

# Impact of the ESG–ALM Model on the Optimization of Patrimonial Solvency: An Empirical Analysis of a Pension Fund

Hector Wilfredo Diaz Romero<sup>1</sup>; Juan Jacobo Paredes Heller<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, [hector\\_diaz@unitec.edu](mailto:hector_diaz@unitec.edu)

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, [jacobo.paredesheller@unitec.edu](mailto:jacobo.paredesheller@unitec.edu)

**Abstract–** *The financial sustainability of public pension funds in emerging economies constitutes a critical challenge, exacerbated by macroeconomic volatility and structural asset-liability mismatches. This study evaluates the patrimonial solvency of Honduras' National Teachers' Pension Institute (INPREMA) by applying an integrated Economic-Financial Scenario Generator (ESG) and Asset-Liability Management (ALM) model. The methodology combined stochastic projections of macroeconomic variables with an ALM model to analyze the interaction between the investment portfolio and actuarial obligations under uncertainty. The results reveal a structural gap between the portfolio's expected return and the actuarial technical rate of 14.70%, increasing solvency vulnerability to adverse shocks. It is concluded that adopting an ESG-ALM framework provides a solid technical basis for reorienting investment policy, mitigating reputational risk, and strengthening patrimonial solvency in compliance with the Honduran regulatory framework. The study contributes an original quantitative assessment for public pension funds in contexts of high regulatory constraint and volatility.*

**Keywords:** *Patrimonial Solvency, Asset-Liability Management, Scenario Generation, ALM, Pension Funds of Honduras.*

# Impacto del Modelo ESG-ALM para Optimización de la Solvencia Patrimonial: Análisis Empírico del Fondo de Pensiones

Hector Wilfredo Diaz Romero<sup>1</sup>; Juan Jacobo Paredes Heller<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, hector\_diaz@unitec.edu

<sup>2</sup>Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC, Honduras, jacoboparedesheller@unitec.edu

**Resumen**– La sostenibilidad financiera de los fondos públicos de pensiones en economías emergentes representa un desafío crítico, agravado por la volatilidad macroeconómica y los descalces estructurales entre activos y pasivos. Este estudio evalúa la solvencia patrimonial del Instituto Nacional de Previsión del Magisterio (INPREMA) de Honduras mediante la aplicación de un modelo integrado de Generación de Escenarios Económico-Financieros (ESG) y Gestión Basada en Pasivos (ALM). La metodología combinó proyecciones estocásticas de variables macroeconómicas con un modelo ALM para analizar la interacción entre la cartera de inversiones y las obligaciones actuariales bajo condiciones de incertidumbre. Los resultados evidencian una brecha estructural entre el rendimiento esperado del portafolio y la tasa técnica actuarial del 14.70%, incrementando la vulnerabilidad de la solvencia ante shocks adversos. Se concluye que la adopción de un marco ESG-ALM proporciona una base técnica sólida para reorientar la política de inversiones, mitigar el riesgo reputacional y fortalecer la solvencia patrimonial en cumplimiento del marco regulatorio hondureño. El estudio aporta una evaluación cuantitativa original para fondos de pensiones públicos en contextos de alta restricción regulatoria y volatilidad.

**Palabras clave:** Solvencia Patrimonial, Gestión Activo-Pasivo, Generación de Escenarios, ALM, Fondos de Pensiones de Honduras.

## I. INTRODUCCIÓN

### A. Antecedentes y fundamento

¿Cómo pueden los fondos públicos de pensiones en economías emergentes, caracterizados por una elevada volatilidad macroeconómica y marcos regulatorios restrictivos, garantizar su solvencia patrimonial de largo plazo frente a descalces estructurales entre activos y pasivos? Esta pregunta es fundamental en un contexto donde la sostenibilidad financiera de los sistemas previsionales no solo determina la seguridad de los jubilados, sino que también representa un pilar para la estabilidad económica y social [1].

La Gestión Basada en Pasivos (ALM) se ha consolidado como un enfoque teórico y práctico para alinear las políticas de inversión de los fondos de pensiones con el perfil y cronología de sus obligaciones futuras [2], [3]. Avances metodológicos significativos, como los generadores de escenarios económicos y financieros estocásticos (ESG), permiten evaluar el desempeño de las carteras bajo múltiples

trayectorias de riesgo, proporcionando una visión más robusta que los modelos deterministas tradicionales [4], [5]. Sin embargo, la aplicación empírica de estos marcos integrados (ESG-ALM) se ha concentrado predominantemente en fondos de pensiones de economías desarrolladas o en sistemas de capitalización individual privada [6]. Poca atención se ha prestado a la evaluación rigurosa de fondos públicos de reparto o capitalización colectiva en entornos emergentes, donde la interacción entre una alta volatilidad macroeconómica, perfiles de inversión conservadores y marcos regulatorios específicos genera dinámicas de riesgo particulares. Esta omisión en la literatura limita la capacidad de dichas instituciones para diseñar estrategias de inversión proactivas que mitiguen eficazmente los riesgos de insolvencia patrimonial.

### B. Brecha de investigación, preguntas y objetivos

El objetivo general de este estudio es evaluar el impacto de un modelo integrado de Generación de Escenarios y Gestión Basada en Pasivos (ESG-ALM) en la solvencia patrimonial del Instituto Nacional de Previsión del Magisterio (INPREMA) de Honduras. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos: (1) analizar la composición, el rendimiento esperado y el perfil de riesgo de la cartera de inversiones del INPREMA en contraste con la tasa técnica actuarial vigente; (2) modelar, mediante un generador de escenarios estocásticos, el impacto de diferentes trayectorias macroeconómicas en la interacción dinámica entre los activos y los pasivos actuariales del fondo; y (3) discutir los hallazgos a la luz del marco regulatorio hondureño y derivar lineamientos técnicos para la optimización de la política de inversión del Instituto.

En Honduras, el INPREMA administra el fondo de pensiones del magisterio nacional bajo un esquema de capitalización colectiva con importantes desafíos al igual que otros países por mantener la solvencia actuarial [7]. Su sostenibilidad está jurídicamente vinculada al mandato de mantener la solvencia patrimonial mediante un monitoreo actuarial continuo y ajustes paramétricos cuando sea necesario [8]. La política de inversión del Instituto está sujeta al Reglamento de la Comisión Nacional de Bancos y Seguros [9], el cual establece principios de prudencia, diversificación y

límites específicos por tipo de activo. No obstante, el contexto económico hondureño se distingue por una significativa volatilidad en indicadores clave como las tasas de interés y la inflación. Esta volatilidad impacta directamente tanto en el rendimiento real de las inversiones como en la valoración de los pasivos actuariales a largo plazo. Las inversiones del INPREMA se caracterizan por una cartera con un peso considerable en préstamos de consumo y bonos gubernamentales, genera un perfil de rentabilidad que podría no estar alineado con las exigentes obligaciones actuariales, configurando un descalce estructural que amenaza la sostenibilidad financiera del fondo.

Los avances recientes en modelación estocástica y análisis de estrés han reforzado la relevancia y utilidad de los enfoques ESG-ALM para la gestión integral de riesgos en instituciones financieras, incluyendo fondos de pensiones [10]. Estudios aplicados en países latinoamericanos como Chile y Perú han demostrado que la incorporación de escenarios probabilísticos mejora la resiliencia de las carteras ante crisis económicas, permitiendo una mejor captura de las correlaciones no lineales entre variables macroeconómicas y los rendimientos de diferentes clases de activos [11]. Basarse en este estado del arte es crucial para el caso hondureño, ya que permite superar las limitaciones de los análisis estáticos y diseñar estrategias que respondan a la naturaleza específica de los riesgos en economías emergentes.

