

Tecnología basada en IA para el diagnóstico de la madurez de la comunicación digital de las PYMES en Cuba

AI-based technology for diagnosing digital communication maturity in Cuban SMEs

Escofet, Eduardo (1) | Pupo, Beatriz (2)

Pertenencia institucional

(1) Parque Científico,
Tecnológico e Industrial de
Holguín, Cuba.
(2) Centro de Estudios de
Gestión Organizacional (CEGO),
Universidad de Holguín, Cuba.

Correspondencia

eduardoescofet@mail.com

ORCID

Escofet
0009-0000-8070-4590
Pupo
0000-0001-8841-4133

Resumen

La transformación digital de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) exige instrumentos que permitan diagnosticar, explicar y mejorar la gestión de la comunicación sin depender de grandes volúmenes de datos ni de infraestructuras costosas. Este trabajo desarrolla una tecnología basada en inteligencia artificial (IA) para diagnosticar la madurez de la comunicación digital de las PYMES en Cuba, incorporando comunicación externa e interna, control de calidad de datos, detección de errores y evaluación del desempeño algorítmico. La tecnología conserva un índice de madurez de siete indicadores ponderados y añade un módulo complementario de comunicación interna, un sistema de alertas y un Índice de Calidad de la IA (ICIA) independiente de la madurez organizacional. Para comprobar el funcionamiento aritmético y las reglas diagnósticas se utilizan dos casos demostrativos de PYMES, ElectroStar y FoodAlimento, contruidos a partir de una matriz numérica agregada de referencia; estos casos no se presentan como una validación empírica independiente. Los seis valores recalculados del IM-GPC fueron reproducibles (ElectroStar: 0,209; 0,318; 0,435; FoodAlimento: 0,199; 0,241; 0,259) y un análisis Monte Carlo con perturbaciones de $\pm 20\%$ en las ponderaciones mostró estabilidad de la clasificación. La propuesta amplía el diagnóstico mediante controles de esquema, faltantes, duplicados, inconsistencias, valores atípicos, fuga temporal, desviación de los datos y degradación del modelo, así como métricas de clasificación, regresión, clustering, calibración, incertidumbre y factibilidad de la IA generativa. El resultado es un procedimiento reproducible y auditable orientado a PYMES cubanas, preparado para validación prospectiva multicéntrica.

Palabras clave:

Inteligencia artificial; Comunicación digital; Madurez digital; PYMES; Cuba

Abstract

The digital transformation of small and medium-sized enterprises (SMEs) requires tools that can diagnose, explain, and improve communication management without relying on massive datasets or expensive infrastructures. This paper develops an artificial-intelligence (AI)-based technology for diagnosing digital communication maturity in Cuban SMEs, integrating external and internal communication, data-quality control, error detection, and algorithmic performance evaluation. The technology retains a weighted seven-indicator maturity index and adds an internal-communication module, an alert system, and an AI Quality Index (AI-QI) that is kept separate from organizational maturity. Two demonstrative SME cases, ElectroStar and FoodAlimento, are used to test arithmetic consistency and diagnostic rules from an aggregate reference matrix; they are not presented as independent empirical validation. The six recalculated IM-GPC scores were reproducible (ElectroStar: 0.209, 0.318, 0.435; FoodAlimento: 0.199, 0.241, 0.259), and a Monte Carlo analysis with $\pm 20\%$ perturbations of the weights showed stable classifications. The diagnostic layer is extended with schema checks, missingness, duplicate detection, logical inconsistencies, outliers, temporal leakage, data drift, model degradation, and task-specific performance metrics for classification, regression, clustering, calibration, uncertainty, and generative-AI factuality. The result is a reproducible and auditable SME-oriented procedure ready for prospective multicenter validation in Cuba.

Key words:

Artificial intelligence; Digital communication; Digital maturity; SMEs; Cuba

Tecnología basada en IA para el diagnóstico de la madurez de la comunicación digital de las PYMES en Cuba

AI-based technology for diagnosing digital communication maturity in Cuban SMEs

Eduardo Escofet¹, Beatriz Pupo²

¹ Parque Científico, Tecnológico e Industrial de Holguín, Cuba

<https://orcid.org/0009-0000-8070-4590>

² Centro de Estudios de Gestión Organizacional (CEGO), Universidad de Holguín, Cuba

<https://orcid.org/0000-0001-8841-4133>

Autor de correspondencia: Eduardo Escofet — eduardoescofet@mail.com

Resumen. La transformación digital de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) exige instrumentos que permitan diagnosticar, explicar y mejorar la gestión de la comunicación sin depender de grandes volúmenes de datos ni de infraestructuras costosas. Este trabajo desarrolla una tecnología basada en inteligencia artificial (IA) para diagnosticar la madurez de la comunicación digital de las PYMES en Cuba, incorporando comunicación externa e interna, control de calidad de datos, detección de errores y evaluación del desempeño algorítmico. La tecnología conserva un índice de madurez de siete indicadores ponderados y añade un módulo complementario de comunicación interna, un sistema de alertas y un Índice de Calidad de la IA (IC-IA) independiente de la madurez organizacional. Para comprobar el funcionamiento aritmético y las reglas diagnósticas se utilizan dos casos demostrativos de PYMES, ElectroStar y FoodAlimento, contruidos a partir de una matriz numérica agregada de referencia; estos casos no se presentan como una validación empírica independiente. Los seis valores recalculados del IM-GPC fueron reproducibles (ElectroStar: 0,209; 0,318; 0,435; FoodAlimento: 0,199; 0,241; 0,259) y un análisis Monte Carlo con perturbaciones de $\pm 20\%$ en las ponderaciones mostró estabilidad de la clasificación. La propuesta amplía el diagnóstico mediante controles de esquema, faltantes, duplicados, inconsistencias, valores atípicos, fuga temporal, desviación de los datos y degradación del modelo, así como métricas de clasificación, regresión, clustering, calibración, incertidumbre y factibilidad de la IA generativa. El resultado es un procedimiento reproducible y auditable orientado a PYMES cubanas, preparado para validación prospectiva multicéntrica.

