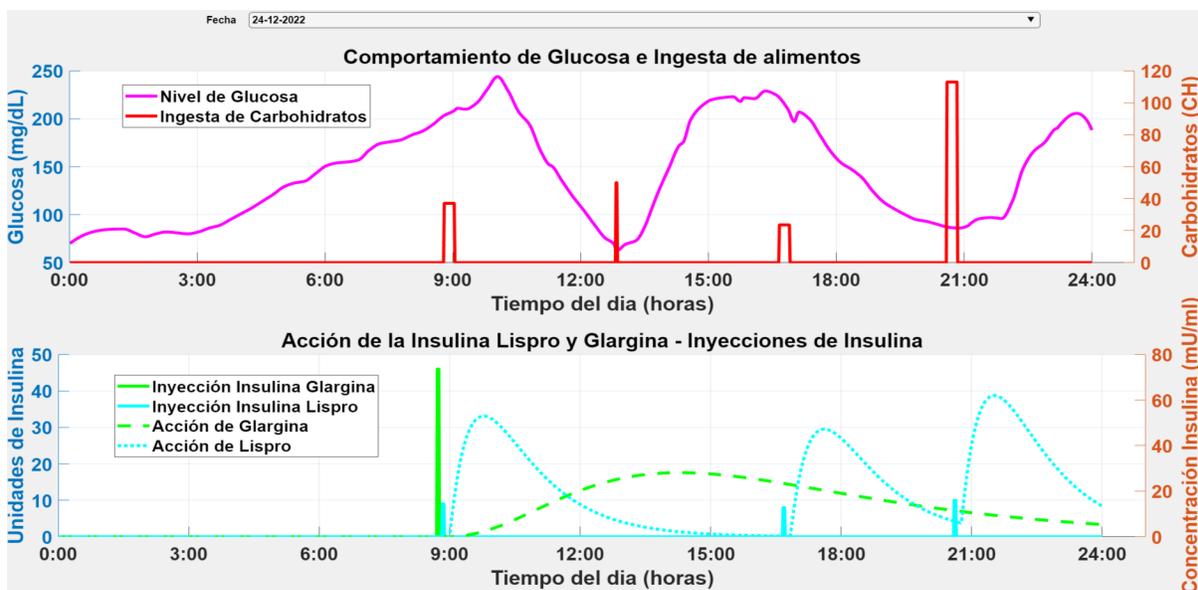


Figura 8: Ventana de la aplicación computacional que describe la dinámica completa de un adolescente DMT1 para el día 24 de diciembre de 2022.

estrategia de tratamiento. Esto es de gran valor para el profesional médico encargado o endocrinólogo. Este tipo de análisis no sería posible sin una representación fisiológica de todos los factores que intervienen en el control glucémico. Desde el punto de vista técnico, el uso de herramientas matemáticas para tratar los datos de glucosa y la implementación de modelos fisiológicos validados ofrece una aproximación interesante para la gestión de la enfermedad. Además, el desarrollo mediante MATLAB® App Designer garantiza una interfaz

robusta, clara y funcional, con enfoque en la usabilidad clínica. Los resultados obtenidos son pertinentes para avanzar hacia desarrollos computacionales enfocados en el análisis personalizado y la representación visual de variables fisiológicas. La propuesta que desarrolla este manuscrito puede fortalecer la toma de decisiones médicas mediante el análisis estructurado de datos reales.

## VI. Conclusiones

En el presente artículo se desarrolló una aplicación computacional orientada a la visualización e interpretación de datos de interés en un adolescente que vive con DMT1. A partir de información recolectada mediante un sensor FreeStyle® durante un periodo de 14 días, se integraron distintas etapas de procesamiento, como el análisis de datos de glucosa, el conteo de carbohidratos, la implementación de modelos dinámicos de la acción de la insulina y el diseño de una interfaz gráfica interactiva en MATLAB® App Designer. La herramienta propuesta permite representar de forma conjunta seis variables esenciales para el control glucémico, facilitando una interpretación visual del tratamiento aplicado y del comportamiento metabólico diario del paciente DMT1. El uso de modelos matemáticos fisiológicos validados, junto con datos reales del paciente, permite que la aplicación proporcione información de gran utilidad para el profesional médico, facilitando un análisis estructurado y personalizado del tratamiento. Los trabajos futuros de esta propuesta se orientan hacia plataformas móviles que permitan su implementación en contextos clínicos reales. Asimismo, se plantea incorporar funcionalidades predictivas mediante el uso de algoritmos de aprendizaje automático, así como la posibilidad de adaptar el sistema a otros perfiles de pacientes y a nuevas variables clínicas como actividad física o signos vitales. Estas mejoras podrían fortalecer el valor clínico de la herramienta y su impacto en la toma de decisiones médicas informadas.

