



Booklets

RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - Google Scholar DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID - V|LEX - EBSCO

# Title: Sequential prediction of pediatric glucose dynamics using LSTM Networks Trained on Synthetic Physiological Data

Authors: Sandoval-Vázquez, Olaf Gustavo, Ochoa-Ornelas, Raquel, García-Rodríguez, Julio Alberto and Gudiño-Ochoa, Alberto

Editorial label MARVID: 607-8695  
BMARVID Control Number: 2025-01  
BMARVID Classification (2025): 121225-0001  
RNA: 03-2010-032610115700-14  
Pages: 11

<sup>a</sup> Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán • OTH-3379-2025 • 0009-0007-0284-0723 • 1062530  
<sup>b</sup> Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán • S-4687-2018 • 0000-0003-1824-5789 • 668976  
<sup>c</sup> Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán • LBI-3198-2024 • 0000-0003-0339-0545 • 367137  
<sup>d</sup> Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán • HDN-0235-2022 • 0000-0002-2366-7452 • 1135216

SECIHTI classification:

Area: Engineering  
Field: Technological Sciences  
Discipline: Computer Technology  
Subdiscipline: Artificial Intelligence

### MARVID-México

Park Pedregal Business. 3580,  
Anillo Perif., San Jerónimo  
Aculco, Álvaro Obregón,  
01900 Ciudad de México, CDMX,  
Phone: +52 1 55 6159 2296  
Skype: MARVID-México S.C.  
E-mail: [contact@marvid.org](mailto:contact@marvid.org)  
Facebook: MARVID-México S. C.  
X: @Marvid\_México

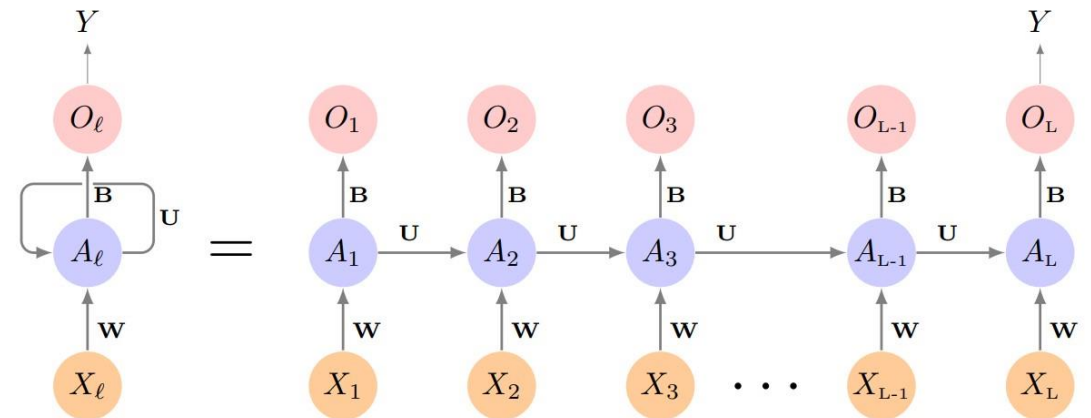
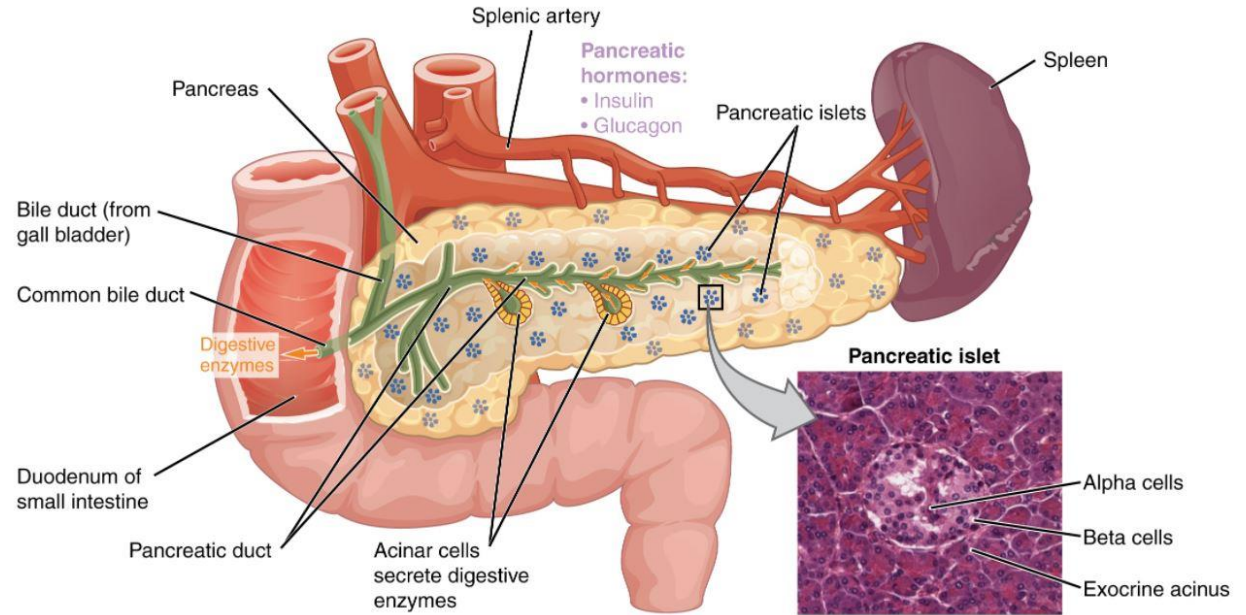
[www.marvid.org](http://www.marvid.org)

### Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

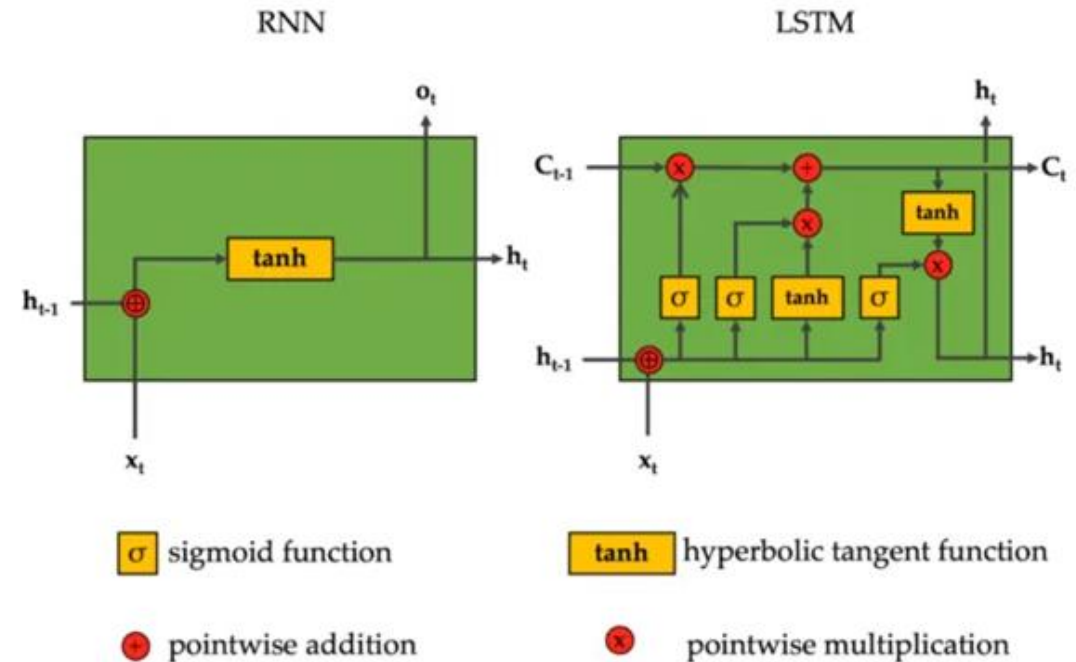
# Introducción

- La alta variabilidad de los niveles de glucosa en pacientes pediátricos con Diabetes Mellitus Tipo 1 representa un riesgo constante para su salud y dificulta la predicción mediante métodos tradicionales, como ARIMA y la regresión lineal, los cuales presentan limitaciones para capturar patrones no lineales (Atkinson et al., 2014; DiMeglio et al., 2018; Dash et al., 2023).
- Las RNN simples presentan dificultades con secuencias largas debido a la explosión o desaparición del gradiente, lo que limita su capacidad para aprender patrones temporales complejos, especialmente en dinámicas de glucosa altamente variables (Amat Rodrigo et al., 2025).