Palabras clave: inteligencia artificial; comunicación digital; madurez digital; PYMES; aprendizaje automático; inteligencia artificial generativa; diagnóstico organizacional; Cuba.

Abstract. The digital transformation of small and medium-sized enterprises (SMEs) requires tools that can diagnose, explain, and improve communication management without relying on massive datasets or expensive infrastructures. This paper develops an artificial-intelligence (AI)-based technology for diagnosing digital communication maturity in Cuban SMEs, integrating external and internal communication, data-quality control, error detection, and algorithmic performance evaluation. The technology retains a weighted seven-indicator maturity index and adds an internal-communication module, an alert system, and an AI Quality Index (AI-QI) that is kept separate from organizational maturity. Two demonstrative SME cases, ElectroStar and FoodAlimento, are used to test arithmetic consistency and diagnostic rules from an aggregate reference matrix; they are not presented as independent empirical validation. The six recalculated IM-GPC scores were reproducible (ElectroStar: 0.209, 0.318, 0.435; FoodAlimento: 0.199, 0.241, 0.259), and a Monte Carlo analysis with $\pm 20\%$ perturbations of the weights showed stable classifications. The diagnostic layer is extended with schema checks, missingness, duplicate detection, logical inconsistencies, outliers, temporal leakage, data drift, model degradation, and task-specific performance metrics for classification, regression, clustering, calibration, uncertainty, and generative-AI factuality. The result is a reproducible and auditable SME-oriented procedure ready for prospective multicenter validation in Cuba.

Keywords: artificial intelligence; digital communication; digital maturity; SMEs; machine learning; generative artificial intelligence; organizational diagnosis; Cuba.

1 Introducción

La comunicación digital ha dejado de ser un conjunto de publicaciones aisladas para convertirse en una infraestructura organizacional que conecta estrategia, datos, contenido, reputación, atención al cliente y aprendizaje. En las PYMES esta transformación es especialmente relevante: su menor escala permite reaccionar con rapidez, pero la escasez de recursos, de personal especializado y de sistemas de información formales puede convertir la presencia digital en un proceso intuitivo difícil de evaluar. Las revisiones recientes coinciden en que la transformación digital de las PYMES depende menos de incorporar herramientas de forma indiscriminada que de alinear tecnología, estrategia, capacidades humanas y aprendizaje incremental [2–6].

La literatura sobre digitalización empresarial muestra, además, que el impacto de las tecnologías no es automático. Las PYMES obtienen valor cuando conectan los canales digitales con procesos de gestión y objetivos de negocio, desarrollan competencias internas y sostienen mecanismos de medición. La adopción de tecnologías de información en países en desarrollo continúa limitada por restricciones financieras, conocimiento insuficiente y resistencia al cambio [3]. En Iberoamérica, el entorno institucional, la capacidad tecnológica, la formación y las características de la firma condicionan el avance digital [4]. La evidencia internacional también vincula la digitalización con mejoras en comunicación interna y externa, pero subraya el papel de la dirección y de los recursos humanos como impulsores de madurez [5].

La irrupción de la IA amplía las posibilidades de las PYMES porque reduce barreras de acceso a analítica, automatización y creación de contenidos. La IA generativa puede democratizar tareas que antes requerían equipos especializados, aunque también introduce riesgos de calidad, privacidad, sesgo, dependencia de proveedores y pérdida de control humano [7]. En comunicación corporativa, la noción de *CommTech* describe la combinación de tecnologías, infraestructuras, procesos y capacidades que sostienen la digitalización de la función comunicativa [8]. Las revisiones sobre comunicación automatizada muestran que la IA modifica tanto la producción de mensajes como la relación entre organizaciones y públicos, por lo que su evaluación debe considerar resultados comunicativos y consecuencias organizacionales [9,10].

El problema no consiste, por tanto, en determinar si una PYME usa o no IA, sino en conocer **qué tan madura es su gestión de la comunicación digital, qué brechas explican esa madurez, cuánto puede confiarse en los modelos algorítmicos que realizan el diagnóstico y qué intervención resulta proporcional a sus recursos**. Esta separación entre madurez organizacional y calidad del sistema de IA es crucial. Un modelo predictivo puede tener buen desempeño técnico y, sin embargo, apoyar un proceso comunicativo inmaduro; a la inversa, una organización puede tener prácticas comunicativas relativamente maduras y utilizar un modelo mal calibrado o susceptible a desviación.

El antecedente nacional más cercano en las referencias de base es la propuesta de gestión de la comunicación digital externa apoyada en IA en la que los autores del presente artículo realizaron la tutoría y dirección (Pupo) y la modelación y programación de la IA (Escofet) [1]. De ahí se conservan la lógica por procesos, tres fases de procedimiento, siete indicadores y sus ponderaciones. Para trasladar esa arquitectura al objeto del presente artículo se construyeron dos casos demostrativos de PYMES: ElectroStar, orientada a la comercialización y servicio técnico de equipos electrodomésticos y de movilidad, y FoodAlimento, dedicada a la producción y comercialización de alimentos (**ambas empresas anonimizadas**). Los valores empleados en estos casos reproducen una matriz numérica agregada de referencia y se utilizan para probar el motor diagnóstico, las reglas de veto y los

mecanismos de detección de errores; no se interpretan como resultados primarios obtenidos en esas empresas.