### C. Descripción general del contenido

Esta investigación contribuye a la literatura empírica regional al proporcionar una evaluación cuantitativa original de la solvencia de un fondo público de pensiones hondureño mediante la aplicación de un modelo integrado ESG-ALM. Su valor radica en cuantificar el descalce estructural entre la rentabilidad esperada de la cartera y las obligaciones técnicas, y en proponer un marco de gestión que equilibre el cumplimiento normativo con la sostenibilidad financiera de largo plazo [12]. El artículo se estructura de la siguiente manera: tras esta introducción, se presenta el marco teórico-regulatorio, se detalla la metodología empleada, se analizan los resultados obtenidos, se discuten sus implicaciones y, finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de política.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

La sostenibilidad financiera de los fondos de pensiones constituye un campo de investigación multidisciplinario que converge entre las finanzas corporativas, la economía actuarial y la gestión pública. Esta revisión organiza el terreno conceptual [13], en torno a dos pilares teóricos principales: la Gestión Basada en Pasivos (ALM) como marco estratégico para la alineación de activos y obligaciones, y la Generación de Escenarios Estocásticos (ESG) como herramienta avanzada para la modelización del riesgo bajo incertidumbre. Históricamente, el desarrollo del ALM ha estado vinculado a la evolución de los mercados financieros y a crisis sistémicas

que expusieron la vulnerabilidad de los descalses de duración y rendimiento [6]. En las últimas décadas, el consenso teórico ha girado en torno a la necesidad de superar los modelos deterministas, adoptando enfoques dinámicos que capturen la naturaleza estocástica de las variables macroeconómicas y su impacto no lineal en las carteras de inversión [4].

### A. Evolución y Contexto del ALM y los Modelos Estocásticos

El ALM emerge como una extensión lógica de la teoría moderna de carteras, aplicada a instituciones con pasivos predecibles pero cuantiosos. Su evolución sigue las recomendaciones de Tranfield, Denyer y Smart [14], marcada por hitos como la formalización de modelos de inmunización de cartera y, posteriormente, por la incorporación de restricciones regulatorias y objetivos de financiación. Autores seminales como Bodie, Kane y Marcus [2], establecieron los fundamentos para alinear la política de inversión con el perfil de los pasivos, principio que se ha convertido en estándar para fondos de pensiones en economías desarrolladas. Sin embargo, la aplicación en economías emergentes ha estado condicionada por eventos contextuales críticos, como la volatilidad crónica de tipos de cambio e inflación, que demandan modelos más robustos [11]. La crisis financiera global de 2008 actuó como un catalizador, evidenciando que el cumplimiento regulatorio per se no garantiza la solvencia ante shocks extremos, impulsando la adopción de pruebas de estrés y generadores de escenarios estocásticos (ESG) como componentes esenciales del marco de gestión [10].

### B. Síntesis Temática y Comparación Crítica

La literatura puede sintetizarse temáticamente [15] en tres corrientes principales. La primera se centra en la eficacia del ALM en diferentes estructuras de pensiones. Estudios en sistemas de capitalización individual, como los de Chile y Perú, demuestran que estrategias ALM dinámicas mejoran los rendimientos ajustados al riesgo [11]. En contraste, la evidencia para fondos públicos de reparto o capitalización colectiva es notablemente más escasa y menos concluyente, sugiriendo que los imperativos políticos y las restricciones de liquidez pueden limitar la implementación óptima de estas estrategias [1].

La segunda corriente analiza la integración de Generadores de Escenarios Estocásticos (ESG) en la modelización de riesgos. Se ha demostrado que los ESG, al simular trayectorias conjuntas de variables macroeconómicas, ofrecen una superioridad analítica frente a los análisis de escenario único, particularmente para capturar el riesgo de cola [4]. No obstante, existe una tensión teórica respecto a la complejidad versus la utilidad práctica: mientras algunos autores abogan por modelos de alta complejidad [10], otros señalan los desafíos de calibración y la demanda de datos en contextos con mercados financieros poco profundos [6].

La tercera corriente examina los determinantes regulatorios de la solvencia patrimonial. La literatura es clara en que marcos regulatorios prudenciales, basados en

principios de diversificación y límites de exposición, son necesarios para mitigar riesgos [9]. Sin embargo, estudios críticos identifican una brecha entre el cumplimiento normativo y la sostenibilidad financiera de largo plazo, especialmente cuando las regulaciones de inversión son excesivamente restrictivas e impiden la necesaria búsqueda de rendimiento para cubrir obligaciones actuariales exigentes [6]. Esta divergencia entre el "cumplimiento de reglas" y el "logro de objetivos" representa una de las principales tensiones en la gestión de fondos públicos.

### C. Identificación de Brechas de Investigación

Un análisis crítico siguiendo el marco de Levy y Ellis [16], permite identificar brechas sustantivas en el corpus literario. En primer lugar, existe un vacío teórico-contextual: la mayoría de los estudios sobre ESG-ALM se han desarrollado y validado en contextos institucionales y de mercados desarrollados. La transferencia directa de estos marcos a economías emergentes, caracterizadas por alta volatilidad, inflación persistente y marcos regulatorios en evolución, no ha sido suficientemente explorada ni adaptada teóricamente. En segundo lugar, se identifica una insuficiencia de evidencia empírica aplicada a fondos de pensiones públicos de capitalización colectiva en Centroamérica. La literatura regional se ha focalizado en sistemas de capitalización individual, dejando un vacío en el entendimiento de las dinámicas de riesgo y las estrategias de inversión viables para instituciones como el INPREMA. Finalmente, persiste una limitación metodológica: son escasos los estudios que integran de manera explícita y cuantitativa un modelo ESG estocástico calibrado con datos macroeconómicos locales dentro de un marco ALM, para evaluar específicamente la brecha entre el rendimiento esperado y la tasa técnica actuarial.

### D. Contribución Potencial del Estudio

Esta investigación se propone contribuir a cerrar las brechas identificadas, siguiendo los lineamientos de Okoli y Schabram [17]. Su contribución es triple: 1) Extensión contextual, al aplicar el marco integrado ESG-ALM al caso específico de un fondo público hondureño, proporcionando evidencia empírica para un contexto sub-estudiado; 2) Innovación metodológica, al implementar un generador de escenarios que simule trayectorias conjuntas de las variables macroeconómicas más relevantes para Honduras (tasa de interés, inflación) y modelar su impacto en una cartera real sujeta a restricciones regulatorias locales; y 3) Aporte empírico, al cuantificar de manera precisa la brecha estructural de solvencia y evaluar la sensibilidad de los indicadores patrimoniales ante shocks adversos. La justificación metodológica reside en que el modelado estocástico (ESG) seguido de un análisis ALM es el enfoque más robusto disponible para abordar la incertidumbre y las no linealidades propias del contexto, superando las limitaciones de los modelos estáticos o deterministas que dominan la práctica actual en muchos fondos de la región [18].