# Introducción

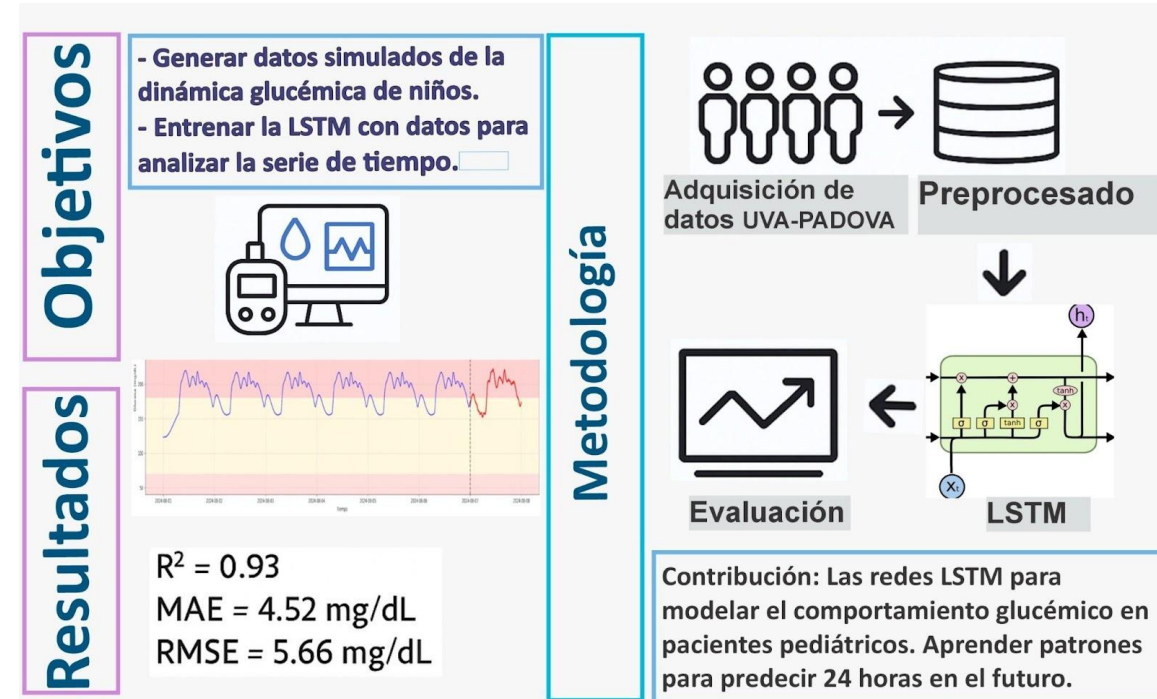
- Este estudio propone que, mediante el uso de datos sintéticos generados a través de simulación fisiológica y el entrenamiento de modelos LSTM en series de tiempo multivariadas, es posible anticipar las tendencias glucémicas diarias con alta precisión clínica, contribuyendo al manejo individualizado de la enfermedad (Mienye et al., 2024).



# Metodología

## Marco Metodológico:

- La predicción de glucosa pediátrica requiere modelar dinámicas no lineales y erráticas.
- Los datos sintéticos provenientes de simulación fisiológica permiten una experimentación controlada.
- Cada paciente virtual se somete a 5 protocolos de ingesta de CHO durante 7 días.
- Los modelos LSTM se entrenan por paciente utilizando series de tiempo multivariadas.