El contexto cubano añade razones específicas para disponer de una tecnología austera y auditable. El Decreto-Ley 46/2021 incorporó las micro, pequeñas y medianas empresas al ordenamiento jurídico nacional [23]. La Ley 149/2022 establece obligaciones sobre datos personales [24], mientras que la Ley 162/2023 y su reglamento refuerzan la gobernanza de la comunicación social [25]. En ese marco, un sistema diagnóstico útil para PYMES no puede limitarse a producir métricas llamativas: debe ayudar a decidir, documentar los riesgos y dejar constancia de cómo se obtuvo cada resultado.

El objetivo del trabajo es desarrollar una tecnología basada en IA para diagnosticar la madurez de la comunicación digital de las PYMES en Cuba, especificando su arquitectura, métricas organizacionales, protocolo de evaluación del desempeño de IA y un conjunto ampliado de indicadores que incorpore, además de la comunicación externa, señales clave de comunicación interna vinculadas con alineación, coordinación y aprendizaje.

2 Marco teórico y trabajos relacionados

2.1. Madurez digital y especificidad de las PYMES

Los modelos de madurez representan capacidades organizacionales mediante estados progresivos y permiten comparar la situación actual con un estado objetivo. Su utilidad radica en convertir un constructo amplio en dimensiones observables, pero su validez depende de que los niveles, indicadores y reglas de agregación se correspondan con el contexto de uso. Las revisiones recientes sobre transformación digital de PYMES recomiendan evitar modelos universales rígidos, partir de la línea de base real de cada empresa y avanzar de manera incremental [2,6]. La evidencia sobre madurez en PYMES también muestra que la digitalización genera resultados cuando se integra con sistemas de control, liderazgo y desarrollo de personas [5].

Un problema habitual es equiparar madurez digital con disponibilidad de tecnología. Esa aproximación sobrevalora infraestructura y subestima gobernanza, aprendizaje, interacción con usuarios y calidad de datos. El modelo de comunicación digital en salud propuesto por Kim y Namkoong [12], aunque pertenece a otro dominio, resulta conceptualmente útil porque incorpora satisfacción, engagement, personalización y comunicación como componentes de madurez, mostrando la necesidad de complementar la infraestructura con dimensiones relacionales. De manera análoga, el modelo C2M demuestra que la comunicación puede operacionalizarse como capacidad evaluable mediante niveles y prácticas específicas [13], asimismo el modelo TETR4DIG propone un marco conceptual para la evaluación de la madurez del cambio organizacional [14]. Estos modelos se han estudiado en forma de acercamiento crítico.

Para PYMES cubanas se requiere además una lógica de parsimonia. Un instrumento con decenas de variables difíciles de obtener puede ser científicamente completo, pero operativamente inútil. Por ello, la tecnología propuesta conserva un núcleo de siete indicadores ya sometidos a criterio de expertos en el estudio anterior [1] y añade métricas auxiliares solo cuando existen datos suficientes y necesidad inmediata. Esta estrategia se alinea con la recomendación de diseñar trayectorias digitales graduales y adaptadas a restricciones de recursos [2,3].

2.2. Comunicación digital, CommTech e Inteligencia Artificial

La digitalización de la comunicación corporativa ha generado un sistema sociotécnico en el que herramientas, infraestructura, rutinas, competencias y estructuras organizacionales se condicionan mutuamente. Brockhaus, Buhmann y Zerfass [8] describen este fenómeno mediante el concepto de CommTech y muestran que la madurez no depende solo de disponer de tecnologías, sino de estrategias

de infraestructura, procesos, tareas y personas. Para una PYME, esta mirada es importante porque evita reducir la solución a adquirir una plataforma de gestión de redes o contratar un modelo generativo.

La IA puede intervenir en cuatro funciones del ciclo comunicativo. Primero, en la **observación**, mediante extracción, limpieza y fusión de datos de redes, mensajería, ventas y atención. Segundo, en la **comprensión**, mediante segmentación, clasificación, análisis semántico y explicabilidad. Tercero, en la **predicción**, mediante regresión, clasificación y series temporales. Cuarto, en la **intervención**, mediante generación asistida de contenidos, respuesta automatizada y recomendaciones. La revisión de Weller y Lock [9] muestra que la automatización altera la comunicación estratégica y exige considerar responsabilidades, transparencia y efectos sobre públicos; la evidencia experimental de Hohenstein et al. [10] muestra, además, que la asistencia algorítmica puede cambiar lenguaje, velocidad y percepción interpersonal.

En PYMES, la IA generativa es atractiva por su bajo umbral de entrada, pero debe concebirse como **copiloto supervisado**, no como sustituto de la responsabilidad comunicativa. Grewal et al. [11] destacan la necesidad de decidir cuánto debe aportar la IA y cuánto debe permanecer bajo control humano. Rajaram y Tinguely [7] identifican en PYMES factores como competencias, liderazgo, cultura y relaciones con terceros como condiciones para una implantación sostenible. Kelm y Johann [28] encuentran que la aceptación de IA en comunicación corporativa depende tanto de utilidad y facilidad de uso como de marcos organizacionales. Estas evidencias respaldan que la madurez incorpore competencias y gobernanza, y que el sistema técnico posea una evaluación propia.

2.3. Analítica de clientes, campañas y métricas de comunicación

La segmentación algorítmica permite transformar registros dispersos en grupos operativos, pero el algoritmo elegido debe responder a la estructura de los datos y a la decisión posterior. La revisión de Salminen et al. [15], basada en 172 estudios, identifica una amplia diversidad de algoritmos y métricas, con K-means como técnica frecuente. En una PYME, el valor de la segmentación no se demuestra por producir *clústeres*, sino por su estabilidad, interpretabilidad y capacidad para diferenciar acciones de comunicación.