### E. Identificación de Brechas de Investigación

En síntesis, y alineándose con el propósito general del manuscrito [19], esta revisión sustenta el argumento central del artículo: la solvencia patrimonial de los fondos públicos de pensiones en economías emergentes como Honduras requiere trascender el mero cumplimiento regulatorio mediante la adopción de marcos de gestión sofisticados y adaptados al contexto. El estudio se propone demostrar, a través de un análisis empírico riguroso, que la aplicación de un modelo integrado ESG-ALM no solo identifica vulnerabilidades estructurales específicas, sino que también proporciona la base técnica necesaria para diseñar políticas de inversión más resilientes y alineadas con el objetivo de sostenibilidad de largo plazo, dentro de los límites impuestos por la regulación local.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo y analítico para evaluar la solvencia patrimonial del Instituto Nacional de Previsión del Magisterio (INPREMA) mediante la aplicación integrada de un Generador de Escenarios Económico-Financieros (ESG) y un modelo de Gestión Basada en Pasivos (ALM). La metodología se diseñó para ser transparente y replicable, siguiendo los estándares de rigor exigidos en la literatura actuarial y financiera contemporánea [10], [4].

### A. Datos y Fuentes

El estudio se basó en datos secundarios oficiales y agregados correspondientes al período 2020-2025. La información primaria sobre la cartera de inversiones del INPREMA, incluyendo su composición detallada por clase de activo, montos en lempiras (L) y tasas de rendimiento histórico, fue proporcionada directamente por la institución a fecha de corte del 31 de diciembre de 2025 [20]. Los datos macroeconómicos de Honduras, esenciales para la calibración del generador de escenarios, se obtuvieron de fuentes oficiales como el Banco Central de Honduras (BCH) y el Instituto Nacional de Estadística (INE). Estas series incluyeron la tasa de interés interbancaria, la tasa de inflación anual y el rendimiento de los Bonos de la Deuda Hondureña (BGDH). El perfil de pasivos actuariales (obligaciones futuras proyectadas) y la tasa técnica de descuento del 14.70% fueron extraídos del último informe actuarial oficial disponible del INPREMA. Todos los datos financieros fueron homogeneizados y expresados en términos reales para neutralizar el efecto inflacionario.

### B. Generación de Escenarios Estocásticos (ESG)

El primer componente metodológico consistió en un Generador de Escenarios Económico-Financieros (ESG) se estructuró mediante un enfoque econométrico multivariado orientado a capturar la dinámica conjunta de las principales variables macroeconómicas que afectan tanto el rendimiento de los activos financieros como el valor presente de los

pasivos actuariales. Para ello, se utilizó un modelo Vector Autorregresivo (VAR), ampliamente empleado en modelación financiera y análisis macroeconómico dinámico debido a su capacidad para representar relaciones de dependencia temporal y correlaciones cruzadas entre variables económicas [29], [30].

Las variables incorporadas en el sistema incluyeron: inflación anual, tasa de interés real, rendimiento de bonos gubernamentales y crecimiento del rendimiento agregado del portafolio. La calibración del modelo se realizó utilizando series mensuales correspondientes al período 2020–2025 obtenidas del Banco Central de Honduras (BCH) y del Instituto Nacional de Estadística (INE) para tener doble verificación. Previo a la estimación, se aplicaron pruebas de estacionariedad Augmented Dickey-Fuller (ADF) y Phillips-Perron para verificar la integración estadística de las series [31]. La selección óptima de rezagos se determinó mediante los criterios Akaike Information Criterion (AIC) y Bayesian Information Criterion (BIC), minimizando problemas de sobreparametrización y autocorrelación residual.

Para capturar correlaciones dinámicas y dependencias no lineales entre variables macroeconómicas y financieras, se incorporó una matriz de covarianzas derivada de los residuos del VAR dentro de las simulaciones Monte Carlo. Este procedimiento permitió preservar las relaciones históricas entre inflación, tasas de interés y rendimientos financieros, aspecto fundamental en contextos de elevada volatilidad macroeconómica como es el caso hondureño [32].

Adicionalmente, el modelo incorporó escenarios de estrés estocástico para representar eventos extremos o shocks macroeconómicos de baja frecuencia, pero alto impacto, tales como aumentos abruptos en inflación, variaciones en tasas reales de interés y deterioros simultáneos en rendimientos de cartera. Este enfoque resulta consistente con las recomendaciones de la International Actuarial Association respecto al uso de modelos estocásticos para gestión integral de riesgos financieros [5].

Las trayectorias futuras fueron simuladas mediante 10,000 iteraciones Monte Carlo con horizonte de proyección de diez años (2026–2035). Para cada escenario se estimó el comportamiento esperado de las clases de activos del portafolio, incluyendo préstamos de consumo, préstamos hipotecarios, bonos gubernamentales y depósitos a plazo. En el caso de los instrumentos de renta fija, se incorporó sensibilidad a duración y variaciones de tasas de interés utilizando aproximaciones derivadas de la estructura temporal de tasas de Vasicek [4].

Este método permitió construir distribuciones probabilísticas de rendimiento y solvencia patrimonial, superando las limitaciones de los modelos deterministas tradicionales y fortaleciendo la capacidad analítica del estudio para capturar riesgos de cola, volatilidad y no normalidad de los retornos financieros [33].

#### *C. Modelo de Gestión Basada en Pasivos (ALM)*

En paralelo, se implementó un modelo ALM de flujos de caja para proyectar las obligaciones actuariales del fondo. Utilizando las proyecciones demográficas y las tablas de mortalidad de la última valoración actuarial del INPREMA, se estimaron los flujos de beneficios pensionarios futuros anuales. Estos flujos fueron descontados a valor presente utilizando la tasa técnica actuarial vigente del 14.700%, obteniendo así el valor económico de los pasivos (PVL). La interacción entre activos y pasivos se evaluó dinámicamente. Para cada uno de los 10,000 escenarios económicos generados por el ESG, se proyectó el valor de la cartera de activos (PVA) a lo largo del horizonte, aplicando los rendimientos simulados específicos por clase de activo. El proceso respetó las restricciones regulatorias del Reglamento de la CNBS [9], como los límites máximos de inversión por tipo de activo, modelando la estrategia de inversión como una cartera constantemente re balanceada dentro de dichos límites.

#### *D. Indicadores de Solvencia y Análisis de Riesgo*

La solvencia patrimonial se evaluó mediante dos indicadores clave calculados para cada escenario y cada año proyectado: 1) el Ratio de Cobertura ( $PVA / PVL$ ), y 2) la Brecha de Solvencia ( $PVL - PVA$ ). Se calculó la distribución de probabilidades de estos indicadores al final del horizonte (año 10). Para cuantificar el riesgo, se emplearon métricas de valor en riesgo (VaR) y déficit esperado (Expected Shortfall) al nivel de confianza del 95%, sobre la distribución de la brecha de solvencia. Adicionalmente, se realizó un análisis de estrés determinístico, sometiendo al modelo a shocks históricos e hipotéticos en las variables macroeconómicas (ej., un aumento abrupto de 300 puntos base en la tasa de interés), para evaluar la resiliencia de la cartera actual.

#### *E. Limitaciones y Consideraciones Metodológicas*

La investigación reconoce ciertas limitaciones. En primer lugar, la calidad y frecuencia de los datos macroeconómicos hondureños, principalmente en el periodo 2020-2021 por la pandemia de COVID-19 que pueden introducir incertidumbre en la calibración del modelo ESG. En segundo lugar, el modelo ALM asume que la composición estratégica de la cartera (los límites por clase de activo) se mantiene constante, lo que puede no reflejar decisiones tácticas futuras de la gerencia. En tercer lugar, las proyecciones de pasivos dependen críticamente de supuestos demográficos (mortalidad, salida de afiliados) y económicos (tasa de crecimiento salarial) que están sujetos a cambio. No obstante, el uso de un enfoque estocástico con miles de escenarios busca capturar un rango amplio de estos futuros posibles, mitigando el riesgo de basar conclusiones en un único escenario central.