## Referencias

- [1] Steven E. Kahn, Mark E. Cooper y Stefano Del Prato. «Pathophysiology and treatment of type 2 diabetes: Perspectives on the past, present, and future». English. En: *The Lancet* 383.9922 (2014), págs. 1068-1083. ISSN: 0140-6736. DOI: 10.1016/S0140-6736(13)62154-6.
- [2] Nicole C. Foster et al. «State of type 1 diabetes management and outcomes from the T1D Exchange in 2016-2018». En: *Diabetes Technol. Ther.* 21.2 (2019), págs. 66-72.
- [3] American Diabetes Association. «Introduction: Standards of Medical Care in Diabetes-2020». En: *Diabetes Care* 43.Supplement\_1 (dic. de 2019), S1-S2. ISSN: 0149-5992. DOI: 10.2337/dc20-Sint. eprint: [https://diabetesjournals.org/care/article-pdf/43/Supplement\\_1/S1/551683/dc20sint.pdf](https://diabetesjournals.org/care/article-pdf/43/Supplement_1/S1/551683/dc20sint.pdf). URL: <https://doi.org/10.2337/dc20-Sint>.
- [4] Lefever E, Vliebergh J y Mathieu C. «Improving the treatment of patients with diabetes using insulin analogues: current findings and future directions». En: *Expert Opinion on Drug Safety* 20.2 (2021), págs. 155-169.
- [5] Hanne Haahr y Tim Heise. «Fast-acting insulin aspart: a review of its pharmacokinetic and pharmacodynamic properties and the clinical consequences». En: *Clinical Pharmacokinetics* 59 (2020), págs. 155-172.
- [6] Michele Schiavon et al. «Modeling subcutaneous absorption of long-acting insulin glargine in type 1 diabetes». En: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 67.2 (2019), págs. 624-631.
- [7] Hirsch Irl B. et al. «The evolution of insulin and how it informs therapy and treatment choices». En: *Endocrine reviews* 41.5 (2020), págs. 733-755.
- [8] Owens David R et al. «Clinical relevance of pharmacokinetic and pharmacodynamic profiles of insulin degludec (100, 200 U/mL) and insulin glargine (100, 300 U/mL)—a review of evidence and clinical interpretation». En: *Diabetes & Metabolism* 45.4 (2019), págs. 330-340.
- [9] Dene Simpson et al. «Insulin lispro: a review of its use in the management of diabetes mellitus». En: *Drugs* 67 (2007), págs. 407-434.
- [10] Melo K.F.S. et al. «Short-acting insulin analogues versus regular human insulin on postprandial glucose and hypoglycemia in type 1 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis». En: *Diabetology & metabolic syndrome* 11.1 (2019), págs. 1-13.
- [11] C. Dalla Man, M. Camilleri y C. Cobelli. «A System Model of Oral Glucose Absorption: Validation on Gold Standard Data». En: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 53.12 (2006), págs. 2472-2478. DOI: 10.1109/TBME.2006.883792. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4015600> (visitado 10-10-2024).
- [12] Chiara Dalla Man, Robert A. Rizza y Claudio Cobelli. «Meal Simulation Model of the Glucose-Insulin System». En: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 54.10 (2007), págs. 1740-1749. DOI: 10.1109/TBME.2007.893506. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4303268/> (visitado 10-10-2024).
- [13] Michele Schiavon, Chiara Dalla Man y Claudio Cobelli. «Modeling subcutaneous absorption of fast-acting insulin in type 1 diabetes». En: *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 65.9 (2017), págs. 2079-2086.

- [14] Maximilian Reymann et al. «Blood glucose level prediction based on support vector regression using mobile platforms». En: vol. 2016. Ago. de 2016, págs. 2990-2993. DOI: 10.1109/EMBC.2016.7591358.
- [15] Juan Li y Chandima Fernando. «Smartphone-based personalized blood glucose prediction». En: *ICT Express* 2.4 (2016). Special Issue on Emerging Technologies for Medical Diagnostics, págs. 150-154. ISSN: 2405-9595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.icte.2016.10.001>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959516301126>.
- [16] Josep Vehí et al. «Prediction and prevention of hypoglycaemic events in type-1 diabetic patients using machine learning». En: *Health Informatics Journal* 26.1 (2020). PMID: 31195880, págs. 703-718. DOI: 10.1177/1460458219850682. eprint: <https://doi.org/10.1177/1460458219850682>. URL: <https://doi.org/10.1177/1460458219850682>.
- [17] David C Klonoff, David Ahn y Andjela Drincic. «Continuous glucose monitoring: a review of the technology and clinical use». En: *Diabetes Research and Clinical Practice* 133 (2017), págs. 178-192.
- [18] Ayman A Al Hayek, Asirvatham A Robert y Mohamed A Al Dawish. «Acceptability of the FreeStyle libre flash glucose monitoring system: the experience of young patients with type 1 diabetes». En: *Clinical Medicine Insights: Endocrinology and Diabetes* 13 (2020), pág. 1179551420910122.
- [19] Ana B. Pérez Lizaur et al. *Sistema mexicano de alimentos equivalentes*. Cuadernos De Nutrición (Fomento De Nutrición y Salud), 2014. ISBN: 9786070079283.