La relación entre marketing digital y desempeño de PYMES está ampliamente documentada, aunque los efectos varían según contexto y estrategia. Jadhav, Gaikwad y Bapat [29] señalan que no existe una única receta de marketing digital aplicable a todas las PYMES. Gao et al. [16] muestran asociaciones entre adopción de comercio electrónico/marketing digital y desempeño financiero y sostenible, y Sharabati et al. [17] reportan efectos positivos de estrategias digitales sobre desempeño. Estas evidencias justifican usar métricas de interacción y conversión, pero también advierten que un indicador aislado —por ejemplo, seguidores o “me gusta”— no representa por sí mismo valor comunicativo.

Los chatbots y otros agentes automatizados ilustran la necesidad de medir calidad de la interacción, no solo volumen. Fondevila-Gascón et al. [18] hallaron que la percepción del chatbot depende del contexto y la complejidad de la solicitud, y que la efectividad influye en la satisfacción. Por ello, el diagnóstico propuesto incorpora métricas como tiempo de respuesta, tasa de resolución, escalamiento a humano y satisfacción cuando tales datos existan, sin convertirlas inicialmente en componentes obligatorios del IM-GPC.

2.4. Ética, privacidad y confiabilidad de la IA

La automatización de la comunicación incorpora riesgos que no pueden evaluarse después del despliegue como una simple valoración complementaria. Los profesionales de relaciones públicas reportan desafíos éticos asociados a bots, big data, personas de influencia y contenidos patrocinados [19]. En el contexto cubano, la protección de datos personales constituye además una obligación jurídica [24]. El principio operativo adoptado en este trabajo es de minimización: recolectar únicamente los

datos necesarios para la decisión, seudonimizar identificadores, separar datos de entrenamiento y reporte, y evitar incorporar atributos sensibles salvo que exista una base jurídica y una finalidad explícita.

La confiabilidad requiere medir incertidumbre, calibración y cambio del entorno. Un clasificador con 90 % de exactitud puede ser inadecuado si su probabilidad de 0,9 no corresponde a una frecuencia aproximada de aciertos del 90 %. La revisión de Silva Filho et al. [21] sistematiza métodos para evaluar y mejorar calibración. Del mismo modo, la distribución de datos de una campaña puede cambiar por estacionalidad, crisis, conectividad o cambios de plataforma; Hinder, Vaquet y Hammer [20] muestran que la detección y explicación de *desviación conceptual* es una tarea central en sistemas desplegados. El perfil de IA generativa del NIST [22] refuerza un enfoque de ciclo de vida, trazabilidad y gestión de riesgos.

Tabla 1: Síntesis de literatura reciente que sustenta la tecnología propuesta.

Fuente	Ámbito	Hallazgo relevante para esta propuesta
Sagala y Öri [2]	Transformación digital en PYMES	La estrategia debe partir de la línea base, restricciones y aprendizaje incremental.
Yuwono et al. [3]	TIC en PYMES de países en desarrollo	Recursos, conocimiento TIC y resistencia al cambio condicionan la adopción.
Gutiérrez Navas et al. [4]	Digitalización de MIPYMES iberoamericanas	La digitalización depende de factores tecnológicos, organizacionales y contextuales.
Broccardo et al. [5]	Madurez y digitalización de PYMES	Dirección, recursos humanos y extensión de la digitalización explican mejores resultados.
Oldemeyer et al. [6]	IA en PYMES	La adopción presenta beneficios pero también barreras de recursos, competencias y datos.
Rajaram y Tinguely [7]	IA generativa en PYMES	Competencias, liderazgo, cultura y colaboración condicionan un uso sostenible.
Brockhaus et al. [8]	CommTech	La madurez comunicativa es sociotécnica: tecnología, infraestructura, procesos y personas.
Weller y Lock [9]	Comunicación automatizada	La automatización transforma funciones y responsabilidades de la comunicación estratégica.
Kim y Namkoong [12]	Madurez de comunicación	La madurez debe incorporar dimensiones relacionales y no limitarse a infraestructura.
Salminen et al. [15]	Segmentación algorítmica	Los clústeres deben evaluarse con múltiples métricas y utilidad práctica.
Silva Filho et al. [21]	Calibración	La confianza probabilística debe verificarse; la exactitud por sí sola es insuficiente.
NIST [22]	Riesgo de IA generativa	La evaluación debe cubrir todo el ciclo de vida y dimensiones de confiabilidad.

3 Materiales y métodos

3.1. Diseño de investigación y corpus de evidencia

Se empleó un diseño de ciencia del diseño orientado a construir y evaluar un artefacto metodológico-computacional. El trabajo combina: (a) síntesis de los documentos de investigación aportados; (b) actualización bibliográfica 2021–2026 en revistas, libros y documentos normativos; (c) reconstrucción matemática del índice de madurez; (d) verificación secundaria con matriz diagnóstica demostrativa; (e) análisis de sensibilidad de las ponderaciones; y (f) diseño de un protocolo de evaluación prospectiva en PYMES.

Como fuente primaria del modelo, procedimiento, sistema de indicadores y ponderaciones se utilizó el resultado de la tesis [1] dirigida por Pupo, coautora de este artículo. Los demás materiales aportados se emplearon para identificar variantes de adaptación a PYMES, componentes algorítmicos y propuestas de visualización. La matriz cuantitativa utilizada en ElectroStar y FoodAlimento se considera un conjunto de prueba demostrativo: permite verificar fórmulas, alertas y consistencia del software, pero no reemplaza una validación prospectiva en PYMES reales. Esta regla de procedencia evita convertir escenarios de diseño en evidencia empírica.