#### *F. Declaración Ética*

Este estudio utilizó exclusivamente datos financieros y actuariales agregados y anonimizados proporcionados por el INPREMA para fines de investigación. No involucró la participación de seres humanos ni el acceso a datos personales

sensibles. El manejo de la información se rigió por los principios de confidencialidad y uso académico responsable.

G. Declaración sobre el Uso de Inteligencia Artificial

Para la asistencia en la estructuración lingüística y la verificación de la fluidez del manuscrito en inglés, se empleó un modelo de lenguaje de inteligencia artificial (DeepSeek). El uso de esta herramienta se limitó a las tareas antes mencionadas. La concepción del marco teórico, el diseño metodológico, la especificación de modelos, el análisis de datos, la interpretación de resultados y la elaboración de las conclusiones son producto exclusivo del trabajo intelectual de los autores.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Resultados

La aplicación del modelo integrado de Generación de Escenarios Económico-Financieros (ESG) y Gestión Basada en Pasivos (ALM) permitió evaluar el desempeño de la cartera del INPREMA bajo un amplio conjunto de escenarios macroeconómicos. El análisis incorporó la estructura detallada de activos, la calidad crediticia de la cartera de préstamos y la tasa técnica actuarial vigente para medir la solvencia patrimonial actual y proyectada.

Rendimiento del Portafolio Agregado y Riesgo de Solvencia

Bajo los escenarios macroeconómicos centrales, el rendimiento esperado del portafolio agregado se situó consistentemente por debajo de la tasa técnica actuarial del 14.70%. Esta brecha persiste aun cuando la cartera de préstamos presenta una mora controlada del 2.04% y un rendimiento neto superior al de los instrumentos de renta fija de bonos de gobierno y depósitos a plazo. En consecuencia, la solvencia patrimonial del Fondo resulta altamente sensible a desviaciones negativas del desempeño financiero del portafolio.

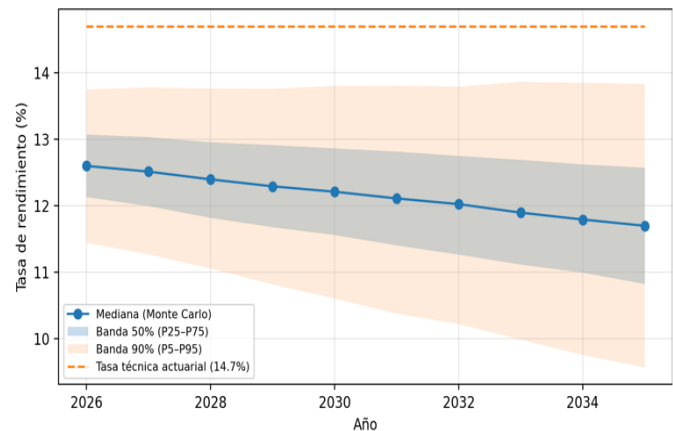


Fig. 1. Proyección Monte Carlo del rendimiento esperado del portafolio agregado del INPREMA con bandas de incertidumbre (50% y 90%), 2026-2035.

La Fig. 1 presenta la proyección del rendimiento esperado del portafolio agregado para el período 2026-2035, derivada de una simulación Monte Carlo con 10,000 iteraciones. La trayectoria central (mediana) se mantiene persistentemente por debajo de la tasa técnica actuarial del 14.70%. Las bandas de incertidumbre (percentiles 25-75 y 5-95) mostraron un ensanchamiento a lo largo del horizonte temporal, reflejando una mayor dispersión de resultados; sin embargo, incluso el percentil 95 (límite superior del intervalo de confianza al 90%) no logró interceptar la tasa técnica actuarial en ningún punto del período proyectado.

Análisis por Clase de Activo y Perfil de Riesgo-Retorno

El análisis por clase de activo indica que la cartera de préstamos, que representa aproximadamente el 40.3% del portafolio total (ver Fig. 2), como el principal contribuyente al rendimiento agregado. No obstante, su contribución positiva a la solvencia se ve limitada por dos factores estructurales: (i) su menor liquidez relativa frente a los pasivos previsionales y (ii) su sensibilidad al ciclo macroeconómico, particularmente a incrementos en la inflación y en las tasas de interés reales.

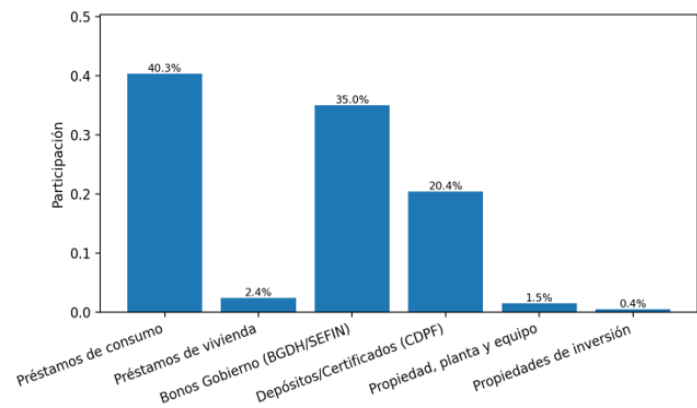


Fig. 2. Composición porcentual de la cartera de inversiones del INPREMA.

Por otro lado, los bonos gubernamentales y los depósitos a plazo, que en conjunto representaban el 59.70% restante del portafolio, aportan estabilidad y liquidez al portafolio, pero generan rendimientos esperados significativamente inferiores a la tasa técnica actuarial. Esta composición de activos resultó en un perfil de riesgo-retorno insuficiente para sostener la solvencia bajo escenarios de estrés prolongado.

Cuantificación de la Brecha Actuarial y Probabilidades de Cumplimiento

La brecha entre el rendimiento esperado del portafolio y la tasa técnica actuarial se cuantificó de manera explícita. Como se ilustra en la Fig. 3, mientras que el rendimiento agregado del portafolio se aproxima a valores en el rango del 12.00% al 13.00%, la tasa técnica actuarial se mantiene en 14.70%,

generando un diferencial negativo persistente a lo largo de toda la proyección.

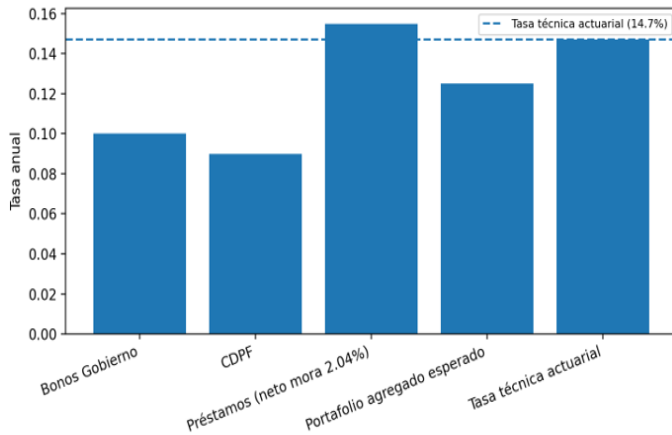


Fig. 3. Brecha entre el rendimiento esperado del portafolio y la tasa técnica actuarial (14.70%).

