

# CONESCAPANHONDURAS2025paper59.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

---

## Document Details

### Submission ID

trn:oid:::14348:477763696

### Submission Date

Jul 31, 2025, 11:27 PM CST

### Download Date

Aug 12, 2025, 2:39 PM CST

### File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper59.pdf

### File Size

341.8 KB

4 Pages




2,961 Words

16,282 Characters

# 30% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

## Top Sources

- 29%  Internet sources
- 16%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

## Integrity Flags




### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

## Top Sources

29%  Internet sources  
16%  Publications  
0%  Submitted works (Student Papers)

## Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	
fdocuments.ec		5%
2	Internet	
www.coursehero.com		3%
3	Internet	
documentop.com		1%
4	Internet	
henrikmadsen.org		1%
5	Internet	
ris.utwente.nl		1%
6	Internet	
especiales.laprensagrafica.com		1%
7	Internet	
www.healthline.com		1%
8	Internet	
www.sciencebuddies.org		1%
9	Internet	
lpi.oregonstate.edu		<1%
10	Internet	
dspace.aus.edu		<1%
11	Internet	
idoc.pub		<1%

12	Internet	descubridor.uni.edu.ni	<1%
13	Internet	repositorio.ufmg.br	<1%
14	Internet	repository.unab.edu.co	<1%
15	Internet	repositorio.unicauca.edu.co:8080	<1%
16	Internet	catalogo.uns.edu.ar	<1%
17	Publication	Sachin Kumar, Tapan Behl, Monika Sachdeva, Aayush Sehgal et al. "Implicating th...	<1%
18	Internet	issuu.com	<1%
19	Internet	www.slideshare.net	<1%
20	Internet	conceiveplus.com	<1%
21	Internet	impa.usc.edu	<1%
22	Internet	saber.ucv.ve	<1%
23	Internet	biolex.unison.mx	<1%
24	Internet	remediosparaladiabetes.org	<1%
25	Internet	www.efdeportes.com	<1%

26	Internet	revistas.ucc.edu.co	<1%
27	Internet	www.pharmacia.com.ar	<1%
28	Internet	bdigital.unal.edu.co	<1%
29	Internet	shop.usfarnes.com	<1%
30	Internet	www.dover.com.co	<1%
31	Internet	espanol.libretexts.org	<1%
32	Internet	quieora.ink	<1%
33	Internet	repositorio.comillas.edu	<1%
34	Internet	repositorio.uisrael.edu.ec	<1%
35	Internet	repositorio.upsin.edu.mx	<1%
36	Internet	www.opinion.unam.mx	<1%
37	Internet	www.repositori.uji.es	<1%
38	Internet	www.revista.unam.mx	<1%
39	Internet	buscadorinfo.unan.edu.ni	<1%

40	Internet	ebuah.uah.es	<1%
41	Publication	Jarustanaput, Ploypapus. "Social Support, Self-Compassion, and Psychological We...	<1%
42	Internet	zagan.unizar.es	<1%
43	Internet	diabetes2bach.blogspot.com	<1%
44	Internet	www.dropbox.com	<1%

# Development of a didactic model of the pancreatic function for insulin regulation

**Abstract**—This article details the design and construction of a functional, didactic model visualizing the pancreatic exocrine functions specifically insulin secretion. The research presents a comprehensive, operational model of the human glucose regulation system. This model demonstratively simulates insulin release into the bloodstream triggered by consuming high-glucose foods and the pancreas's subsequent metabolic response. Electrically conductive fluids represent glucose-rich blood, while non-conductive fluids symbolize insulin, enabling clear visualization of their interaction. Furthermore, a first-order mathematical model describing glucose dynamics over time was integrated into the system. The core purpose of this innovative model is to significantly simplify and enhance the learning experience of complex human biological systems. It achieves this by effectively bridging physiological theory with practical engineering principles, incorporating electrical circuits for signal interpretation, hydraulic components for fluid dynamics simulation, and embedded systems programming (like microcontroller code) for real-time control and feedback, thereby creating a powerful, interactive educational tool.

**Keywords**— Conductivity, Exocrine, Glucose, Glucagon, Insulin, Modeling, Pancreas.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la educación médica ha introducido de manera paulatina el uso de modelos y simulaciones funcionales como un nuevo y revolucionario método de aprendizaje. Estas son herramientas que permiten una formación segura y repetible, facilitando el desarrollo de habilidades clínicas y tomas de decisiones sin riesgo para un paciente, aumentando la seguridad emocional de los estudiantes al momento de realizar prácticas en entornos reales. La simulación se basa en teorías de aprendizaje activo y ha demostrado una mejora en el desempeño clínico [1].