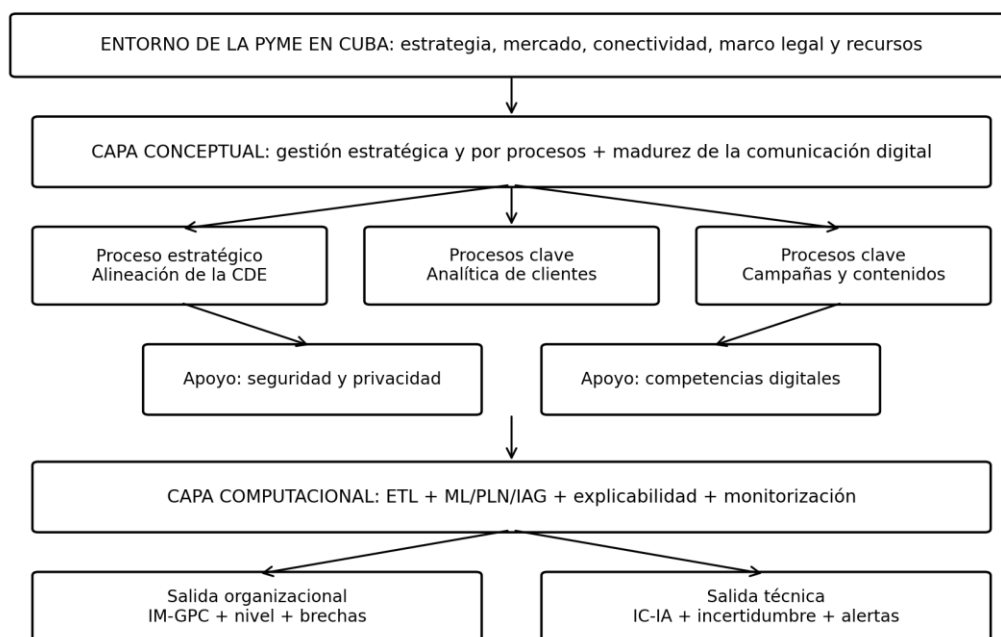
La búsqueda externa priorizó literatura revisada por pares publicada entre 2021 y 2026 y fuentes normativas oficiales o de alta autoridad. Se seleccionaron estudios sobre digitalización de PYMES, madurez, CommTech, IA en comunicación, IA generativa, segmentación de clientes, métricas de desempeño, calibración, desviación y gestión de riesgos. Para cada referencia se verificó DOI cuando estaba disponible.

3.2. Arquitectura de la tecnología

La tecnología se organiza en tres capas que deben mantenerse conceptualmente separadas. La **capa conceptual** define qué se entiende por madurez y cuáles procesos se evalúan. La **capa operativa** establece el procedimiento para diagnosticar, priorizar brechas, intervenir y reevaluar. La **capa computacional** implementa captura y preparación de datos, modelos de IA, evaluación, explicabilidad y monitorización. La separación evita que una actualización del algoritmo obligue a redefinir el constructo organizacional y facilita implantar una versión mínima en PYMES con pocos datos.

El núcleo conserva cinco procesos del estudio antecedente [1]: gestión estratégica de la comunicación digital externa; analítica de clientes; gestión de campañas digitales; gestión de seguridad digital; y gestión de competencias digitales. La selección original se obtuvo tras tres rondas con treinta expertos: de dieciséis procesos iniciales se pasó a siete y finalmente a cinco, con coeficientes de concordancia reportados de 0,80 en las rondas de consolidación. Para el dominio PYME se mantiene esta estructura por su parsimonia y porque cubre estrategia, procesos clave y apoyos sin exigir una arquitectura departamental propia de grandes empresas. A este núcleo se añade, sin alterar la lógica del índice original, un módulo complementario de comunicación interna que permite observar si la mejora externa se apoya realmente en coordinación y aprendizaje internos.

La Figura 1 representa la arquitectura propuesta. El resultado organizacional es el IM-GPC y su perfil de brechas. El resultado técnico es el IC-IA, acompañado por incertidumbre y alertas. Ninguno sustituye al otro: el sistema solo debe emitir recomendaciones automatizadas de alto impacto cuando la calidad técnica supere la puerta de aceptación y no existan vetos de privacidad, seguridad o factualidad.



La calidad del algoritmo se evalúa de forma separada de la madurez organizacional.

Figura 1. Arquitectura conceptual, operativa y computacional de la tecnología de diagnóstico para PYMES.

3.3. Índice de madurez: formulación y ponderaciones

El Índice de Madurez de la Gestión del Proceso Comunicativo (IM-GPC) se conserva como agregado ponderado de siete indicadores normalizados entre 0 y 1:

$$IM-GPC = 0,10 \cdot IAE + 0,15 \cdot IPD + 0,18 \cdot IIR + 0,22 \cdot ICG + 0,22 \cdot IRT + 0,05 \cdot ISD + 0,08 \cdot ICD$$

donde IAE es alineación estratégica; IPD, precisión/calidad de datos; IIR, interacción en redes; ICG, crecimiento de clientes; IRT, retención; ISD, seguridad digital; e ICD, competencias digitales. Los pesos proceden del criterio de expertos y suman uno. El predominio de crecimiento, retención e interacción refleja que estos indicadores fueron considerados los más directamente relacionados con el avance de la gestión comunicativa. La Figura 2 muestra su estructura ponderal.