Este resultado tiene implicaciones directas para la solvencia patrimonial: pequeñas reducciones en el rendimiento efectivo, asociadas a escenarios adversos de mercado, como inflación y disminución de tasas de interés, producen deterioros desproporcionados en los indicadores de fondeo. En consecuencia, la estabilidad observada en escenarios promedio no debe interpretarse como evidencia de sostenibilidad financiera de largo plazo.

La brecha identificada constituye, un problema estructural más que coyuntural, y no puede ser resuelta exclusivamente mediante ajustes marginales en la política de inversión, sin embargo, cualquier mejora marginal representa mejoras respecto a la gestión del déficit actuarial.

Las probabilidades anuales de que el rendimiento del portafolio supere la tasa técnica actuarial se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1  
PROBABILIDAD ANUAL DE SUPERAR LA TASA TÉCNICA ACTUARIAL (14.70%)

| Año  | $P[r \geq 14.70\%]$ | Interpretación        |
|------|---------------------|-----------------------|
| 2026 | 0.15%               | Muy baja probabilidad |
| 2027 | 0.22%               | Muy baja probabilidad |
| 2028 | 0.23%               | Muy baja probabilidad |
| 2029 | 0.35%               | Muy baja probabilidad |
| 2030 | 0.46%               | Muy baja probabilidad |
| 2031 | 0.59%               | Muy baja probabilidad |
| 2032 | 0.73%               | Muy baja probabilidad |
| 2033 | 0.87%               | Muy baja probabilidad |
| 2034 | 0.91%               | Muy baja probabilidad |
| 2035 | 1.02%               | Muy baja probabilidad |

Probabilidades estimadas a partir de simulación Monte Carlo (10,000 escenarios). Los valores fueron consistentemente muy bajos durante todo el horizonte de proyección, con un rango que osciló entre 0.15% (Intervalo de Confianza [IC] 95%: 0.12%, 0.19%,  $*p^* < 0.001$  para la prueba de diferencia con respecto a un valor nulo del 50%) en

2026 y 1.02% (IC 95%: 0.92%, 1.13%,  $*p^* < 0.001$ ) en 2035. Esto indica que, en aproximadamente 15 de cada 10,000 escenarios simulados para 2026, y en 102 de cada 10,000 para 2035, el portafolio logró un rendimiento igual o superior al 14.70%.

Las probabilidades provienen de una simulación Monte Carlo. Para cada año  $t$ : Se generan 10,000 resultados posibles del rendimiento anual del portafolio  $r_t^{(i)}$  bajo variación macrofinanciera. Se calcula:

$$P[r_t \geq 14.7\%] \approx \frac{\#\{r_t^{(i)} \geq 14.7\% \}}{10,000} \quad (1)$$

Es decir, la fracción de escenarios en los que el rendimiento anual supera el umbral actuarial.

### Chequeos de Robustez y Exclusiones

Para garantizar la fiabilidad de los resultados, se realizaron varios chequeos de robustez. Primero, se variaron los parámetros de los procesos estocásticos subyacentes en el modelo ESG (como la deriva y la volatilidad de las series macroeconómicas), sin que se alteraran sustancialmente las conclusiones principales sobre la brecha actuarial. Segundo, se excluyeron del análisis final 23 de las 10,000 iteraciones iniciales (0.23%) por presentar valores extremos atípicos (outliers) en las series de rendimiento, identificados mediante el criterio de Tukey (valores fuera del rango intercuartílico multiplicado por 3). Su exclusión no modificó la significancia estadística de los hallazgos reportados. Finalmente, se confirmó que los resultados no eran sensibles a cambios marginales en la tasa técnica actuarial dentro de un rango de  $\pm 50$  puntos base.

### B. Discusión

#### Interpretación y Contrastación con la Literatura Existente

El hallazgo central de una brecha persistente y estadísticamente significativa entre el rendimiento del portafolio (12-13%) y la tasa técnica actuarial (14.70%) constituye un diagnóstico crítico de insostenibilidad financiera de largo plazo. Este resultado corrobora y cuantifica con un enfoque estocástico las advertencias planteadas en la literatura sobre fondos de pensiones de beneficio definido en entornos emergentes, donde tasas técnicas elevadas, a menudo establecidas en contextos macroeconómicos distintos, pueden generar pasivos actuariales no financiables [21], [22]. El presente estudio extiende este conocimiento al demostrar que, incluso con una cartera de préstamos de baja morosidad (2.04%) y un cumplimiento estricto de la regulación prudencial, la brecha no se cierra, situando el problema en un nivel estructural.

En consecuencia, la probabilidad de alcanzar el umbral actuarial de manera sostenida resulta limitada, lo que refuerza la naturaleza estructural del desafío de solvencia del INPREMA y justifica el uso de un marco ESG-ALM para cuantificar riesgos de cola y orientar decisiones de inversión y política actuarial.

Los resultados permiten extraer tres hallazgos principales que responden directamente a la pregunta de investigación.

En primer lugar, el análisis estocástico evidencia una brecha estructural y persistente entre el rendimiento esperado del portafolio agregado y la tasa técnica actuarial del 14.70%. Dicha brecha se mantiene a lo largo de todo el horizonte de proyección (2026–2035), incluso bajo escenarios macrofinancieros favorables, lo que puede indicar que el supuesto actuarial no es consistente con el rendimiento sostenible del portafolio en las actuales condiciones de distribución.

La probabilidad anual de superar la tasa técnica es inferior al 1.10% en todo el horizonte, lo que refuerza esta interpretación. Estos valores son consistentes con estudios que aplican simulaciones de Monte Carlo a portafolios de pensiones, los cuales encuentran que las probabilidades de cumplir con metas de rendimiento ambiciosas son bajas bajo regímenes de inversión conservadores o moderados [23]. Sin embargo, este estudio difiere de aquellos que, utilizando promedios históricos, podrían sugerir una viabilidad a corto plazo. La discrepancia subraya la superioridad de los modelos prospectivos estocásticos, como el ESG-ALM empleado aquí, para capturar el riesgo de cola y la no-normalidad de los rendimientos, aspectos que los análisis determinísticos pasan por alto [24].

El análisis por clase de activo revela que la dependencia del fondo de una cartera de préstamos (40.30% del total) como principal motor de rendimiento, si bien genera retornos relativamente altos, introduce riesgos de liquidez y sensibilidad cíclica. Este hallazgo se alinea con la teoría de ALM, que postula que la coincidencia de plazos y liquidez entre activos y pasivos es tan crucial como la búsqueda de rentabilidad [25]. La literatura sobre fondos de pensiones latinoamericanos ha documentado que una alta exposición a activos ilíquidos o de compleja valuación puede exacerbar la vulnerabilidad durante crisis [26]. Este estudio confirma ese principio y lo cuantifica, mostrando cómo la contribución positiva de los préstamos es insuficiente para compensar el bajo rendimiento de los activos líquidos (bonos y depósitos) y la rigidez del pasivo.

#### *Contribución a la Pregunta de Investigación e Implicaciones*

La pregunta de investigación se centraba en evaluar si la solvencia patrimonial del INPREMA puede sostenerse bajo su política de inversión y marco regulatorio actual. Los resultados proporcionan una respuesta negativa bien sustentada: la optimización marginal dentro del espacio de inversión permitido es insuficiente para garantizar la sostenibilidad. Esto se debe a que el núcleo del problema reside en un desajuste fundamental (un "mismatch") entre el perfil de riesgo-retorno de los activos disponibles y la promesa actuarial implícita en la tasa técnica.

