

**Universidad Tecnológica de Panamá**

Maestría en Analítica de Datos

**Curso:**

Modelos Predictivos

**Proyecto Final**

**Profesor:**

Juan Marcos Castillo, PhD

Lina Lay Mendivil

8 – 802 -2116

2025

## **1. Introducción**

Densidad de servicios de salud, tal como puestos de salud, centros de salud y hospitales por 100.000 habitantes, es un indicador esencial para la accesibilidad y equidad de los sistemas de salud(*Health Infrastructure*, s. f.). Existe una íntima relación entre la analítica de datos y la salud, donde los modelos predictivos y el análisis se utilizan cada vez más para pronosticar las necesidades futuras y optimizar la distribución de estas instalaciones, garantizando que los servicios de salud puedan responder eficazmente a los cambios demográficos, los patrones de enfermedad y los objetivos de las políticas nacionales y locales (Desai, 2024; *Modelling techniques and health services | Health Knowledge*, s. f.). Por eso, este proyecto tiene como propósito es analizar y proyectar la densidad de servicios de salud mediante modelos predictivos de series de tiempo en la República de Panamá.

## **2. Justificación**

Al garantizar una densidad adecuada de establecimientos de salud es esencial para lograr la cobertura universal de salud y mejorar los resultados en salud. Diversos estudios han demostrado que una mayor densidad de proveedores e instalaciones se asocia con un mayor uso de la atención médica, una menor mortalidad y una mayor equidad en el acceso a la atención(Ahmat et al., 2022; Berends, 2016). En muchos países de ingresos bajos y medios, incluidos los de América Latina, las disparidades en la densidad de establecimientos contribuyen a las inequidades en el uso y los resultados de los servicios de salud. El análisis predictivo puede ayudar a los responsables de la formulación de políticas a anticipar las necesidades futuras, abordar las deficiencias y asignar recursos de forma más eficiente, especialmente en entornos que cambian rápidamente.

### **3. Antecedentes**

La densidad de los centros de salud es un indicador ampliamente utilizado en la investigación y las políticas de sistemas de salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS) y otros organismos internacionales han establecido puntos de referencia para la densidad del personal sanitario y de camas por instalaciones de salud hospitalario con el fin de guiar a los países hacia la cobertura sanitaria universal y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por ejemplo, la Región de África de la OMS recomienda una densidad del personal sanitario de 134 por cada 10 000 habitantes para lograr una cobertura de servicios de CSU del 70 % (Ahmat et al., 2022). Sin embargo, no existe consenso ni información sobre los objetivos específicos de densidad de las instalaciones de salud, lo que encamina a los países suelen establecer sus propios estándares en función del contexto y las necesidades locales.

Por lo tanto, el modelado predictivo, como el análisis de series temporales y el aprendizaje automático, se aplican cada vez más a la planificación de los servicios de salud, lo que permite realizar pronósticos más precisos y una mejor alineación de los recursos con las necesidades de salud de la población.

### **4. Definición del Problema**

A pesar de la relevancia de la densidad de establecimientos de salud, muchos países, incluido Panamá, carecen de normas legales o regulatorias explícitas sobre el número de puestos de salud, centros de salud u hospitales por cada 100,000 habitantes. Esta brecha puede generar una distribución desigual de los servicios, ineficiencias y persistentes desigualdades en el acceso a la atención. Además, los métodos tradicionales de planificación podrían no tener en cuenta adecuadamente los cambios demográficos futuros, las tendencias epidemiológicas o las amenazas emergentes para la salud. El reto reside en desarrollar enfoques robustos y basados en datos, como los modelos predictivos, para determinar la densidad y distribución óptimas de los establecimientos de salud, garantizando así que los sistemas de salud sigan siendo receptivos, equitativos y sostenibles.

## **5. Análisis Predictivo**

### *a. Determinación de la base de datos*

Para el pronóstico, se utilizó una base de datos nacional que abarca las instalaciones de salud pública en Panamá de 1990 a 2021. Esta base de datos fue recopilada por entidades autorizadas del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) proveniente de archivos del Ministerio de Salud (MINSA). El conjunto de datos comprende variables como el año, la provincia, distrito, el tipo de establecimiento y el número total de establecimientos; estas variables son significativas para el análisis.

### *b. Pre-procesamiento y limpieza*

Previo al análisis, se realizó un proceso de limpieza exhaustivo para garantizar la integridad y coherencia de los datos. Las divisiones administrativas geográficas se estandarizaron. Las observaciones que carecen o datos inconsistentes se analizaron manualmente finalmente, los datos en un formato de series de tiempo univariado se organizaron para posterior modelado.

