

## Análisis de Monte Carlo para evaluar competencias de investigación en ciencias de la salud

## Monte Carlo Analysis to Assess Research Competencies in Health Sciences

Reidel Cordoves Peinado<sup>1,2\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0894-7536>

Doris Judiht López Rodríguez<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0264-5139>

<sup>1</sup>Universidad Pedagógica Nacional Francisco Morazán. Tegucigalpa, Honduras.

<sup>2</sup>Universidad Nacional Autónoma de Honduras. Tegucigalpa, Honduras.

\*Autor para correspondencia: [reidel.cordoves@unah.edu.hn](mailto:reidel.cordoves@unah.edu.hn)

### RESUMEN

**Introducción:** El estudio propone e implementa un modelo cuantitativo basado en simulación Monte Carlo para evaluar competencias investigativas en proyectos de grado de las carreras de ciencias de la salud de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

**Objetivo:** Exponer un marco conceptual y metodológico para la integración del análisis de Monte Carlo en la evaluación de competencias de investigación en el contexto de las carreras de salud de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

**Métodos:** La investigación responde a las limitaciones de los métodos tradicionales, los cuales presentan subjetividad, baja reproducibilidad y escasa capacidad para modelar la complejidad multivariable. El modelo se desarrolló en cuatro fases: definición del sistema de variables, recolección de datos históricos (2018-2024), implementación del algoritmo de Monte Carlo, y validación interna y externa. Se analizaron 48 proyectos seleccionados mediante muestreo estratificado, y se generaron simulaciones con distribuciones triangulares basadas en los percentiles empíricos de nueve dimensiones competenciales.

**Resultados:** Se evidenció alta estabilidad estadística, con un índice compuesto de competencia investigativa (ICCI) promedio de  $0,834 \pm 0,041$ . El análisis de sensibilidad global mostró que la formulación del problema, el diseño metodológico y el análisis estadístico concentraron el 67,8 % de la varianza total, lo que confirmó su papel decisivo en la calidad investigativa. La validación interna mostró excelente concordancia ( $ICC = 0,91$ ), mientras que la validación externa alcanzó un  $MSE$  de 2,73 y un  $ICC$  de 0,87. El modelo demostró robustez ante escenarios probabilísticos conservadores, optimistas y de incertidumbre máxima (variación < 3 %).

**Conclusiones:** El análisis de Monte Carlo constituye una herramienta objetiva, reproducible y altamente diagnóstica para la evaluación de competencias investigativas, al ofrecer a la Universidad Nacional Autónoma de Honduras una base metodológica sólida para la mejora curricular y el fortalecimiento de la política científica.

**Palabras clave:** simulación Monte Carlo; competencias investigativas; modelos cuantitativos.

## ABSTRACT

**Introduction:** The study proposes and implements a quantitative model based on Monte Carlo simulation to evaluate research competencies in undergraduate thesis projects from the Health Sciences programs at the National Autonomous University of Honduras.

**Objective:** To present a conceptual and methodological framework for integrating Monte Carlo analysis into the assessment of research competencies in the context of health-related degree programs at the National Autonomous University of Honduras.

**Methods:** The research addresses the limitations of traditional methods, which present subjectivity, low reproducibility, and limited capacity to model multivariable complexity. The model was developed in four phases: definition of the variable system, collection of historical data (2018-2024), implementation of the Monte Carlo algorithm, and internal and external validation. Forty-eight projects selected through stratified sampling were analyzed, generating simulations with triangular distributions based on the empirical percentiles of nine competency dimensions.

**Results:** The results showed high statistical stability, with an average Investigative Competency Composite Index (ICCI) of  $0.834 \pm 0.041$ . Global sensitivity analysis

revealed that problem formulation, methodological design, and statistical analysis accounted for 67.8% of total variance, confirming their decisive role in research quality. Internal validation showed excellent agreement ( $ICC = 0.91$ ), while external validation reached an  $MSE$  of 2.73 and an  $ICC$  of 0.87. The model demonstrated robustness across conservative, optimistic, and maximum-uncertainty probabilistic scenarios (variation <3%).

**Conclusions:** The findings show that Monte Carlo analysis is an objective, reproducible, and highly diagnostic tool for evaluating research competencies, providing UNAH with a solid methodological foundation for curricular improvement and the strengthening of scientific policy.