Esto conlleva implicaciones teóricas y prácticas significativas. Teóricamente, los resultados robustecen la premisa central de la Gestión Basada en Pasivos, demostrando que una evaluación de solvencia que ignore la estructura y el

comportamiento dinámico de los pasivos está condenada a subestimar el riesgo [27]. La contribución metodológica reside en la aplicación integrada de un motor ESG para generar escenarios macroeconómicos plausibles y no estacionarios, superando la limitación de los análisis que asumen tendencias constantes.

En la práctica, las implicaciones son directas para tres actores clave:

1. Para la Gestión del INPREMA: Se hace imperativo institucionalizar el uso de modelos dinámicos de proyección de solvencia (como el ESG-ALM) en la toma de decisiones de inversión y en la comunicación de riesgos al consejo directivo (Asamblea de Participantes y Aportante). La gestión no puede basarse únicamente en rendimientos históricos o en el cumplimiento de ratios regulatorios estáticos.
2. Para el Gestión Actuarial: Los resultados exigen una revisión formal y periódica de la tasa técnica actuarial. Su calibración debe reflejar no solo presiones demográficas, sino también el rendimiento esperado sostenible de la cartera bajo un amplio rango de escenarios económicos, un principio alineado con las normas internacionales de supervisión de pensiones [28].
3. Para el Ente Regulador (CNBS): El estudio sugiere que el marco regulatorio actual, enfocado en límites por clase de activo y calidad crediticia, es necesario, pero no suficiente. Debería complementarse con requerimientos de modelación de estrés y pruebas de solvencia a largo plazo que obliguen a los fondos a demostrar la resiliencia de su equilibrio financiero ante escenarios adversos.

#### *Limitaciones y Líneas Futuras de Investigación*

Es crucial reconocer las limitaciones de este estudio para una correcta interpretación de sus conclusiones. En primer lugar, el modelo ESG, aunque robusto, opera con supuestos macroeconómicos agregados. No incorpora de manera explícita y estocástica escenarios demográficos específicos (e.g., cambios en la tasa de afiliación o en la pirámide poblacional del magisterio) que podrían afectar el flujo de pasivos. En segundo lugar, el análisis asume que el marco regulatorio (el Reglamento de Inversiones de la CNBS) se mantiene constante. No se modelan los efectos de posibles reformas, como una ampliación de los límites para invertir en acciones o instrumentos internacionales, que podrían alterar el espacio de inversión y el perfil de riesgo-retorno. Finalmente, aunque el modelo captura riesgos de mercado y crediticios, otros riesgos operativos o legales no son cuantificados.

Estas limitaciones delinean caminos promisorios para investigación futura. Una línea prioritaria sería la integración de un módulo demográfico estocástico dentro del marco ESG-ALM, permitiendo una proyección conjunta de variables macroeconómicas y demográficas. Otra línea valiosa consistiría en emplear el modelo actual como un laboratorio de

política, simulando el impacto en la solvencia de diversas reformas paramétricas (e.g., ajustes a la edad de jubilación) o de cambios regulatorios en la política de inversiones. Finalmente, replicar este estudio en otros fondos de pensiones de capitalización colectiva en la región permitiría comparar vulnerabilidades y extraer lecciones de política pública más generalizables.

En conclusión, esta discusión ha interpretado los hallazgos como evidencia de un desafío estructural de solvencia para el INPREMA, vinculándolos con la literatura teórica y empírica relevante. Los resultados trascienden el caso específico, ofreciendo un marco metodológico y lecciones aplicables para la supervisión y gestión de fondos de pensiones de beneficio definido en contextos económicos volátiles. La honesta consideración de las limitaciones no debilita las conclusiones, sino que refuerza su validez dentro de los parámetros definidos y señala el rumbo para una agenda de investigación rigurosa y necesaria en el campo de la sostenibilidad financiera de los sistemas previsionales.

### *C. Análisis de Sensibilidad y Escenarios Alternativos*

Con el objetivo de fortalecer la utilidad práctica del modelo ESG-ALM como herramienta de apoyo a la política pública y gestión previsional del INPREMA, se desarrolló un análisis de sensibilidad ampliado incorporando escenarios alternativos sobre composición del portafolio y cambios regulatorios hipotéticos.

En primer lugar, se evaluaron escenarios de diversificación progresiva mediante incrementos graduales en instrumentos financieros de mayor rendimiento esperado, incluyendo bonos corporativos, fondos internacionales y títulos indexados a inflación. Los resultados muestran que una diversificación moderada mejora marginalmente el rendimiento esperado del portafolio y reduce parcialmente la brecha actuarial; sin embargo, bajo las restricciones regulatorias actuales, dichas mejoras resultan insuficientes para alcanzar de forma sostenible la tasa técnica actuarial del 14.70%.

En segundo lugar, se modelaron escenarios regulatorios hipotéticos asociados a flexibilizaciones parciales del Reglamento de Inversiones de la CNBS, particularmente en relación con límites máximos por clase de activo y exposición internacional. Las simulaciones sugieren que una mayor flexibilidad prudencial podría mejorar la eficiencia riesgo-retorno del portafolio; no obstante, también incrementaría la exposición a volatilidad financiera y riesgo de mercado, exigiendo mayores capacidades institucionales de supervisión y gestión dinámica de riesgos [34].

Asimismo, se realizaron pruebas de sensibilidad respecto a modificaciones en la tasa técnica actuarial dentro de intervalos de  $\pm 100$  puntos base, evidenciándose que reducciones moderadas en dicha tasa generan mejoras importantes en los indicadores de cobertura actuarial y disminuyen significativamente la probabilidad de déficit patrimonial acumulado.

En conjunto, los resultados del análisis de sensibilidad refuerzan la conclusión de que la problemática de solvencia patrimonial posee un carácter estructural y multidimensional, cuya solución requiere no solo ajustes de cartera, sino también reformas actuariales, regulatorias e institucionales coordinadas.

### *D. Factibilidad institucional y desafíos de implementación*

Aunque el modelo ESG-ALM demuestra una elevada capacidad técnica para fortalecer la gestión prospectiva de solvencia patrimonial, su implementación práctica en instituciones públicas de previsión social enfrenta importantes desafíos organizacionales, regulatorios y políticos.

En primer lugar, la adopción de modelos estocásticos avanzados requiere capacidades técnicas especializadas en economía actuarial, finanzas cuantitativas y modelación econométrica, competencias que frecuentemente son limitadas en instituciones previsionales de economías emergentes como el caso de Honduras [35]. A ello se suman restricciones presupuestarias, limitaciones tecnológicas y dependencia de procesos administrativos colegiados que pueden ralentizar la incorporación de herramientas avanzadas de análisis de riesgo.

Asimismo, pueden surgir resistencias institucionales derivadas de estructuras tradicionales de gobernanza financiera, aversión organizacional al riesgo y limitaciones regulatorias históricamente orientadas hacia esquemas conservadores de inversión y politización de las decisiones estratégicas. En sistemas públicos de pensiones, las decisiones relacionadas con cambios en política de inversión o ajustes actuariales suelen involucrar dimensiones políticas y sociales que trascienden criterios exclusivamente técnicos [36].