### *c. Análisis descriptivo*

Se identificó las tendencias generales en la frecuencia de las instalaciones de salud, donde se destaca una expansión progresiva de establecimientos desde la década de 1990 hasta mediados de 2010, con una estabilización posterior o una reducción marginal en ciertos años. El comportamiento podría indicar cambios en el nivel fundamental de las políticas de atención, potencialmente derivadas de las reasignaciones administrativas o financieras. El análisis incorporó medidas de tendencia central, dispersión y visualización a través de gráficos de línea para ayudar a comprender la evolución temporal.

*d. Selección de variables*

Se seleccionó una estructura de serie de tiempo con instalaciones de salud (hospitales, centros de salud y puestos de salud) totales por año como la variable dependiente. En particular, este proyecto no incluía ninguna variable independiente adicional, ya que el enfoque estaba en modelos para pronósticos a corto y mediano plazo.

*e. Selección de Modelos*

Se aplicaron y compararon tres enfoques de modelado: suavizamiento exponencial simple, modelo de Holt (tendencia lineal) y modelo de promedio móvil. Estos métodos fueron seleccionados por su capacidad de capturar patrones con poca cantidad de datos históricos y su aplicabilidad en contextos de planificación de políticas públicas. La selección final del modelo se basó en criterios de bondad de ajuste, incluyendo el error cuadrático medio (ECM) y el error absoluto medio (MAE), priorizando aquel con mejor capacidad predictiva para proyectar los próximos 10 años.

## **6. Resultados**

Al realizar los tres modelos en la diversidad de instancias que proveen servicios de salud (Tabla 1), se puede establecer que: (i) los promedios móviles presentan un MAD bajo y un MAPE extremadamente alto, lo cual es indicativo de la falta de fiabilidad en términos relativos, asimismo, el intervalo de confianza es muy amplio que representa poca precisión. Concerniente a (ii) suavizamiento exponencial presenta MAD y desviación estándar baja, pero con un rango de intervalo demasiado amplio y aún así un MAPE extremadamente alto.

Por consiguiente, se decide quedarse con el (iii) modelo de Holt, que presenta alta precisión relativa (MAPE: 4%, 12.8% y 3.8%) y con un intervalo razonable en el caso de Hospitales, así que sugiere mejor tendencia y mejor capacidad de proyección.

**Tabla1. Resumen de modelos****HOSPITAL**

| Método         | MAD           | MAPE       | Rango TS inf | Rango TS sup | Desv. Est.    |
|----------------|---------------|------------|--------------|--------------|---------------|
| Promedio Móvil | 0.0011        | 9532.3     | -67.5        | 9.9          | 0.0014        |
| Suave Expo     | 0.0002        | 539.1      | -2000.0      | 726.8        | 0.0003        |
| <b>Holt</b>    | <b>0.0281</b> | <b>4.0</b> | <b>-2.2</b>  | <b>2.0</b>   | <b>0.0351</b> |