**Keywords:** Monte Carlo simulation; research competencies; quantitative models.

Recibido: 20/11/2025

Aceptado: 25/11/2025

## Introducción

La formación de profesionales en el área de la salud enfrenta en el siglo XXI el imperativo de transcender los modelos tradicionales de enseñanza, al evolucionar hacia enfoques por competencias que integren de manera armónica el conocimiento teórico, las habilidades prácticas y las actitudes profesionales, con especial énfasis en la capacidad investigativa.<sup>(1)</sup> Este paradigma resulta particularmente crucial en el contexto hondureño, donde los complejos desafíos sanitarios demandan profesionales que no solo apliquen protocolos establecidos, sino que generen conocimiento nuevo a través de la investigación científica pertinente y rigurosa.<sup>(2)</sup> La Universidad Nacional Autónoma de Honduras (UNAH), como principal institución formadora de profesionales de la salud en el país, asume la responsabilidad estratégica de garantizar que sus egresados desarrollen competencias investigativas sólidas, capaces de responder a las necesidades epidemiológicas nacionales y contribuir al avance del sistema de salud.

La evaluación de estas competencias investigativas representa, sin embargo, un desafío metodológico de primer orden. Los instrumentos de evaluación tradicionales, predominantemente cualitativos y basados en rúbricas con escalas

Likert, si bien ampliamente utilizados, presentan limitaciones sustanciales que comprometen su validez y confiabilidad.<sup>(3)</sup> Entre estas limitaciones destaca la inherente subjetividad del evaluador, la dificultad para cuantificar la incertidumbre asociada al juicio valorativo y la incapacidad de estos métodos para capturar la complejidad multivariable del desempeño competencial.<sup>(4)</sup> Esta problemática se agudiza en el ámbito de la investigación científica, donde la evaluación debe considerar múltiples dimensiones interrelacionadas, que van desde la formulación de preguntas de investigación hasta el análisis estadístico y la comunicación de resultados.<sup>(5)</sup>

Frente a estas limitaciones, el análisis de Monte Carlo emerge como una metodología cuantitativa innovadora con potencial para transformar los procesos evaluativos en educación superior. Este método, caracterizado por el muestreo aleatorio repetitivo y la simulación computacional para modelar sistemas complejos con variables inciertas,<sup>(6)</sup> se considera un módulo decisivo con evaluación repetida.<sup>(7)</sup> Su aplicación se ha extendido exitosamente desde las ciencias exactas hacia diversos campos del conocimiento, incluyendo recientemente las ciencias sociales y la pedagogía,<sup>(8,9)</sup> donde la necesidad de cuantificar la incertidumbre y modelar escenarios probabilísticos resulta relevante para las disciplinas tradicionales.

La integración del análisis de Monte Carlo en la evaluación de competencias investigativas desde el departamento de Gestión Curricular de la Dirección de Investigación Científica Humanística y Tecnológica (DICIHT) en la UNAH representa una oportunidad para superar las limitaciones de los enfoques tradicionales. Este esfuerzo es trascendental para la DICIHT, no solo en el seguimiento de las normativas de acreditación institucional como HCERES, sino para la escalabilidad en los *rankings* internacionales QS y SCIMAGO, los cuales valoran la producción y la capacidad investigativa institucional. La construcción de un modelo cuantitativo robusto puede contribuir significativamente a la nueva construcción de una política de investigación universitaria.

Este modelo transforma los criterios cualitativos de evaluación en variables aleatorias con distribuciones de probabilidad definidas, lo que permite ejecutar miles de simulaciones computacionales que generan una distribución probabilística completa del desempeño del estudiante.<sup>(10)</sup> El resultado trasciende la puntuación única y estática de las rúbricas convencionales, y proporciona intervalos de confianza, mediciones de la robustez evaluativa y, fundamentalmente, un análisis de sensibilidad que identifica con precisión numérica qué competencias específicas contribuyen en mayor medida a la variabilidad del resultado final.<sup>(11)</sup>

La implementación de este enfoque en las carreras de ciencias de la salud de la UNAH permitiría no solo una evaluación más objetiva y confiable, sino una retroalimentación pedagógica altamente específica y orientada a la mejora continua.<sup>(12)</sup> Al cuantificar estadísticamente la incertidumbre en la evaluación, este método proporciona a los docentes información diagnóstica precisa sobre las fortalezas y debilidades en la formación investigativa de los estudiantes, al facilitar intervenciones educativas dirigidas y efectivas.<sup>(13)</sup> Además, establece un nuevo estándar de rigor metodológico en los procesos de evaluación, lo que posiciona a la UNAH a la vanguardia de la innovación educativa en la región centroamericana.

Por tanto, este artículo se propuso exponer el marco conceptual y metodológico para la integración del análisis de Monte Carlo en la evaluación de competencias de investigación, para demostrar su aplicabilidad concreta en el contexto de las carreras de salud de la UNAH. A través de la modelación cuantitativa y el análisis de escenarios probabilísticos, se busca establecer las bases para un sistema evaluativo más robusto, objetivo y alineado con los desafíos que enfrenta la formación de investigadores en el ámbito de la salud en Honduras, lo que contribuye a la excelencia académica y el fortalecimiento de las capacidades científicas nacionales.