En países como Estados Unidos, Japón y Canadá se hace uso de este tipo de herramientas en programas de estudios médicos, en El Salvador este enfoque de la tecnología como herramienta de aprendizaje es incipiente en muchas instituciones, la falta de investigación sobre simulación médica da a conocer la existente brecha de modernización pedagógica en la región. El modelo presente consiste en un módulo didáctico funcional de la función pancreática de la regulación de la insulina como futura herramienta de aprendizaje.

La glucosa es el sustrato energético más importante del sistema nervioso central, ya que en condiciones normales es el responsable del 89% del metabolismo oxidativo cerebral. El cerebro llega a consumir alrededor del 20% del gasto basal energético del organismo [2].

El páncreas es un órgano blando, sólido y lobulado que se sitúa detrás del estómago, entre el duodeno y el bazo; compuesto por una cabeza que está sujeto a la curva del duodeno. Este órgano posee importantes secreciones externas e internas, donde la secreción externa que es el jugo pancreático ayuda a la digestión cuando se descarga a través del conducto pancreático en la segunda porción del duodeno [3].

Posee una glándula exocrina que produce enzimas digestivas que facilitan la tarea de digerir las grasas, proteínas, carbohidratos, además, de secretar las hormonas de la insulina y el glucagón que ayudan al organismo a mantener el nivel adecuado de glucosa [4].

La insulina y la glucosa se han convertido en objeto de estudio desde los inicios de la investigación histológica y fisiológica de los órganos del cuerpo humano. La insulina fue descubierta en 1921 por Sir Frederick Grant Banting como consecuencia de una serie de experimentos realizados en la cátedra del Prof. John J.R. MacLeod, profesor de fisiología de la Universidad de Toronto.

Shafer suponía que la insulina controlaba el metabolismo del azúcar en la sangre y su eliminación por la orina, de tal forma que su carencia ocasionaba una excreción urinaria aumentada.

Banting leyó una publicación de Moses Barón en la que se demostraba que la ligadura del conducto pancreático ocasionaba la degeneración de las células productoras de la tripsina, mientras que los islotes de Langerhans permanecían intactos, convenció a MacLeod para que, durante las vacaciones de éste le asignara un ayudante y le permitiera utilizar sus laboratorios. Charles Best, estudiante de Química fue el encargado de aislar la presunta proteína. En tan solo 9 semanas, luchando contra reloj, Banting y Best ligaron el conducto pancreático de varios perros y obtuvieron un extracto de páncreas libre de tripsina. Después, provocaron una diabetes experimental en otros perros, y, una vez desarrollada la enfermedad, comprobaron que la administración del extracto de páncreas de los primeros reducía o anulaba la glucosuria de los segundos. Habían descubierto la insulina [5,6].

La generación de la glucosa se da a través del principio de Osmosis, ya que cuando esta hormona está en el torrente sanguíneo, la insulina hace que las células de todo el cuerpo absorban el azúcar y lo utilicen para obtener energía [6].

Existen dos hormonas que regulan los niveles de glucosa en sangre, en primer lugar, está el glucagón, la cual se encarga de aumentar los niveles de glucosa en sangre cuando estos caen por debajo de lo normal, se produce en las células alfa del páncreas.

Por otro lado, la insulina es un tipo de hormona peptídica (unión de varios aminoácidos) que reduce la cantidad de

glucosa en la sangre. Se produce en el páncreas por las células beta, estas se encuentran dentro de grupos de células endocrinas llamadas islotes de Langerhans o islotes pancreáticos, que se distribuyen a través del páncreas [7].

La función principal de la insulina es facilitar el transporte de glucosa desde la sangre a los diversos tejidos sensibles a la insulina, como las células musculares y el tejido adiposo.

Esta hormona se une a los receptores de insulina en la superficie de la membrana celular, esto acelera la conversión de la glucosa en glucógeno (gluconeogénesis), aumentando la captación de aminoácidos, acelerando la síntesis de ácidos grasos y proteínas, como resultado el nivel de glucosa en la sangre desciende y si este sigue bajando se produce hipoglucemia (deficiencia de glucosa) e inhibe la liberación de glucagón hasta llegar a niveles óptimos, por otro lado si la glucosa aumenta a niveles altos se produce hiperglucemia (exceso de glucosa) lo cual inhibe la secreción de insulina para regular la glucosa a parámetros normales, repitiendo el ciclo [8].