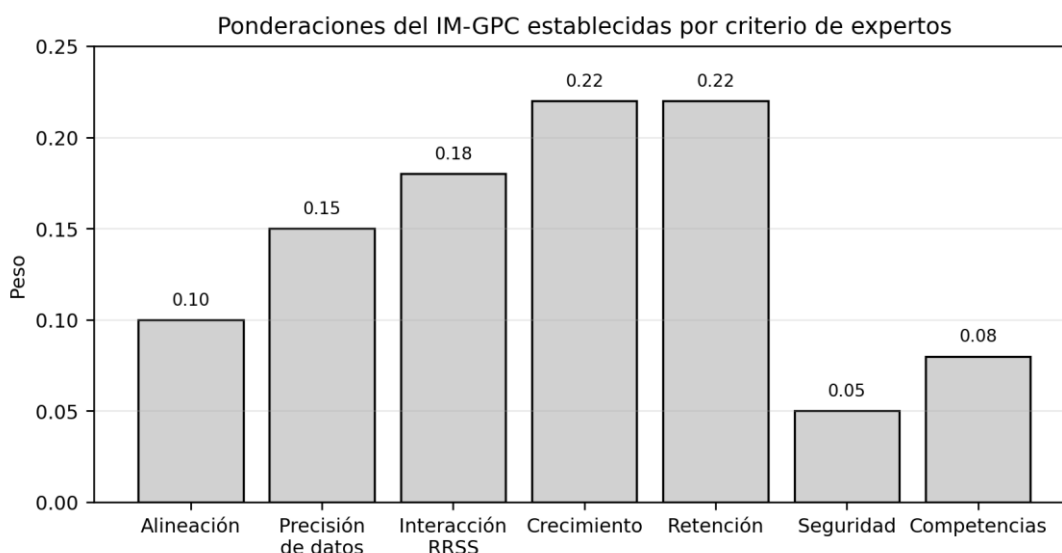


Figura 2. Pesos del índice IM-GPC definidos en el modelo cubano base.

La agregación ponderada no se interpreta de forma puramente compensatoria. El modelo original introduce una **regla de veto** vinculada a los tres indicadores principales —interacción, crecimiento y retención—: si estos no alcanzan condiciones mínimas, un valor global favorecido por indicadores secundarios no debe clasificar a la organización como madura. Esta lógica se preserva porque es coherente con la naturaleza del constructo: una PYME con buenas contraseñas y personal capacitado, pero sin interacción, crecimiento ni retención, no puede considerarse comunicativamente avanzada.

Tabla 2: Indicadores nucleares del IM-GPC y operacionalización recomendada para PYMES.

Indicador (peso)	Definición operativa	Fuente mínima de datos	Observación para PYMES
IAE (0,10)	Grado de correspondencia entre objetivos de negocio/comerciales y objetivos/KPI de comunicación.	Plan de negocio, plan comercial, calendario digital.	Usar matriz binaria o escala ordinal auditada; conservar evidencia documental.
IPD (0,15)	Calidad de los datos que alimentan decisiones: completitud, validez, consistencia y actualidad.	Exportaciones de redes, CRM/hojas de cálculo, registros de mensajería.	Evitar que precisión signifique solo R ² ; evaluar calidad de datos antes del modelo.
IIR (0,18)	Interacción generada por contenidos y conversaciones digitales.	Alcance, impresiones, reacciones, comentarios, compartidos, clics, mensajes.	Preferir tasas normalizadas por alcance; conservar conteo bruto como diagnóstico.
ICG (0,22)	Cambio relativo de la base de clientes/audiencia relevante durante el periodo.	CRM, ventas, seguidores cualificados, leads.	Distinguir crecimiento de seguidores de adquisición de clientes/leads.
IRT (0,22)	Proporción de clientes que permanecen activos después de descontar adquisiciones del periodo.	CRM, ventas repetidas, historial de conversaciones.	Definir “cliente activo” por sector y ventana temporal.
ISD (0,05)	Capacidad de prevenir, detectar, responder y recuperar incidentes; cumplimiento de salvaguardas.	Lista de chequeo, registros de incidentes, copias, 2FA, roles.	Combinar controles preventivos y respuesta; evitar sesgo por subregistro de incidentes.
ICD (0,08)	Competencias del equipo para datos, contenidos, redes, seguridad y solución de problemas.	Rúbrica y evidencia de tareas/capacitación.	Evaluar capacidad demostrada, no solo cursos completados.

3.4. Métricas nucleares y mejoras de operacionalización

La alineación estratégica puede expresarse como $IAE = \sum p_i m_i$, donde p_i es la importancia del objetivo y m_i indica su alineación. El crecimiento se calcula como razón entre clientes al final y al inicio del periodo, mientras la retención se estima descontando nuevos clientes del total final. La seguridad se aproximó mediante incidencias resueltas sobre incidencias detectadas/estimadas. Estas formulaciones constituyen un punto de partida, pero su traslado a PYMES exige resolver cuatro problemas: dependencia de escala, denominadores cero, subregistro y comparabilidad entre plataformas.

Para IIR se propone conservar el conteo de interacciones como variable bruta, pero utilizar para comparación una **Tasa de Interacción por Alcance (TIA)**:

$$TIA = (reacciones + comentarios + compartidos + clics + mensajes iniciados) / alcance \times 100$$

La TIA disminuye la ventaja artificial de cuentas con mayor volumen de audiencia. Cuando las plataformas no entreguen alcance, puede utilizarse impresiones o seguidores, registrando explícitamente el denominador. Para evitar que una campaña de bajo alcance con pocos eventos obtenga tasas extremas, se recomienda exigir un mínimo de observaciones y reportar intervalos binomiales o bootstrap.

El crecimiento debe descomponerse en crecimiento de audiencia y crecimiento comercial. Como métrica auxiliar se propone la **Tasa de Conversión Comunicativa (TCC)**, definida por eventos de conversión atribuibles —solicitud de información, reserva, compra, registro— sobre oportunidades o sesiones elegibles. Esta tasa no entra de inicio en el IM-GPC para no alterar pesos validados; se utiliza como variable de resultado para probar si el incremento de madurez se traduce en comportamiento relevante.

Para IPD se propone una operacionalización de calidad de datos con cuatro componentes normalizados: completitud, validez, consistencia y oportunidad. En ausencia de evidencia que justifique otra ponderación, se usa promedio simple. Esta redefinición evita confundir “precisión de datos” con desempeño del modelo predictivo, conceptos distintos. El desempeño del algoritmo se evalúa en el IC-IA.