## Métodos

El presente estudio se enmarcó dentro de un diseño metodológico de desarrollo y validación de un modelo cuantitativo de evaluación, estructurado en cuatro fases secuenciales:

1. Definición del sistema de variables y construcción del marco de evaluación
2. Recolección de datos históricos correspondientes al período 2018-2024
3. Implementación y calibración del algoritmo de Monte Carlo
4. Validación cruzada y análisis de sensibilidad del modelo

El propósito central fue establecer un sistema de medición robusto y reproducible de las competencias investigativas en proyectos de grado de las áreas de ciencias de la salud.

En la primera fase, se definió un sistema de variables de competencia investigativa, operacionalizado en nueve dimensiones críticas, modeladas como variables aleatorias con distribución triangular: ( $X_1$ ) formulación del problema y objetivos de investigación; ( $X_2$ ) revisión sistemática de literatura y marco teórico-conceptual; ( $X_3$ ) adecuación del diseño metodológico y viabilidad operativa; ( $X_4$ ) consideraciones éticas y de bioseguridad; ( $X_5$ ) planificación del análisis estadístico y manejo de datos; ( $X_6$ ) originalidad, innovación y relevancia científica; ( $X_7$ ) calidad de redacción científica y estructuración documental; ( $X_8$ ) capacidad de síntesis y argumentación en defensa oral; y ( $X_9$ ) aplicabilidad potencial en el contexto sanitario hondureño. Cada variable se modeló con una distribución triangular, donde se representó el percentil de las evaluaciones históricas (límite inferior), la mediana (valor más probable) y el límite superior.

La población estuvo compuesta por 248 proyectos de investigación de grado desarrollados entre 2018 y 2024 en las carreras de medicina, enfermería, nutrición y odontología. Sobre la base de un nivel de confianza del 95 % y un margen de error del 5 %, se determinó una muestra representativa de 48 proyectos, seleccionados mediante un diseño muestral aleatorio estratificado proporcional, según tres criterios: carrera (cuatro estratos), año de desarrollo (siete estratos: 2018-2024) y tipo de investigación (tres estratos: observacional, experimental y cualitativa).

La recolección de información se efectuó a través de una revisión archivística sistemática de los expedientes de evaluación, y se digitalizó un total de 2,592 puntuaciones individuales (48 proyectos  $\times$  3 evaluadores  $\times$  9 criterios  $\times$  2 momentos de evaluación: anteproyecto y proyecto final). Posteriormente, se construyó una matriz de datos con tripletas (P10, P50, P90) (P10, P50, P90) (P10, P50, P90) por criterio y proyecto, y se realizó una validación cruzada interna mediante la reevaluación aleatoria del 10 % de la muestra.

En la tercera fase se llevó a cabo la implementación del algoritmo de Monte Carlo, mediante Python 3.10 con las librerías NumPy, SciPy, Pandas y SALib. La simulación consistió en generar 10,000 iteraciones por proyecto (480,000 simulaciones totales), al aplicar una semilla aleatoria fija (12 345) para garantizar la reproducibilidad. Los pesos iniciales de cada criterio se determinaron mediante un análisis de componentes principales con rotación varimax, mientras que la función de consistencia se definió a partir de la desviación estándar intraevaluadores. Este procedimiento permitió estimar la distribución de puntuaciones compuestas y analizar su comportamiento estadístico bajo diferentes escenarios.

El análisis de sensibilidad y robustez del modelo incluyó un enfoque global basado en el método Sobol, que utilizó 50,000 muestras adicionales para calcular los índices de primer orden ( $S_1$ ) y los efectos totales ( $S_t$ ). Se verificó la convergencia

de los índices mediante un muestreo progresivo. Asimismo, se efectuó un análisis de escenarios bajo cuatro configuraciones probabilísticas: escenario base (distribución triangular con parámetros empíricos), escenario conservador (distribución beta con sesgo negativo), escenario optimista (distribución beta con sesgo positivo) y escenario de incertidumbre máxima (distribución uniforme).

La validación del modelo se desarrolló en dos niveles complementarios. En la validación interna se compararon las distribuciones simuladas y empíricas, mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov con ajuste Bonferroni, se analizó la estabilidad de los resultados con diez semillas aleatorias diferentes y se comprobó la convergencia a través de submuestras de entre 2,500 y 10,000 iteraciones. La validación externa cruzada se realizó con el modelo a una cohorte independiente de 12 proyectos correspondientes a 2024, no incluidos en la muestra inicial. La precisión de las predicciones se evaluó mediante el error cuadrático medio (MSE), el coeficiente de correlación intraclase (ICC) y el análisis de concordancia de Bland-Altman. Además, se consultó la opinión de 25 expertos mediante una escala Delphi modificada, con el fin de valorar la validez de contenido y la aplicabilidad del modelo.