## II. METODOLOGÍA DEL DISEÑO DEL PROTOTIPO DIDÁCTICO

Para poder representar el proceso de regulación de glucosa se tomará este modelo fisiológico convirtiéndolo a uno mecánico-eléctrico, realizando un páncreas artificial también conocido como bomba de insulina. Biológicamente el páncreas debe secretar insulina cuando el nivel de azúcar detectado en el cuerpo sobrepasa 100mg/dl y también produce glucagón cuando el nivel de glucosa es muy bajo.

Este proceso se ve afectado cuando una persona padece de diabetes, esta puede ser de tipo 1 en la cual el páncreas no es capaz de producir insulina por sí solo y realizar los cálculos y control necesarios para su secreción y tipo 2 en la cual la persona afectada con la patología presenta una resistencia a la insulina y el páncreas no es capaz de producir la cantidad de insulina suficiente para regular los niveles de glucosa [9].

Este modelo será una versión simplificada de un páncreas artificial, en el cual, para representar las hormonas y el páncreas mismo, se aplicará la construcción de un circuito y el uso de un microcontrolador.

Como el objetivo es medir los niveles de glucosa en sangre e inyectar insulina dependiendo de este nivel y no podemos usar dichas sustancias.

En este modelo práctico se utilizarán dos líquidos para representar estas sustancias, agua con sal y agua normal de grifo, y en lugar de medir glucosa en estos se tomará un paralelismo midiendo la conductividad eléctrica de los líquidos con un circuito con voltaje a su salida, y esta señal de voltaje a la salida será procesada por una placa de Arduino que reemplazaría al páncreas haciendo una función de control PID, monitoreando de forma continua los valores de voltaje como lo haría el páncreas con la glucosa [10].

El modelo consiste en el uso y control de bombas sumergibles para la representación del flujo de insulina y la sangre que contine la glucosa, siendo representada con agua salada (sangre con glucosa) y agua de grifo normal (insulina).

Con una placa de Arduino se controla la conmutación de las bombas, donde una de ellas se enciende representando la

entrada de glucosa y al detectar el nivel elevado de esta, se activa la segunda bomba que indica la entrada de insulina, para regular la glucosa.

### A. Esquema electrico del prototipo

En la Fig. 1 se muestra la construcción eléctrica del prototipo. El esquemático consiste en un Arduino mega que funciona como controlador que enviando señales a las bombas por medio de un módulo relé de 4 canales, los primeros tres canales se encuentran conectados a las bombas, enviando la señal para su funcionamiento.

Por otro lado, el ultimo canal es utilizado para la alimentación del sensor capacitivo, representando en el diagrama como una bornera, el cual activa una señal al detectar agua con sal diluida en ella (sangre con glucosa), activando un led indicador, que a su vez determina el cambio de conmutación entre bombas, siendo una para transportar agua sin sal (insulina) y otra para la mezcla que se produce en el estómago.

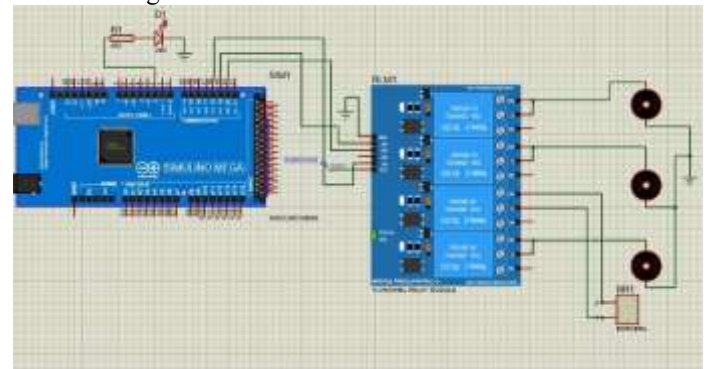


Fig. 1. Diagrama de fase de control electrónico del modelo

### B. Modelado matemático del sistema

En la ecuación (1) se muestra el modelo matemático de la glucosa respecto al tiempo.

$$\frac{dGc}{dt} = \alpha * glu - \beta * ins * Gc - \delta * Gc \quad (1)$$

En dónde la variable  $Gc$  representa la concentración de glucosa en sangre en mg/dL, el cambio de  $Gc$  depende del tiempo. El Glucagón se hace referencia en la variable  $glu$ , y a lo igual que la Glucosa su unidad de medida es de pg/mL, esta hormona es secretada cuando la glucosa se encuentra en índices bajos.

En la ecuación existe el termino de  $\alpha * glu$ , que se traduce cómo una constante del cambio de producción de glucosa generado por el glucagón se ha tomado en cuenta la variable de  $\alpha$  cómo un término independiente ya que el glucagón actúa sobre el hígado cuando los niveles de glucosa están por debajo del parámetro de 70 mg/dL [11, 12].