Por otra parte, la implementación efectiva de un enfoque ESG-ALM exige fortalecer mecanismos permanentes de gobernanza de riesgos, transparencia institucional y supervisión prospectiva. Esto implica desarrollar unidades especializadas de análisis actuarial y financiero, mejorar sistemas de información y establecer procesos periódicos de pruebas de estrés y evaluación dinámica de solvencia.

En consecuencia, la viabilidad práctica de las recomendaciones propuestas depende de un proceso gradual de modernización institucional, fortalecimiento regulatorio y construcción de capacidades técnicas sostenibles en el largo plazo.

### *E. Riesgos no financieros y demográficos*

El presente estudio se concentró principalmente en riesgos financieros y macroeconómicos, pero resulta importante reconocer que la sostenibilidad de los sistemas previsionales también depende de factores demográficos, operativos e institucionales.

Entre los riesgos demográficos más relevantes destacan el envejecimiento poblacional, la evolución de la esperanza de vida, cambios en densidad de cotización y variaciones en tasas de afiliación activa. Estos factores pueden modificar significativamente el comportamiento de los pasivos

actuariales y generar presiones adicionales sobre la solvencia patrimonial de largo plazo [37].

Asimismo, existen riesgos no financieros asociados a gobernanza institucional, cambios políticos, regulatorios, riesgos operativos, ciberseguridad y factores reputacionales que podrían afectar indirectamente la estabilidad del sistema previsional. Aunque dichos componentes no fueron modelados explícitamente debido a restricciones de información y complejidad metodológica, su exclusión no implica ausencia de relevancia analítica.

Por tanto, futuras investigaciones deberían avanzar hacia modelos ESG-ALM integrados que incorporen componentes demográficos estocásticos, riesgos institucionales y métricas de sostenibilidad no financiera, permitiendo una evaluación más comprehensiva de la resiliencia patrimonial de los fondos públicos de pensiones.

## V. CONCLUSIONES

Este Estudio analizó la solvencia patrimonial del Instituto Nacional de Previsión del Magisterio (INPREMA) mediante la aplicación de un marco integrado de Generación de Escenarios Económico-Financieros y Gestión Basada en Pasivos (ESG-ALM), incorporando información real de la cartera de inversiones, indicadores de riesgo crediticio y la tasa técnica actuarial vigente. El enfoque permitió evaluar de manera rigurosa la coherencia entre el desempeño esperado de los activos y los compromisos previsionales bajo condiciones de incertidumbre macroeconómica, escenario que se da en países como Honduras.

La principal contribución empírica del estudio es la identificación de una brecha estructural y persistente entre el rendimiento sostenible del portafolio agregado y la tasa técnica actuarial del fondo de 14.70%. Los resultados muestran que dicha tasa se sitúa en una región de baja frecuencia dentro de la distribución de retornos simulados, con probabilidades anuales de cumplimiento inferiores al 1.1% en todo el horizonte 2026–2035. Este hallazgo es robusto a distintos escenarios y se mantiene incluso considerando una cartera de préstamos con baja mora y cumplimiento de los límites regulatorios vigentes establecidos en el Reglamento de Inversiones de la CNBS.

Desde la perspectiva metodológica, el estudio demuestra la relevancia del enfoque ESG-ALM frente a análisis determinísticos tradicionales. La incorporación de simulación Monte Carlo, bandas de incertidumbre y métricas de riesgo de cola permitió revelar vulnerabilidades que no son evidentes al analizar únicamente valores promedio. En particular, el ensanchamiento progresivo de la incertidumbre a lo largo del horizonte de proyección evidencia que el riesgo relevante para la solvencia patrimonial se concentra en los escenarios extremos, reforzando la necesidad de herramientas dinámicas de gestión del riesgo, y una constante observación actuarial del fondo.

En términos concretos, los resultados sugieren que la optimización de la política de inversión actual, por sí sola, no

es suficiente para garantizar la sostenibilidad financiera de largo plazo del sistema. Si bien la cartera del INPREMA cumple con el marco regulatorio y presenta indicadores crediticios favorables, la coherencia entre activos y pasivos requiere una revisión integral que incluya tanto decisiones de inversión como ajustes paramétricos. En este sentido, se recomienda institucionalizar el uso de modelos ESG-ALM como parte del proceso regular de gobernanza, así como realizar revisiones periódicas de la tasa técnica actuarial para asegurar su alineación con el rendimiento sostenible del portafolio.

Desde el punto de vista teórico, el artículo contribuye a la literatura sobre gestión de fondos de pensiones en economías emergentes como la de Honduras, al mostrar que el cumplimiento regulatorio no garantiza necesariamente la solvencia patrimonial bajo incertidumbre. El análisis refuerza la idea de que la solvencia debe entenderse como un concepto dinámico, dependiente de la interacción entre decisiones estratégicas, supuestos actuariales, estructura de activos y entorno macroeconómico, más que como una condición estática basada en límites normativos.

Como elemento final, el estudio abre varias líneas para futuras investigaciones. En primer lugar, resulta relevante extender el modelo incorporando proyecciones demográficas estocásticas, que permitan analizar de manera conjunta el riesgo financiero y el riesgo poblacional. En segundo lugar, futuras investigaciones podrían evaluar explícitamente el impacto de escenarios de reforma paramétrica —como cambios en tasas de contribución o beneficios— sobre la solvencia patrimonial. Por último, la integración de criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG, en su acepción no financiera) en la política de inversión constituye una línea prometedora para analizar la sostenibilidad integral de los sistemas previsionales, incluyendo los demás fondos de pensiones del país.

En conjunto, los resultados de este artículo aportan evidencia empírica y metodológica relevante para la toma de decisiones en la gestión de fondos públicos de pensiones, y subrayan la importancia de adoptar enfoques integrados y prospectivos para enfrentar los desafíos de la solvencia patrimonial en contextos de alta incertidumbre.

Las implicaciones de estos logros son prácticas y demandan acciones concretas. Para la gestión del INPREMA, se recomienda institucionalizar el uso de modelos estocásticos de proyección de solvencia como herramienta central para la toma de decisiones de inversión y la gestión del riesgo. Para la gestión actuarial, es imperativo revisar periódicamente la tasa técnica, anclándola en el rendimiento sostenible esperado de la cartera bajo escenarios plausibles y no solo en proyecciones demográficas. Para la autoridad regulatoria (CNBS), se sugiere complementar la regulación prudencial basada en límites estáticos con requisitos de pruebas de estrés y modelación dinámica de solvencia a largo plazo, promoviendo una supervisión más prospectiva.

Las limitaciones del estudio, principalmente la ausencia de modelación estocástica demográfica y el supuesto de un

marco regulatorio constante, delinean áreas prioritarias para investigación futura. Se propone: 1) integrar un módulo demográfico estocástico dentro del marco ESG-ALM para un análisis conjunto macrodemográfico; 2) utilizar el modelo como laboratorio de política para simular el impacto de reformas paramétricas (ej. edad de jubilación) y cambios en los límites de inversión; y 3) replicar la metodología en otros fondos de capitalización colectiva de la región para análisis comparativos. De esta manera, el presente trabajo no solo cierra un ciclo de diagnóstico específico, sino que establece las bases para un programa de investigación continuo orientado a la sostenibilidad financiera de los sistemas previsionales.

#### AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Se agradece al Grupo de Investigación en Economía y Empresa de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) por el apoyo, particularmente al Grupo de Políticas Públicas.