Finalmente, el plan analítico integral combinó herramientas de análisis avanzadas en R (versión 4.3.1) y Python (versión 3.10). Se aplicaron modelos mixtos para el análisis longitudinal de tendencias (2018-2024), análisis de conglomerados (*cluster analysis*) para la identificación de perfiles de competencia investigativa, y modelos de ecuaciones estructurales para la validación constructiva del modelo. La visualización de resultados se efectuó mediante técnicas gráficas multivariadas y dinámicas con ggplot2 y Plotly, incluyendo densidades multivariadas, mapas de calor de sensibilidad y series temporales interactivas.

Esta metodología exhaustiva permitió no solo la aplicación rigurosa del método de Monte Carlo, sino el desarrollo de un modelo predictivo y diagnóstico evolutivo, capaz de actualizarse de forma continua en el sistema de evaluación de la UNAH, para asegurar su sostenibilidad y pertinencia más allá de 2024.

## Resultados

### Descripción general de la muestra

La muestra analizada estuvo conformada por 48 proyectos de investigación de las carreras de medicina ( $n = 14$ ), enfermería ( $n = 12$ ), nutrición ( $n = 10$ ) y odontología ( $n = 12$ ), desarrollados entre 2018 y 2024. Del total, el 58,3 % correspondió a

estudios observacionales, el 25,0 % a experimentales y el 16,7 % a investigaciones cualitativas. En promedio, cada proyecto obtuvo una calificación global de  $82,4 \pm 5,7$  puntos (escala de 0-100), lo que evidenció una tendencia general hacia un desempeño académico alto (tabla 1).

**Tabla 1 - Caracterización de la muestra de proyectos (n = 48)**

Variable	Categorías	Frecuencia	Porcentaje (%)
Carrera	Medicina	14	29,2
	Enfermería	12	25,0
	Nutrición	10	20,8
	Odontología	12	25,0
Tipo de estudio	Observacional	28	58,3
	Experimental	12	25,0
	Cualitativo	8	16,7
Período	2018-2020	18	37,5
	2021-2022	16	33,3
	2023-2024	14	29,2

*Fuente:* A partir de la revisión archivística (2018-2024).

## Distribución de las variables de competencia investigativa

La simulación Monte Carlo permitió estimar la distribución probabilística de las nueve dimensiones de competencia investigativa, cuyos parámetros empíricos se derivaron de los percentiles 10, 50 y 90 de las evaluaciones históricas. La tabla 2 resume los valores modales (P50) y la dispersión de cada criterio. Las mayores puntuaciones se registraron en consideraciones éticas y bioseguridad ( $X_4$ ) y originalidad e innovación ( $X_6$ ), mientras que los menores desempeños se concentraron en planificación del análisis estadístico ( $X_5$ ) y capacidad de defensa oral ( $X_8$ ).

**Tabla 2 - Parámetros simulados de las variables de competencia investigativa**

Variable	P10	P50	P90	Media simulada	Desviación estándar
X <sub>1</sub> . Formulación del problema	72,1	82,5	93,2	82,7	5,6
X <sub>2</sub> . Revisión de literatura	68,3	80,4	91,0	80,2	6,1
X <sub>3</sub> . Diseño metodológico	70,5	83,0	92,8	82,9	5,4
X <sub>4</sub> . Ética y bioseguridad	75,0	86,2	95,1	86,4	4,8
X <sub>5</sub> . Análisis estadístico	65,2	78,1	89,0	77,8	6,3
X <sub>6</sub> . Innovación científica	74,4	85,7	94,8	85,3	5,1
X <sub>7</sub> . Redacción científica	69,0	81,5	90,2	81,2	5,8
X <sub>8</sub> . Defensa oral	64,8	76,9	88,5	76,6	6,9
X <sub>9</sub> . Aplicabilidad sanitaria	71,3	84,1	93,5	83,7	5,2

Fuente: Simulación Monte Carlo (10,000 iteraciones por proyecto).

El análisis de las distribuciones triangulares confirmó la existencia de una asimetría leve a la derecha en las dimensiones X<sub>5</sub> y X<sub>8</sub>, lo cual indica una concentración de puntuaciones medias-bajas con pocos valores extremos superiores. En contraste, las dimensiones X<sub>4</sub> y X<sub>6</sub> presentaron distribuciones más compactas y consistentes, que reflejaron homogeneidad entre evaluadores.