# Metodología

## Población virtual y protocolos de ingesta:

Para obtener el conjunto de datos, se implementaron 10 perfiles pediátricos en el simulador UVA-PADOVA, sometidos a cinco diferentes regímenes de ingesta de CHO.

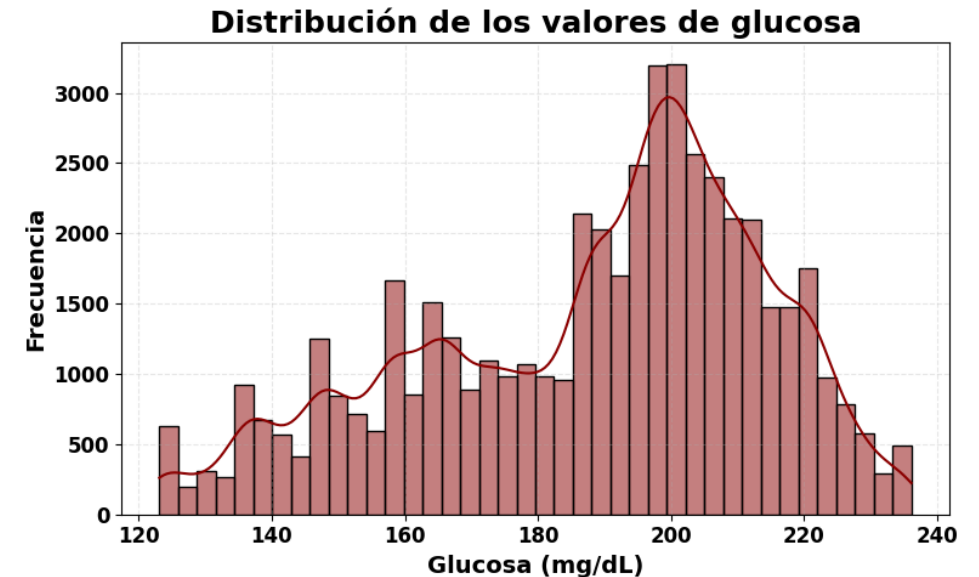
Horarios fijos de comida: 07:00, 12:00, 15:00, 19:00, 23:00

Variables por minuto:

- glucosa CGM.
- Bolo de insulina.
- Ingesta de CHO.

Total: 50,400 registros de puntos de datos por paciente.

Protocolo	7:00 hrs	12:00 hrs	15:00 hrs	19:00 hrs	23:00 hrs
1	35g	10g	70g	20g	10g
2	25g	5g	40g	10g	5g
3	25g	5g	15g	5g	15g
4	20g	5g	35g	25g	5g
5	10g	10g	25g	10g	5g



# Metodología

## Preprocesamiento

Previo al entrenamiento, los datos fueron normalizados utilizando la escala Min–Max, cuya descripción se expresa en la ecuación 1..

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad [1]$$

Donde  $x$  representa el valor original de la variable,  $x_{min}$  corresponde al valor mínimo del conjunto de datos y  $x_{max}$  al valor máximo observado. Finalmente,  $x_{norm}$  es el valor normalizado resultante, ajustado al rango 0–1 mediante la ecuación de normalización Min–Max.

$$\mathbf{X}_{norm} = \frac{\mathbf{X} - \mathbf{X}_{min}}{\mathbf{X}_{max} - \mathbf{X}_{min}} \in [0, 1]$$