La variable  $ins$  hace referencia a la concentración de insulina en la sangre cuando los niveles de glucosa sobrepasan los 99 mg/dL. En la ecuación se observa un producto con de  $\beta * ins * Gc$  que se puede deducir como la razón de cambio en la que  $\beta$  es una constante de la tasa de eliminación de la glucosa en la intervención de la insulina.



El consumo basal se determina como resultado del producto de  $\delta * G_c$ , que hace referencia a la eliminación de la glucosa independiente de las células [13, 14].

### C. Modelo de Dalla Man

Para construir el modelado matemático, se en un inicio, se tomó en cuenta el modelo matemático de Dalla Man para el comportamiento de la insulina y la glucosa; este es un sistema de ecuaciones diferenciales que describe la dinámica de estos dos componentes clave en el metabolismo humano [15].

El modelo se compone de:

- Compartimento de glucosa: Representa la concentración de glucosa en sangre, con diferentes subcompartimentos para el tejido intersticial y el espacio intravascular.
- Compartimento de insulina: Simula la secreción de insulina por parte del páncreas, su distribución en el cuerpo y su eliminación.
- Efectos de la insulina: Describe cómo la insulina actúa sobre la captación de glucosa por los tejidos y la producción de glucosa por el hígado.

En cuanto a los parámetros del modelo, se pueden contar con parámetros fisiológicos como lo son el peso corporal, sensibilidad a la insulina o la tasa de absorción. En cuanto a los parámetros farmacocinéticos se toma en cuenta la vida media de la insulina, volumen de distribución, etc.

El modelo también cuenta con las siguientes entradas:

- Ingesta de comida: Tipo y cantidad de carbohidratos, proteínas y grasas consumidas.
- Ejercicio físico: Intensidad y duración del ejercicio.
- Infusiones de insulina: Dosis y tipo de insulina administrada.

Las salidas del modelo:

- Concentración de glucosa en sangre: Simula los niveles de glucosa en sangre a lo largo del tiempo.
- Secreción de insulina: Predice la cantidad de insulina secretada por el páncreas.

En cuanto a las aplicaciones de este modelo se encuentran:

- Simulación de la respuesta glucémica a diferentes comidas: Permite predecir cómo la ingesta de diferentes alimentos afectará los niveles de glucosa en sangre.
- Diseño de estrategias de tratamiento para la diabetes: Ayuda a determinar la dosis de insulina adecuada para pacientes con diabetes tipo 1 o 2.
- Evaluación de nuevos medicamentos para la diabetes: Permite predecir la eficacia de nuevos fármacos en el control de la glucosa en sangre.

Sin embargo, las limitaciones del modelo pueden ser:

- Complejidad: El modelo es complejo y requiere de información detallada sobre los parámetros fisiológicos y farmacocinéticos del individuo.
- Variabilidad individual: Los parámetros del modelo pueden variar considerablemente entre diferentes personas.
- Precisión: La precisión del modelo depende de la calidad de los datos utilizados para su calibración.

## III. RESULTADOS

El desarrollo del proyecto tuvo como resultado la creación de un código en Arduino y una estructura física interactiva, que, en conjunto con el hardware implementado, permitió

observar de forma clara la interacción del líquido que representaba a la sangre con glucosa respecto a la insulina.

En las Figuras 2, 3 y 4 se observa a detalle la construcción física del modelo del sistema regulador de insulina.



Fig. 2. Muestra del modelo funcional, la tira de luces led indica cuando el sistema detecta un nivel alto de glucosa por lo que activa el llenado con el líquido que representa a la insulina.



Fig. 3. Evidencia del proceso de construcción y prueba del sensor resistivo utilizado para el desarrollo del modelo didáctico.



Fig. 4. Pruebas iniciales del llenado del sistema, se puede apreciar como hay una entrada de líquido en representación de la insulina,

#### IV. CONCLUSIONES

La elaboración de este módulo didáctico representa un avance en la creación de herramientas educativas e innovadoras para fines relacionados al aprendizaje, ya que esta propuesta busca facilitar la comprensión de procesos fisiológicos complejos y fomenta el uso de recursos interactivos actualizables, siendo estos de gran utilidad tanto en el área de medicina como en áreas de ingeniería y automatización.

La importancia de relacionar el comportamiento de un sistema o procesos fisiológico con una expresión matemática permite describir estos procesos en una forma que sea aplicable y traducida a un sistema modelado que puede ser usado para tratamiento o diagnóstico médico. El modelado matemático es una herramienta fundamental para la comprensión de muchos sistemas fisiológicos del cuerpo humano y tienen gran utilidad para el diseño de equipo especializado en sustituir o apoyar dichos procesos.