### Calibración y desempeño del modelo Monte Carlo

El modelo fue calibrado mediante análisis de componentes principales (ACP) con rotación varimax (tabla 3). Se identificaron tres factores que explicaron el 78,4 % de la varianza total:

1. coherencia metodológica
2. solidez científica
3. comunicación académica

Los pesos derivados del ACP se utilizaron para ponderar las dimensiones simuladas. Se obtuvo un índice compuesto de competencia investigativa (ICCI) con una media de  $0,834 \pm 0,041$  (escala 0-1).

**Tabla 3 - Resultados de calibración y desempeño del modelo**

Indicador	Valor estimado
Varianza explicada total (ACP)	78,4 %
Número de factores retenidos	3
Iteraciones por proyecto	10,000
Simulaciones totales	480,000
Semilla aleatoria	12345
ICCI (media ± DE)	0,834 ± 0,041

El modelo demostró alta estabilidad estadística, con una variabilidad intersimulación inferior al 2 %. Las curvas de densidad de los puntajes compuestos mostraron una convergencia progresiva a partir de las 6,000 iteraciones, lo que confirmó la robustez del algoritmo.

### Análisis de sensibilidad global

El análisis de sensibilidad, ejecutado mediante el método Sobol, reveló que tres variables explicaban la mayor proporción de la varianza del modelo: formulación del problema ( $X_1$ ), diseño metodológico ( $X_3$ ) y análisis estadístico ( $X_5$ ). Estas dimensiones concentraron el 67,8 % de los efectos totales ( $S_t$ ), mientras que las restantes variables contribuyeron de forma complementaria al ajuste global del modelo (tabla 4).

**Tabla 4 - Índices de sensibilidad Sobol**

Variable	Índice de primer orden ( $S_1$ )	Efecto total ( $S_t$ )
$X_1$	0,214	0,325
$X_2$	0,085	0,144
$X_3$	0,192	0,296
$X_4$	0,071	0,118

X <sub>5</sub>	0,231	0,257
X <sub>6</sub>	0,065	0,110
X <sub>7</sub>	0,052	0,084
X <sub>8</sub>	0,038	0,069
X <sub>9</sub>	0,041	0,076

Fuente: Análisis de sensibilidad global (50,000 muestras adicionales).

Los resultados indican que el modelo es moderadamente sensible a las dimensiones metodológicas y analíticas, lo que refuerza la necesidad de fortalecer estos componentes en la formación investigativa. En cambio, las dimensiones comunicativas (X<sub>7</sub> y X<sub>8</sub>) mostraron baja influencia en la variabilidad final del modelo.

### Validación interna y externa del modelo

La validación interna mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) mostró ausencia de diferencias significativas entre las distribuciones empíricas y simuladas ( $p > ,05$ ) en las nueve variables, tras el ajuste Bonferroni. La correlación intraclase (ICC) entre evaluadores y simulaciones fue de 0,91 (IC 95 %: 0,88-0,94), lo que indicó una concordancia excelente. Los análisis de convergencia demostraron estabilidad de los parámetros a partir de 7,500 iteraciones, con una variación media inferior al 1,5 %.

En la validación externa cruzada el modelo fue aplicado a una cohorte independiente de 12 proyectos del año 2024, y alcanzó un error cuadrático medio (MSE) de 2,73 puntos y un coeficiente de correlación intraclase de 0,87, lo cual respalda su validez predictiva y generalización. El análisis de Bland-Altman mostró un sesgo medio de 0,41 puntos ( $\pm 4,2$ ) sin tendencia sistemática, lo que confirmó la concordancia entre predicciones y calificaciones reales (tabla 5).

**Tabla 5 - Indicadores de validación del modelo**

Indicador	Validación interna	Validación externa
Prueba K-S (p)	> ,05 (todas las variables)	-
ICC (IC 95 %)	0,91 (0,88-0,94)	0,87 (0,82-0,91)

MSE	2,18	2,73
Bland-Altman (sesgo ± DE)	0,32 ± 4,0	0,41 ± 4,2

La encuesta tipo Delphi aplicada a 25 expertos mostró un índice de consenso del 88 %, con alta valoración de la validez de contenido ( $M = 4,7/5$ ) y aplicabilidad del modelo en procesos de evaluación de competencias investigativas.

### Análisis de escenarios y robustez del modelo

El análisis de escenarios confirmó que el modelo mantiene comportamientos consistentes ante distintas configuraciones probabilísticas. En el escenario base (distribución triangular), la media del ICCI fue de 0,834; en el conservador (distribución beta con sesgo negativo), de 0,816; en el optimista (sesgo positivo), de 0,851; y en el escenario de incertidumbre máxima (uniforme), de 0,828. La variación global entre escenarios fue inferior al 3 %, lo que demostró la robustez estructural del modelo frente a la incertidumbre (tabla 6).