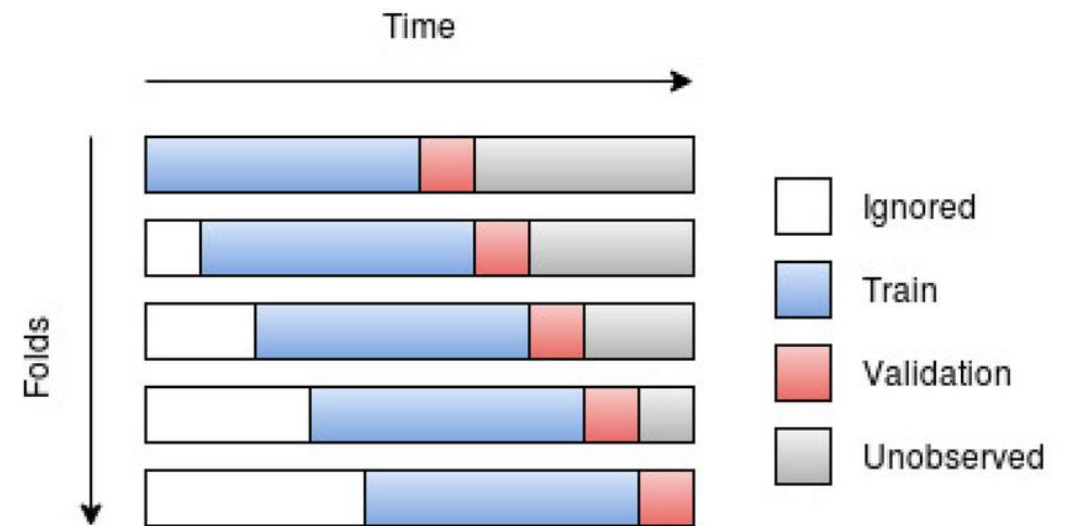
# Metodología

## Configuración y Evaluación del Entrenamiento del Modelo.

Arquitectura LSTM	
Número de capas	3 LSTM layers
Número de unidades por capa	128 unidades por capa
Función de activación	Tangente hiperbólica
Optimizador	Adam
Función de pérdida	MSE
Tamaño de salida	288
Normalización	Min-Max Scaler

## Esquema de validación:

Walk-Forward Cross-Validation con 6 días de entrenamiento, 1 día de prueba. (Börjesson et al., 2020)



# Metodología

- **Metricas de evaluación:**

- **Coeficiente de determinación**  $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$

- **Error absoluto medio**  $MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i|$

- **Cuadrático Medio de la Raíz**  $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$

# Resultados

## Desempeño Predictivo de los Modelos LSTM

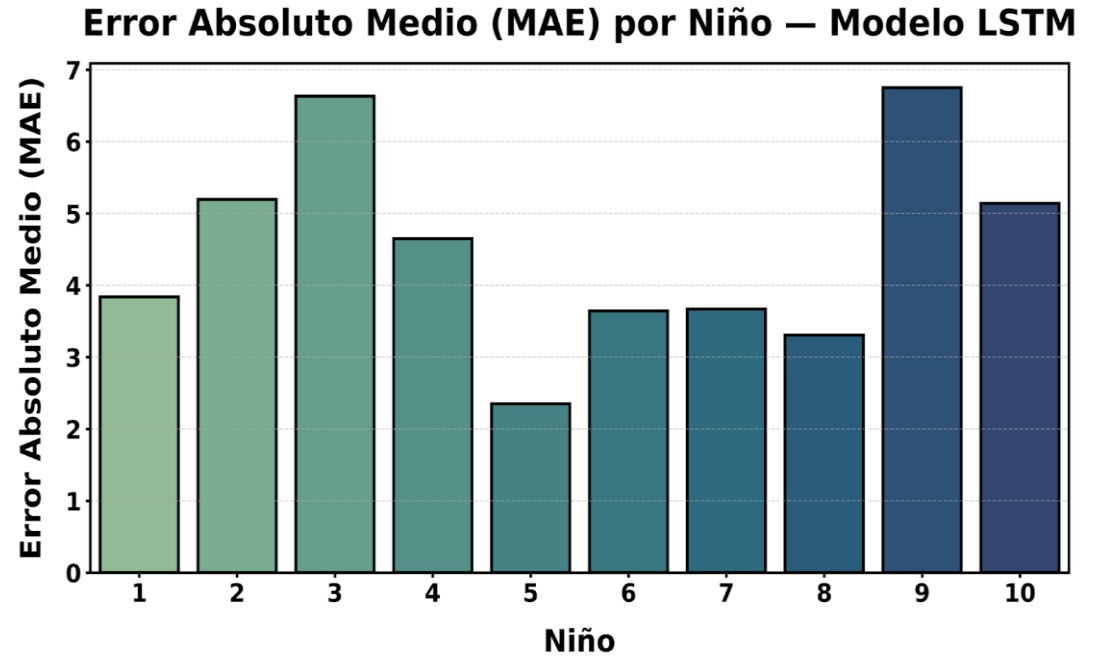
Método de evaluación: Validación cruzada con avance progresivo (6 días de entrenamiento, 1 día de prueba).