**CENTRO DE SALUD**

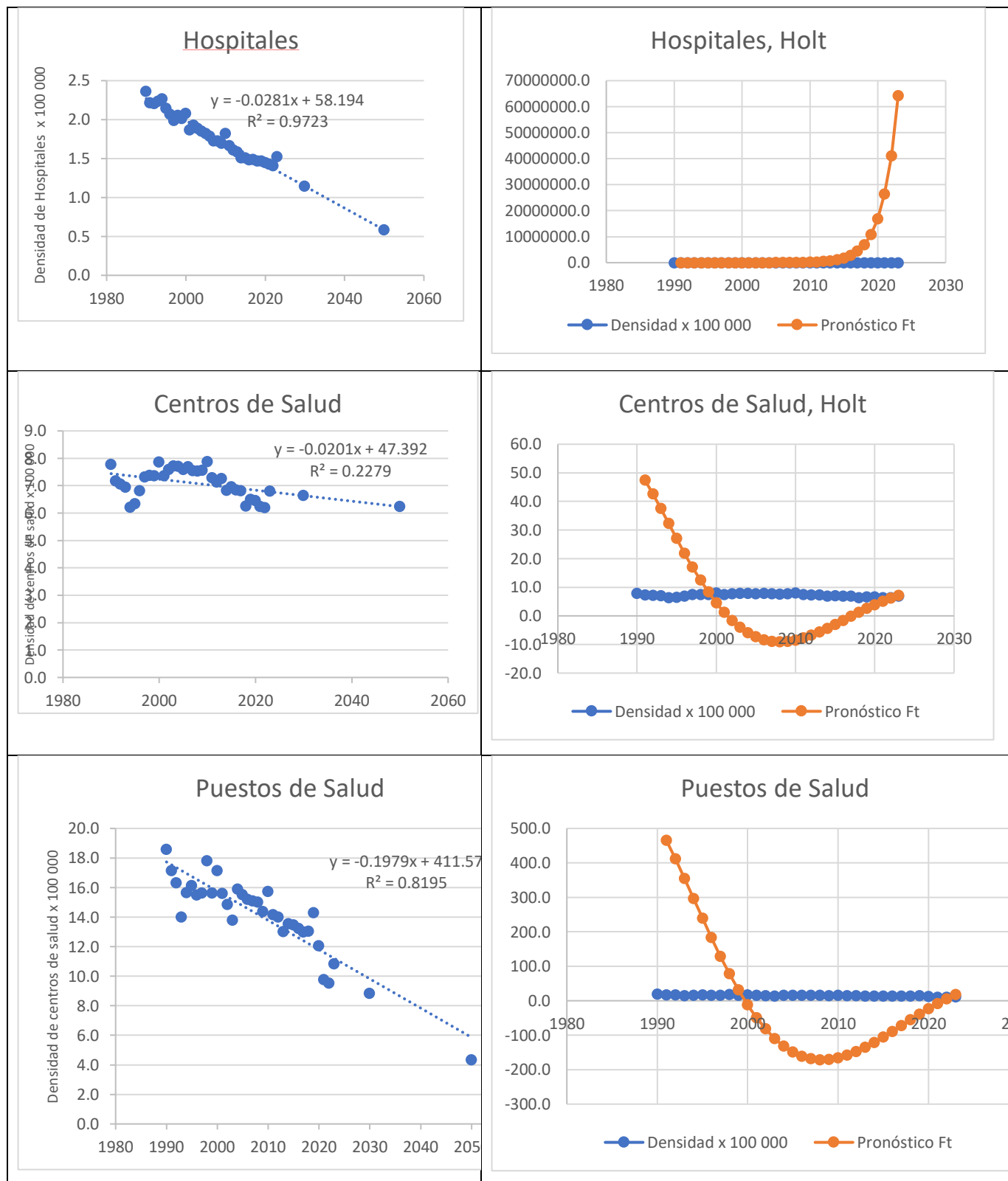
| Método         | MAD         | MAPE         | Rango TS inf | Rango TS sup | Desv. Est.   |
|----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Promedio Móvil | 0.0035      | 1801.8       | -110.4       | 28.2         | 0.004        |
| Suavificación  |             |              |              |              |              |
| Expo           | 2.67E-05    | 1.35E+04     | -1.99E+03    | 1.89E+03     | 0.00003      |
| <b>Holt</b>    | <b>0.02</b> | <b>17.81</b> | <b>-241</b>  | <b>1991</b>  | <b>0.025</b> |

**PUESTO DE SALUD**

| Método         | MAD         | MAPE       | Rango TS inf | Rango TS sup | Desv. Est.  |
|----------------|-------------|------------|--------------|--------------|-------------|
| Promedio Móvil | 0.015       | 734.6      | -321.4       | -6.5         | 0.019       |
| Suavificación  |             |            |              |              |             |
| Expo           | 10208       | 59         | -1.38        | 2.25         | 12760       |
| <b>Holt</b>    | <b>0.23</b> | <b>3.8</b> | <b>-256</b>  | <b>1991</b>  | <b>0.28</b> |

En la gráfica 1 en la sección izquierda se observa la tendencia a una disminución sostenida en la densidad de hospitales desde 1990 hasta la actualidad, con una fuerte correlación negativa ( $R^2 = 0.9723$ ). En cambio, en los centros de salud, la línea de tendencia muestra una leve disminución con baja correlación ( $R^2 = 0.2279$ ), lo cual sugiere alta variabilidad y escasa estabilidad. Y en el caso de los puestos de la salud existe una clara tendencia lineal descendente ( $R^2 = 0.8195$ ), mostrando una reducción importante desde casi 18 por 100,000 habitantes hasta menos de 10.

**Gráfico 1. Gráficas de regresión lineal con proyección 2030 y 2050 y modelo de Holt con datos históricos 2023**



Los resultados de la proyección con el método de Holt muestran diferencias significativas entre la serie histórica de densidad por cada 100,000 habitantes y los valores proyectados (pronóstico  $F_t$ ) para los tres tipos de establecimientos analizados: hospitales, centros de salud y puestos de salud.