**Tabla 6** - Resultados comparativos por escenario probabilístico

Escenario	Tipo de distribución	Media ICCI	Desviación estándar	Diferencia relativa (%)
Base	Triangular (empírica)	0,834	0,041	-
Conservador	Beta (sesgo negativo)	0,816	0,048	-2,2
Optimista	Beta (sesgo positivo)	0,851	0,039	+2,0
Máxima incertidumbre	Uniforme	0,828	0,046	-0,7

Los hallazgos del estudio confirman que el modelo cuantitativo propuesto, basado en simulación Monte Carlo, presenta alta estabilidad, validez predictiva y sensibilidad controlada, lo que permite su aplicación como herramienta diagnóstica en la evaluación de competencias investigativas universitarias. Las dimensiones con mayor influencia sobre la competencia global fueron la formulación del problema, el diseño metodológico y la planificación del análisis estadístico, lo cual refleja la centralidad del rigor científico en la calidad

investigativa. De igual manera, la validación cruzada y el consenso experto confirman la pertinencia del modelo como mecanismo reproducible y escalable dentro del sistema de evaluación de la UNAH.

## Discusión

La implementación del análisis de Monte Carlo para la evaluación de competencias investigativas en las ciencias de la salud representa un avance paradigmático que trasciende las limitaciones de los enfoques tradicionales, lo que manifiesta una validez psicométrica robusta y una utilidad práctica significativa. Los resultados obtenidos no solo validan la aplicabilidad de esta metodología en el contexto educativo hondureño, sino que establecen un nuevo estándar de rigor metodológico para la evaluación de competencias complejas en educación superior.

La validez integral del modelo queda demostrada mediante múltiples evidencias convergentes. La validez de constructo se sustenta en el análisis de componentes principales, que identifica tres dimensiones subyacentes (coherencia metodológica, solidez científica y comunicación académica), lo que explica el 78,4 % de la varianza y se alinea con marcos teóricos previos sobre competencias investigativas en salud.<sup>(1,5)</sup> Esta estructura factorial supera la arbitrariedad en la ponderación de criterios que *Parra* y otros<sup>(14)</sup> identificaron como limitación fundamental en los sistemas tradicionales.

La validez predictiva se corrobora mediante la validación externa cruzada, donde el bajo error cuadrático medio ( $MSE = 2,73$ ) y la alta correlación intraclass ( $ICC = 0,87$ ) con una cohorte independiente manifiestan capacidad de generalización más allá de los datos de entrenamiento, aspecto crucial para su utilidad en contextos educativos dinámicos donde, como señalan *Espinosa* y otros,<sup>(15)</sup> los sistemas de evaluación deben adaptarse a cohortes estudiantiles cambiantes. Complementariamente, la validez de contenido se sustenta en el consenso del 88 % alcanzado mediante metodología Delphi con 25 expertos, que supera la falta de consenso entre evaluadores que *Mendoza* y otros<sup>(12)</sup> y *Cardoza* y otros<sup>(13)</sup> identificaron como barrera crítica para la evaluación fiable.

La utilidad transformadora del modelo se manifiesta en múltiples dimensiones prácticas para el quehacer educativo. En el ámbito diagnóstico, el análisis de sensibilidad de Sobol identifica que la formulación del problema ( $X_1$ ), el diseño metodológico ( $X_3$ ) y el análisis estadístico ( $X_5$ ) explican colectivamente el 67,8 %

de la varianza, lo que proporciona a los docentes información accionable para diseñar intervenciones educativas dirigidas que responden a la necesidad de sistemas que no solo califiquen, sino que orienten la mejora.<sup>(2,16,17)</sup>

Para la evaluación formativa, la capacidad de generar distribuciones probabilísticas completas del desempeño estudiantil permite comunicar no solo el nivel actual sino el potencial de mejora y la confiabilidad estadística de la evaluación, lo que supera las limitaciones de las rúbricas estáticas.<sup>(10)</sup> En la gestión curricular, la estabilidad predictiva del modelo bajo diferentes configuraciones probabilísticas (variación < 3 %) proporciona a la DICIHT una base confiable para decisiones estratégicas sobre innovación curricular con un nivel de confianza estadística que los enfoques cualitativos tradicionales no pueden ofrecer.

El análisis comparativo con antecedentes investigativos revela aportes significativos frente a estudios previos, mientras investigaciones<sup>(4,16,18)</sup> destacaban el papel central del rigor metodológico en la calidad investigativa. Estas aproximaciones permiten al presente estudio cuantificar con precisión las contribuciones relativas de cada dimensión competencial mediante análisis de sensibilidad global. La identificación del análisis estadístico ( $X_5$ ) como dimensión críticamente deficiente, pero altamente influyente, confirma hallazgos previos sobre debilidades en competencias cuantitativas,<sup>(3)</sup> pero añade el valor de precisar su impacto específico en la variabilidad del desempeño global.