El modelado de un páncreas artificial es un sistema que actualmente sigue en constante desarrollo, sin embargo, es fundamental para comprender todo el procedimiento, elementos y factores necesarios para el correcto transporte de la glucosa en el cuerpo humano, conocer detalladamente todos los procesos químicos dentro de él y así contribuir a investigación complementaria para mejorar dichos sistemas y su aplicación abriendo un camino a un cambio en la estructura en la forma en la que se enseña medicina en el país.

#### REFERENCIAS

- [1] K. Okuda, D. Bryson, A. DeMaria Jr., M. Jacobson, E. Quinones, M. Shen, y D. Levine, "The utility of simulation in medical education: what is the evidence?," *Mount Sinai Journal of Medicine: A Journal of Translational and Personalized Medicine*, vol. 76, no. 4, pp. 330–343, Jul.–Aug. 2009, doi: 10.1002/msj.20127.
- [2] J. L. Cadenas Freixas, *Captación de glucosa cerebral postestimulación de los receptores carotídeos con cianuro de sodio en ratas: participación del óxido nítrico*, La Habana, Cuba: Editorial Universitaria, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaudb/90351?page=16>
- [3] E. R. Jean Silver y J. A. Ortiz de la Peña Rodríguez, *El ABC de la cirugía 2017: hígado, vía biliar, páncreas y bazo*. Ciudad de México: Editorial Alfil, S. A. de C. V. 2017. [En Línea] Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaudb/117538?page=328>
- [4] K. W. Chung, H. M. Chung y N. L. Halliday, *Anatomía, 8. L'Hospitalet de Llobregat, Barcelona: Wolters Kluwer Health*, 2015. [En Línea] Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecaudb/125884?page=142>
- [5] G. Sanchez Rivero, "Historia de la diabetes," *Gaceta Médica Boliviana*, vol. 30, no. 2, pp. 74–78, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4456/445643801016.pdf>
- [6] R. Prado Vega, "Historia natural de la diabetes mellitus," *Revista de la Facultad de Medicina*, vol. 24, no. 10, pp. 1–6, 1981. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/rfm/article/view/74155>
- [7] Tortora, G. & Derrickson, B. (2009) *Principios de Anatomía y Fisiología*. 11va. Ed. Editorial Médica Panamericana.
- [8] C. Cases Jordán \*et al., "Revisión bibliográfica de la Diabetes Mellitus tipo 1: análisis de datos," *Revista Sanitaria de Investigación*, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/revision-bibliografica-de-la-diabetes-mellitus-tipo-1-analisis-de-datos/>
- [9] B. Kovatchev y A. Kovatcheva, "A Smart Artificial Pancreas Could Conquer Diabetes," *IEEE Spectrum*, 21 nov. 2021. [En línea].

Disponible en: <https://spectrum.ieee.org/artificial-pancreas-could-conquer-diabetes>

- [10] [1] T. Rowland, S. Lohner, B. Finio, A. Bonham, y A. Cowen, "Dealing with Diabetes: The Road to Developing an Artificial Pancreas," *Science Buddies*, [En línea]. Disponible en: [https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/HumBio\\_p040/human-biology-health/developing-an-artificial-pancreas](https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/project-ideas/HumBio_p040/human-biology-health/developing-an-artificial-pancreas)
- [11] I. Rix, C. C. Nexøe-Larsen, N. C. Bergmann, A. Lund, y F. K. Knop, "Glucagon Physiology," en *Endotext*, K. R. Feingold, Ed. South Dartmouth, MA: MDText.com, Inc., 2000. [En línea]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK279127>
- [12] American Diabetes Association, "2. Classification and Diagnosis of Diabetes: Standards of Medical Care in Diabetes—2024," *Diabetes Care*, vol. 47, Suppl. 1, pp. S17–S29, Jan. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2337/dc24-S002>
- [13] R. H. Unger and L. Orci, "Glucagon and the A Cell: Physiology and Pathophysiology", *New England Journal of Medicine*, vol. 304, no. 25, pp. 1518–1524, 1981.
- [14] R. N. Bergman et al., "Physiologic Evaluation of Factors Controlling Glucose Tolerance in Man", *Journal of Clinical Investigation*, vol. 68, no. 6, pp. 1456–1467, 1981.
- [15] C. Dalla Man, R. A. Rizza, y C. Cobelli, "Meal Simulation Model of the Glucose-Insulin System," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 54, no. 10, pp. 1740–1749, oct. 2007. [En línea]. Disponible en: <http://www.isbgroup.eu/files/Dalla%20Man%202007.pdf>