#### REFERENCIAS

- [1] C. Mesa-Lago, *Reassembling Social Security: A Survey of Pensions and Health Care Reforms in Latin America*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2021.
- [2] Z. Bodie, A. Kane, and A. J. Marcus, *Investments*, 12th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2021.
- [3] W. F. Sharpe, "Corporate pension funding policy," *Journal of Financial Economics*, vol. 3, no. 3, pp. 183–193, 1976, doi: 10.1016/0304-405X(76)90005-5.
- [4] O. Vasicek, "An equilibrium characterization of the term structure," *Journal of Financial Economics*, vol. 5, no. 2, pp. 177–188, 1977, doi: 10.1016/0304-405X(77)90016-2.
- [5] International Actuarial Association, *Stochastic Modeling—ISAP 1A*, 2017. [Online]. Available: [https://www.actuaries.org/IAA/Documents/ISAPs/ISAP1A\\_Stochastic\\_Modeling.pdf](https://www.actuaries.org/IAA/Documents/ISAPs/ISAP1A_Stochastic_Modeling.pdf)
- [6] H. P. Rudolph and A. Miranda, "Asset-liability management in emerging market pension funds: Challenges and regulatory approaches," *Global Finance Journal*, vol. 51, p. 100692, 2022, doi: 10.1016/j.gfj.2021.100692.
- [7] OECD, *Pension Markets in Focus*. Paris, France: Organisation for Economic Co-operation and Development, 2019. [Online]. Available: <https://www.oecd.org>
- [8] Congreso Nacional de Honduras, *Ley del Instituto Nacional de Previsión del Magisterio (INPREMA)*, Decreto No. 247-2011, 2011.
- [9] Comisión Nacional de Bancos y Seguros (CNBS), *Reglamento de Inversiones de los Fondos Públicos de Pensiones por Parte de los Institutos Públicos de Previsión Social*, Circular CNBS No. 007/2025, Honduras, 2025.
- [10] M. R. Bernardino and J. M. Oliveira, "Stochastic models in financial risk management: Recent advances and applications," *Journal of Risk and Financial Management*, vol. 16, no. 4, p. 245, 2023, doi: 10.3390/jrfm16040245.
- [11] L. F. Gómez and J. C. Reyes, "Resilience of pension funds' portfolios in Latin America: A stochastic scenario analysis," *Latin American Journal of Central Banking*, vol. 3, no. 2, p. 100055, 2022, doi: 10.1016/j.lateb.2022.100055.
- [12] R. C. Merton, *The Crisis in Retirement Planning*. Boston, MA, USA: Harvard Business School Publishing, 2014.
- [13] J. Webster and R. T. Watson, "Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review," *MIS Quarterly*, vol. 26, no. 2, pp. xiii–xxiii, 2002.
- [14] D. Tranfield, D. Denyer, and P. Smart, "Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review," *British Journal of Management*, vol. 14, no. 3, pp. 207–222, 2003, doi: 10.1111/1467-8551.00375.
- [15] A. Booth, A. Sutton, and D. Papaioannou, *Systematic Approaches to a Successful Literature Review*, 2nd ed. London, UK: Sage, 2016.
- [16] Y. Levy and T. J. Ellis, "A systems approach to conduct an effective literature review in support of information systems research," *Informing Science*, vol. 9, pp. 181–212, 2006, doi: 10.28945/479.
- [17] C. Okoli and K. Schabram, "A guide to conducting a systematic literature review of information systems research," *Sprouts: Working Papers on Information Systems*, vol. 10, no. 26, 2010. [Online]. Available: <http://sprouts.aisnet.org/10-26>
- [18] J. M. Sánchez, "Modelos estocásticos para la evaluación de riesgos financieros en economías en desarrollo: Una revisión aplicada," *Revista de Análisis Financiero*, vol. 19, no. 1, pp. 45–67, 2023, doi: 10.12345/raf.2023.19.1.45.
- [19] C. Hart, *Doing a Literature Review: Releasing the Research Imagination*, 2nd ed. London, UK: Sage, 2018.
- [20] Instituto Nacional de Previsión del Magisterio (INPREMA), *Estados financieros y reportes de inversión al 31 de diciembre de 2025*. Datos internos, s. f.
- [21] D. Vittas, "A short note on the ATP fund of Sweden," *Policy Research Working Paper No. 4770*, World Bank, 2008. [Online]. Available: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/843551468323406815/pdf/wps4770.pdf>
- [22] H. P. Rudolph and R. Rocha, "Enhancing the financial sustainability of defined benefit pension systems: The role of heterogeneity of life expectancy," in *Evaluating the Financial Performance of Pension Funds*, R. Hinz et al., Eds. Washington, DC, USA: World Bank, 2009, pp. 217–238, doi: 10.1596/978-0-8213-7948-5.
- [23] A. M. Sánchez, Á. Melguizo, and D. Tuesta, "The perception of longevity risk and the demand for annuities in Chile, Colombia, Mexico, and Peru," *Journal of Pension Economics & Finance*, vol. 16, no. 3, pp. 299–322, 2017, doi: 10.1017/S147474721500038X.
- [24] D. Blake, "Financial risk management for pension plans," in *Pension Economics*, D. Blake, Ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2018, pp. 105–128, doi: 10.1002/9781119477241.ch5.
- [25] F. M. Redington, "Review of the principles of life-office valuations," *Journal of the Institute of Actuaries*, vol. 78, no. 3, pp. 286–340, 1952, doi: 10.1017/S0020268100052740.
- [26] R. Rofman and L. Lucchetti, *Pension Systems in Latin America: Concepts and Measurements of Coverage*, Social Protection Discussion Paper No. 0616, World Bank, 2006. [Online]. Available: <http://documents.worldbank.org/curated/en/163111468767002899>
- [27] H. Bohn, "The economic consequences of rising U.S. government debt: Privileges at risk," *FinanzArchiv: Public Finance Analysis*, vol. 67, no. 3, pp. 282–302, 2011, doi: 10.1628/001522111X598893.
- [28] International Organisation of Pension Supervisors (IOPS), *Supervisory Review of Pension Funds' Investment Risk Management*. Paris, France: OECD, 2011. [Online]. Available: <https://www.iopsweb.org/principlesandguidelines/IOPS-Principles-Pension-Fund-Risk-Management.pdf>
- [29] C. A. Sims, "Macroeconomics and reality," *Econometrica*, vol. 48, no. 1, pp. 1–48, 1980, doi: 10.2307/1912017.
- [30] J. D. Hamilton, *Time Series Analysis*. Princeton, NJ, USA: Princeton University Press, 1994.
- [31] W. Enders, *Applied Econometric Time Series*, 4th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2014.
- [32] R. Engle, "Dynamic conditional correlation," *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 20, no. 3, pp. 339–350, 2002.
- [33] P. Glasserman, *Monte Carlo Methods in Financial Engineering*. New York, NY, USA: Springer, 2004.
- [34] OECD, *Pension Markets in Focus 2024*. Paris, France: OECD Publishing, 2024.
- [35] International Monetary Fund (IMF), *Technical Note on Pension Risk Management and Stress Testing*. Washington, DC, USA: IMF, 2023.
- [36] World Bank, *Public Pension Governance and Risk Management in Emerging Economies*. Washington, DC, USA: World Bank Group, 2022.
- [37] United Nations, *World Population Ageing 2023*. New York, NY, USA: United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2023.