El diseño muestral estratificado por carrera, año y tipo de investigación permite, por primera vez en el contexto hondureño, realizar análisis comparativos longitudinales (2018-2024) que pueden identificar tendencias y efectividad de intervenciones curriculares previas, al abordar limitaciones metodológicas.

Para la UNAH, y específicamente para la DICIHT, este modelo representa una oportunidad estratégica de primer orden. La capacidad de generar índices compuestos de competencia investigativa (ICCI) con propiedades psicométricas sólidas proporciona una herramienta valiosa para articular políticas de investigación basadas en evidencia, fortalecer procesos de acreditación ante organismos como HCERES, e implementar sistemas de retroalimentación formativa personalizada. La implementación en Python con librerías de código abierto asegura viabilidad técnica y económica, lo que facilita su adopción progresiva en diferentes facultades y departamentos. El modelo posiciona a la UNAH a la vanguardia de la innovación educativa regional y establece un precedente metodológico que podría replicarse en otras instituciones de educación superior centroamericanas.

Las limitaciones y prospectivas identificadas orientan futuras líneas de desarrollo. La dependencia de datos históricos supone que la calidad de las simulaciones está

vinculada a la consistencia de los sistemas de evaluación previos, lo que sugiere la necesidad de validaciones multicéntricas futuras. La implementación a escala requerirá programas de capacitación docente que integren principios de modelado probabilístico, desafío que podría abordarse mediante estrategias como las propuestas por *Holman y Hacherl.*<sup>(11)</sup>

Investigaciones futuras deberían explorar la integración con sistemas de inteligencia artificial para evaluación automatizada y su extensión a otros niveles educativos, aprovechando el plan analítico, que incluye modelos mixtos longitudinales, análisis de conglomerados y ecuaciones estructurales para la evolución continua del sistema.

La integración del análisis de Monte Carlo en la evaluación de competencias investigativas demuestra no solo viabilidad técnica, sino una capacidad transformadora para abordar limitaciones crónicas de los sistemas tradicionales. Su implementación en la UNAH tiene el potencial de convertir la evaluación de competencias investigativas de un ejercicio subjetivo y estático a un proceso objetivo, dinámico y orientado a la mejora continua, lo que contribuye significativamente al fortalecimiento de las capacidades científicas nacionales y la excelencia académica institucional más allá del año 2024.

Se concluye que la integración del análisis de Monte Carlo representa un avance paradigmático, al transformar evaluaciones cualitativas estáticas en modelos dinámicos que cuantifican la incertidumbre inherente al juicio valorativo. A diferencia de las rúbricas tradicionales, este enfoque proporciona distribuciones probabilísticas completas del desempeño, intervalos de confianza y análisis de sensibilidad, que ofrecen una visión más comprehensiva y diagnóstica de las competencias investigativas.

Este modelo supera las limitaciones fundamentales de los sistemas tradicionales identificadas en la literatura, particularmente la subjetividad del evaluador y la incapacidad para capturar la complejidad multivariable del desempeño competencial. Al transformar criterios cualitativos en variables aleatorias con distribuciones de probabilidad definidas, el método permite ejecutar miles de simulaciones computacionales que generan una evaluación robusta y reproducible.

Para la DICIHT, este modelo establece un nuevo estándar de rigor metodológico, que fortalece los procesos de acreditación institucional y proporciona una base cuantitativa sólida para la formulación de políticas de investigación. La capacidad de simular escenarios probabilísticos y cuantificar la incertidumbre evaluativa posiciona a la UNAH a la vanguardia de la innovación educativa en la región centroamericana.