Métricas promedio en prueba:

- **MAE: 4.52 mg/dL**
- **RMSE: 5.66 mg/dL**
- **R<sup>2</sup>: 0.93**

Observaciones clave:

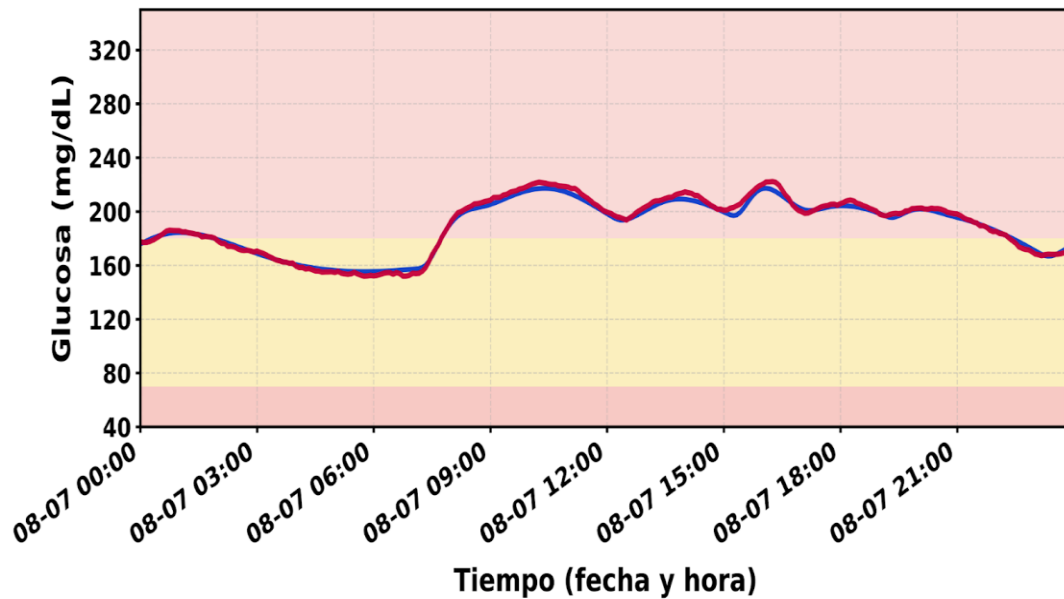
- Los modelos capturan de manera efectiva las tendencias diarias de glucosa.
- Mayor precisión en perfiles estables (p. ej., Niño 1).
- Desempeño aceptable incluso en dinámicas erráticas (p. ej., Niño 3).