En hospitales la proyección de Holt muestra un comportamiento exponencial a partir de 2015, con un crecimiento abrupto e irrealista hacia 2023, alcanzando cifras extremadamente elevadas que no guardan relación con la tendencia histórica. Esta sobreestimación podría deberse a una mala especificación del modelo o a una sensibilidad excesiva del componente de tendencia. Por consiguiente, se sugiere que este método no es adecuado para predecir sin un riguroso ajuste previo.

A diferencia de los centros de salud que mantienen una densidad observada relativamente estable durante todo el período analizado, y donde el pronóstico muestra un descenso desde 1990 hasta aproximadamente 2010, seguido de un ligero incremento en el año 2023.

En relación a los puestos de salud, de igual manera, se evidencia un drástico descenso en la densidad hasta el año 2010, inclusive con valores negativos que apuntan a un enfoque poco realista. Este comportamiento no refleja la estabilidad observada en los datos históricos, es decir, que el modelo falla en representar de manera adecuada la ausencia de una tendencia clara y produce valores que son complicados de interpretar en el contexto de la planificación de infraestructura sanitaria.

## **7. Conclusiones**

Al evaluar el modelo de Holt (suavización exponencial doble) visualmente con los datos históricos, se identifica notoriamente que el pronóstico parece desviarse de la serie histórica, esto puede deberse que los parámetros no se encuentran optimizados o el modelo no es adecuado para el comportamiento de las instalaciones de salud. Por ende, se optó que la regresión lineal ya que ofrecía un mejor ajuste visual y un modelo más interpretable, dada la estabilidad de la tendencia observada, lo cual las



proyecciones al 2030 y 2050 se llevaron a cabo con el modelo de modelo de regresión lineal para las proyecciones al 2030 y 2050.

## **8. Recomendaciones y futuros estudios**

Basado en los hallazgos obtenidos y el comportamiento histórico de los datos analizados se recomienda: (i) continuar el análisis que mas se adecue a los datos y pueda predecir tantas proyecciones a corto y mediano plazo, debido a la simplicidad y facilidad de interpretación se optó por la regresión lineal; la principal razón es que otorga facilidad en la comunicación de resultados clara a los tomadores de decisiones para el diseño y/o modificación de políticas basadas en la evidencia.

No obstante, se sugiere complementar estas proyecciones con modelos más dinámicos, como ARIMA o modelos de regresión exponencial que pueden ajustarse mejor a series de datos con tendencias suaves y sin estacionalidad clara, y se pueden llevar a cabo en futuras etapas del proyecto

Cabe destacar, que en la segunda eta de la este proyecto se ampliará el análisis a escales geográficas más específicas, como provincias y distrito, con el propósito de identificar desigualdades locales en acceso a instalaciones de salud. De igual manera, se contemplará otros aspectos a analizar como carga de enfermedad en la zona y distancia de acceso al servicio de salud.

Por último, a medida que se alimente nuevos datos los años posteriores, es necesario actualización de las proyecciones realizadas y ejercer un proceso de validación de los modelos propuestos. Este práctica no solo permitirá mejorar la precisión predictiva del proyecto, sino que contribuirá al fortalecimiento de capacidades analíticas locales para la toma de decisiones estratégicas y sostenibles.

## 9. Bibliografía

- Ahmat, A., Asamani, J. A., Illou, M. M. A., Millogo, J. J. S., Okoroafor, S. C., Nabyonga-Orem, J., Karamagi, H. C., & Nyoni, J. (2022). Estimating the threshold of health workforce densities towards universal health coverage in Africa. *BMJ Global Health*, 7(Suppl 1). <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-008310>
- Berends, E. (2016, febrero 5). *The effect of health provider density on health care utilization and inequity in Peru*. <https://www.semanticscholar.org/paper/The-effect-of-health-provider-density-on-health-and-Berends/bf7ace3a38ff53d785d1fd24447d7c3af071d590>
- Desai, R. (2024). Enhancing Predictive Analytics for Healthcare: Addressing Limitations and Proposing Advanced Solutions. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.4236/jilsa.2025.171004>
- Health infrastructure*. (s. f.). Recuperado 15 de abril de 2025, de <https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/health-infrastructure>
- Modelling techniques and health services | Health Knowledge*. (s. f.). Recuperado 15 de abril de 2025, de <https://www.healthknowledge.org.uk/e-learning/health-information/applications-health-information-specialists/modelling-techniques-health-services>