Para ISD se recomienda una puntuación híbrida: cumplimiento de controles críticos (2FA, copias, control de accesos, cifrado cuando proceda, actualización, gestión de incidentes) más desempeño de respuesta. Si no se detectaron incidentes, la razón resueltos/detectados no debe producir división por cero ni una falsa puntuación perfecta. En tal caso, el componente de respuesta queda “no estimable” y la puntuación descansa en evidencia de controles y simulacros.

Tabla 3: Métricas auxiliares propuestas para enriquecer el diagnóstico sin modificar inicialmente los pesos del IM-GPC.

Métrica	Fórmula / medición	Interpretación
TIA	Interacciones relevantes / alcance $\times 100$	Engagement normalizado por exposición.
TCC	Conversiones atribuibles / oportunidades elegibles $\times 100$	Efecto conductual/comercial de la comunicación.
TRM	Mediana de minutos hasta primera respuesta	Capacidad de respuesta; menor es mejor.
TR1	Conversaciones resueltas en primer contacto / conversaciones	Eficiencia de atención.
Sentimiento neto	(positivos – negativos) / total clasificado	Balance afectivo con intervalo de confianza.
Consistencia de marca	Ítems que cumplen rúbrica / ítems auditados	Coherencia tonal, factual y visual.
Tasa de edición de IAG	Salidas de IA que requieren edición sustantiva / salidas revisadas	Carga humana posterior a la generación.

Métrica	Fórmula / medición	Interpretación
Tasa de alucinación crítica	Salidas con afirmación material no sustentada / salidas auditadas	Debe aproximarse a cero antes de automatizar.
Disponibilidad del canal	Tiempo operativo / tiempo planificado	Resiliencia frente a conectividad/energía.
Complejidad de datos	Campos requeridos no nulos / campos requeridos	Condición de entrada para analítica confiable.

Acoplamiento entre comunicación externa, interna y calidad de IA

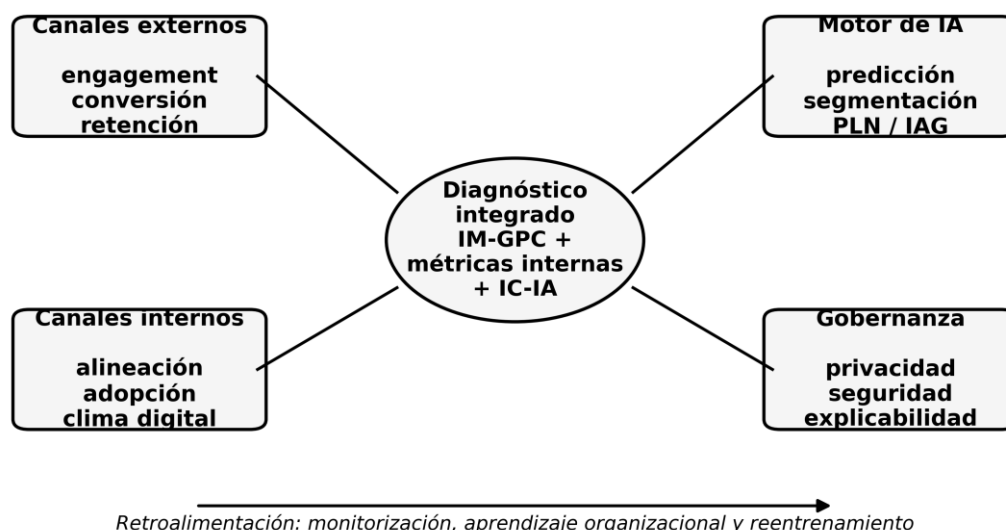


Figura 3A. Acoplamiento entre comunicación externa, interna y calidad de IA en el diagnóstico integral.

Las métricas internas se incorporan como una capa explicativa del desempeño comunicativo. No persiguen sustituir la evaluación externa, sino aportar evidencia sobre coordinación, apropiación de mensajes y capacidad de aprendizaje del equipo en el entorno digital.

3.4.1. Métricas complementarias de comunicación interna

Estas métricas no sustituyen al IM-GPC y, en una primera etapa, no deben agregarse mecánicamente al índice original. Su valor es complementario: ayudan a explicar por qué una campaña externa funciona o fracasa, si la respuesta al cliente se retrasa por descoordinación interna o si el uso de IA carece de apropiación por parte del equipo. La literatura reciente sobre comunicación interna y adaptación organizacional indica que la transparencia del flujo informativo y la alfabetización digital del personal son variables decisivas para sostener el cambio [26,27].

Métrica	Definición operacional	Fórmula / escala	Uso recomendado
IAI (Índice de Alineación Interna)	Proporción de trabajadores que identifican correctamente prioridades, campañas o protocolos vigentes.	aciertos / encuestados	Detectar brechas entre estrategia formal y comprensión interna.
TMI (Tasa de Mensajes Interiorizados)	Porcentaje de mensajes o instrucciones críticas confirmadas como leídas o comprendidas.	mensajes confirmados / mensajes críticos	Medir adopción de avisos y disciplina comunicativa.
TRI (Tiempo de Respuesta Interna)	Tiempo medio de respuesta a solicitudes internas en canales digitales.	minutos u horas	Vigilar fricción operativa y cuellos de botella.
ICCD (Índice de Colaboración en	Participación cruzada entre áreas en grupos, foros o gestores de tareas.	interacciones inter-área / interacciones	Aproximar coordinación transversal.

Canales Digitales)		totales	
ISCD (Índice de Sentimiento y Clima Digital)	Balance de sentimiento, tono y carga emocional en conversaciones internas seudonimizadas.	escala 0–1	Monitorear clima, fatiga y riesgo de conflicto.
IFD (Índice de Formación Digital)	Cobertura y conclusión de acciones formativas en herramientas digitales o IA.	completaron / convocados	Evaluar capacidad de adopción tecnológica.