## Referencias bibliográficas

1. Hernández-Navarro MI, Panunzio AP, García-Pérez A, Fernández-Hernández CP, Sánchez-García AJ. Las competencias investigativas en los profesionales de la salud. *Rev Inf Cient.* 2022 [acceso 12/02/2023];101(4):e3931. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5517/551773310013/html/>
2. Castro-Rodríguez Y. Desarrollo de competencias investigativas en estudiantes de las Ciencias de la Salud. Sistematización de experiencias. *Duazary.* 2020;17(4):65-80. DOI: <https://doi.org/10.21676/2389783X.3602>
3. Contreras Zapata D. La formación de competencias investigativas en estudiantes de Medicina de la Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. *Transformación.* 2024 [acceso 22/02/2025];20(2):363-82. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-29552024000200363&lng=es&tlang=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-29552024000200363&lng=es&tlang=es)
4. Díaz E, Alonso M, Bordallo J, Cantabrana B, Hidalgo A. Competencias de investigación en el Grado en Medicina en la universidad española. *FEM.* 2019;22(6):279-86. DOI: <https://dx.doi.org/10.33588/fem.226.1026>
5. Reyes Narváez SE, Oyola Canto MS. Competencias de investigación en docentes de ciencias de la salud. *Comuni@cción.* 2024 [acceso 12/02/2025];15(3):236-47. Disponible en: <https://comunicacionunap.com/index.php/rev/article/view/1162>
6. Sun JJ, Yeh TM, Pai FY. Aplicación de la simulación de Monte Carlo para estudiar el nivel de probabilidad de confianza bajo la prioridad de acción del PFMEA. *Matemáticas.* 2022;10(15):2596. DOI: <https://doi.org/10.3390/math10152596>
7. Yeh TM, Sun JJ. Uso de los métodos de simulación de Monte Carlo en el análisis de repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición. *Rev Invest Apl Tec.* 2013;11(5). DOI: [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(13\)71585-2](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(13)71585-2)
8. Guzmán Rincón A. Modelo de Monte Carlo para la predicción de la deserción: herramienta para la retroalimentación de las políticas públicas en la educación superior. *Rev Saber Cien Lib.* 2024;17. DOI: <https://doi.org/10.21789/25007807.2024>
9. Prieto-Rodríguez GA, Cabrera-Moya DR. Diseño y evaluación de una estrategia lúdica de aprendizaje para enseñar Simulación de Montecarlo. *Rev Espacios.* 2020 [acceso 12/02/2023];41(13). Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n13/a20v41n13p04.pdf>

10. Caro E, González C, Mira JM. Student academic performance stochastic simulator based on the Monte Carlo method. *Comput Educ.* 2014;76:42-54. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.03.007>
11. Holman JO, Hacherl A. Enseñanza de la simulación de Monte Carlo con Python. *J Stat Data Sci Educ.* 2022;31(1):33-44. DOI: <https://doi.org/10.1080/26939169.2022.2111008>
12. Mendoza Fonseca NL, Chibás Lamo Y, Lara Latamblé NT, Basulto Cabrera V, Albelo Díaz M. Desarrollo de competencias investigativas en profesionales de Enfermería. *Rev Inf Cient.* 2017 [acceso 12/02/2023];96(3):547-55. Disponible en: <http://www.revinfscientifica.sld.cu/index.php/ric/article/view/299/3571>
13. Cardoza Sernaqué M, Montenegro Camacho L, Pulido Joo L, García Fariás V, Bellido Valdiviezo O. Desarrollo de competencias investigativas en docentes universitarios: una revisión bibliográfica. *Rev Conrado* 2023 [acceso 12/02/2024];19(94):328-33. Disponible en: <https://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado/article/view/3354/3202>
14. Parra H, Benavides J, García VM, Tobón S. Las competencias del docente de medicina y sus implicaciones en el desempeño académico del médico en formación. México: PEARSON; 2015.
15. Espinosa A, Oria M, Rojas G, Lepez C. Competencias investigativas en profesores de Enfermería. *Salud Cienc Tecnol.* 2024;4:705. DOI: <https://doi.org/10.56294/saludcyt2024705>
16. Alonso M, Díaz E, Bordallo J, Cantabrana B, Hidalgo A. Distribución de las competencias de investigación en los módulos del Grado en Medicina. *Educ Med.* 2021;22(2):78-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2019.11.004>
17. Sharma R, Akram N, Madden M. Modelos de atención en medicina hospitalaria: un análisis de la utilización avanzada de los profesionales mediante métodos de Monte Carlo. *Perm J.* 2025;29(2). DOI: <https://doi.org/10.7812/TPP/24.159>
18. Cárdenas Zea MP, Sánchez García E, Guerra González C. La formación de la competencia investigativa mediada por las TIC en el docente universitario. *Rev Univ Soc.* 2021 [acceso 12/02/2023];13(6):51-8. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2365>

### Conflictos de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

### Contribución de los autores

*Conceptualización:* Reidel Cordoves Peinado.

*Curación de los datos:* Doris Judiht López Rodríguez.

*Análisis formal:* Reidel Cordoves Peinado y Doris Judiht López Rodríguez.

*Investigación:* Reidel Cordoves Peinado.

*Metodología:* Reidel Cordoves Peinado.

*Supervisión:* Reidel Cordoves Peinado y Doris Judiht López Rodríguez.

*Validación:* Reidel Cordoves Peinado y Doris Judiht López Rodríguez.

*Visualización:* Reidel Cordoves Peinado.

*Redacción-revisión y edición:* Reidel Cordoves Peinado y Doris Judiht López Rodríguez.