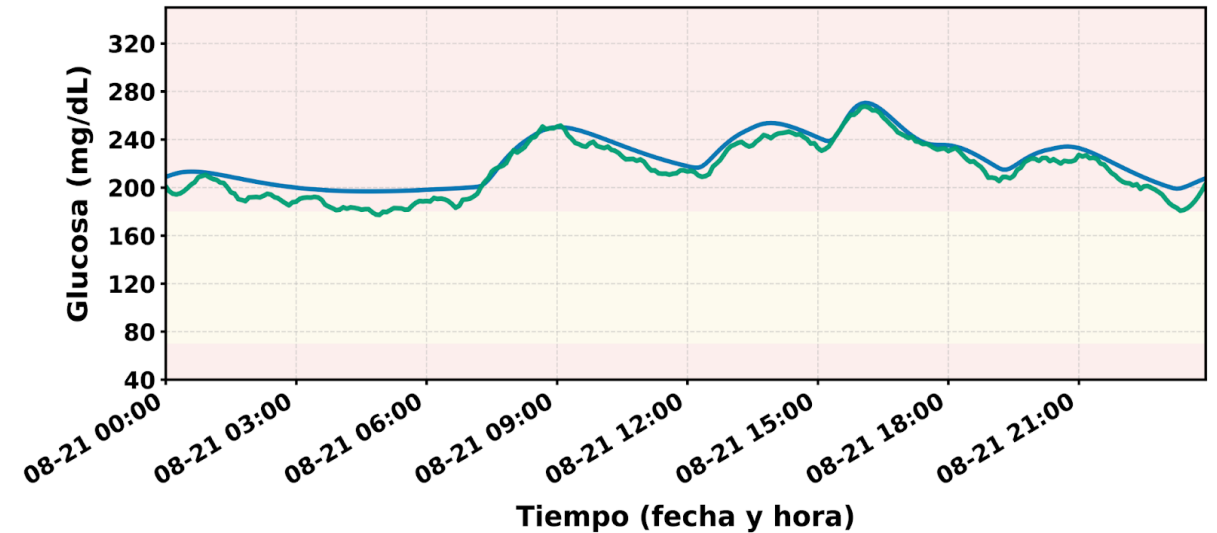
# Resultados

El modelo LSTM predijo con alta precisión el perfil glucémico estable del Niño 1 (línea roja), mientras que logró capturar con éxito las fluctuaciones generales del Niño 3 (línea verde), a pesar de sus dinámicas erráticas.

**Prueba del Modelo LSTM Niño 1**



**Prueba del modelo LSTM Niño 3**



# Conclusiones

Los modelos LSTM individualizados demostraron un sólido desempeño predictivo en los perfiles pediátricos simulados, con alta precisión en casos estables y una adaptación aceptable a dinámicas de glucosa erráticas. Estos resultados destacan el potencial de los enfoques personalizados de aprendizaje profundo para apoyar la gestión anticipatoria de la glucosa, especialmente en escenarios complejos o variables.

# Referencias

Amat Rodrigo, J., Carazo, F., & Escobar Ortiz, J. (2025, julio). Deep Learning para la predicción de series temporales: Redes Neuronales Recurrentes (RNN), Gated Recurrent Unit (GRU) y Long Short-Term Memory (LSTM). Ciencia de Datos. <https://cienciadedatos.net/documentos/py54-forecasting-con-deep-learning>

Atkinson, M. A., Eisenbarth, G. S., & Michels, A. W. (2014). Type 1 diabetes. The Lancet, 383(9911), 69–82. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60591-7](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60591-7)

Börjesson, L., & Singull, M. (2020). Financial time series forecasting using causal and dilated convolutional neural networks. Entropy, 22(10), 1094. <https://doi.org/10.3390/e22101094>

DiMeglio, L. A., Evans-Molina, C., & Oram, R. A. (2018). Type 1 diabetes. The Lancet, 391(10138), 2449–2462. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31320-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31320-5)

Dash, C. S. K., Behera, A. K., Dehuri, S., & Ghosh, A. (2023). An outliers detection and elimination framework in classification task of data mining. Decision Analytics Journal, 6, 100164. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100164>

Mienye, I. D. (2024). Recurrent neural networks: A comprehensive review of architectures and applications. Information, 15(9), 517. <https://doi.org/10.3390/info15090517>



**MARVID®**

© MARVID-Mexico

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BMARVID is part of the media of MARVID-Mexico., E: 94-443.F: 008- ([www.marvid.org/booklets](http://www.marvid.org/booklets))