Tabla 3A: Métricas complementarias de comunicación interna para enriquecer el diagnóstico de madurez.

Para PYMES cubanas se recomienda un módulo liviano de seguimiento interno compuesto por seis métricas. La idea no es duplicar burocracia, sino dar visibilidad a señales que suelen quedar ocultas: si el personal entiende los objetivos de la campaña, si los avisos críticos se leen a tiempo, si las respuestas circulan con agilidad, si existe colaboración entre áreas, qué tono domina en las conversaciones digitales y cuánto avanza la capacitación del equipo en herramientas de IA y analítica.

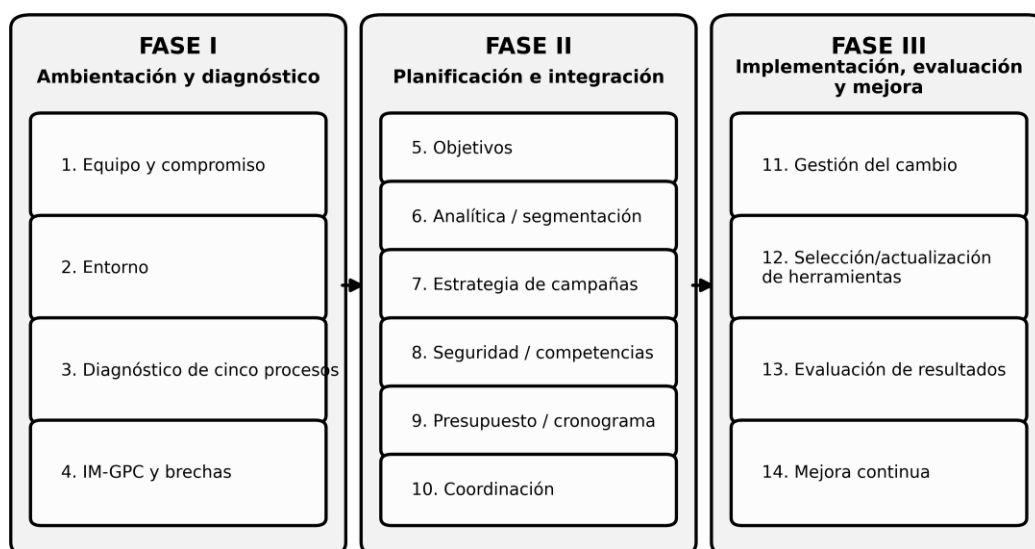
3.5. Procedimiento operativo adaptado a PYMES

La investigación antecedente organiza el procedimiento en tres fases, catorce pasos y veintisiete tareas [1]. La nueva adaptación introduce una ruta “mínima viable” para empresas pequeñas que no poseen un departamento de comunicación ni una infraestructura analítica (MIPYMES). La finalidad no es simplificar el rigor, sino escalar la inversión en función de la evidencia disponible y que sea factible y operacional para la gran mayoría de las empresas. La Tabla 4 resume las tareas críticas y la Figura 3B ofrece una lectura secuencial del procedimiento para facilitar su implementación en entornos con equipos pequeños.

Tabla 4: Procedimiento de diagnóstico e intervención para PYMES.

Fase	Pasos	Producto verificable
I. Ambientación y diagnóstico	1) equipo y compromiso; 2) entorno; 3) diagnóstico de cinco procesos; 4) IM-GPC y brechas.	Acta de alcance, inventario de canales/datos, ficha de indicadores, IM-GPC, incertidumbre y nivel.
II. Planificación e integración	5) objetivos; 6) analítica/segmentación; 7) estrategia de campañas; 8) seguridad/competencias; 9) presupuesto/cronograma; 10) coordinación.	Plan priorizado por impacto-esfuerzo, segmentos, calendario de contenidos, controles y plan de capacitación.
III. Implementación, evaluación y mejora	11) gestión del cambio; 12) selección/actualización de herramientas; 13) evaluación de resultados; 14) mejora continua.	Dashboard, evaluación del IC-IA, comparación pre/post, registro de desviación, decisiones de mantener/reentrenar/retirar.

Diagrama del procedimiento de diagnóstico e intervención



Salida: perfil de madurez, brechas priorizadas, métricas internas y externas, y evaluación de la calidad de la IA.

Figura 3B. Diagrama resumido del procedimiento de diagnóstico e intervención en tres fases y catorce pasos.

La ruta mínima viable puede ejecutarse con hojas de cálculo estructuradas y Python en un equipo local. Una PYME con menos de tres meses de historia no debe entrenar modelos complejos; debe iniciar con reglas, análisis descriptivo y validación de la calidad de sus registros. A partir de un umbral razonable de datos, la empresa puede incorporar segmentación, predicción y apoyo generativo bajo supervisión humana.

3.6. Flujo de datos y módulos de IA

El flujo de datos propuesto sigue seis etapas: **ingesta, validación, seudonimización, transformación, modelado y monitorización**. Las fuentes pueden incluir exportaciones de Meta Business Suite u otras redes, historiales de WhatsApp Business/Telegram cuando sea legalmente procedente, formularios web, registros de atención, ventas y campañas, y hojas de cálculo existentes. No se presupone acceso continuo a APIs. La arquitectura debe admitir cargas por lotes, archivos CSV y procesamiento local para tolerar conectividad intermitente.

El primer módulo es de **segmentación**. Se recomienda comenzar con K-means solo si las variables son numéricas, escaladas y la forma de los grupos es compatible; deben compararse alternativas como clustering jerárquico o HDBSCAN cuando existan densidades y formas irregulares. El número de grupos no se decide únicamente por el método del codo: se combina coeficiente de silueta, Davies–Bouldin, estabilidad bajo remuestreo e interpretabilidad para la acción [15]. Un clúster sin estrategia diferenciable carece de utilidad operativa.

El segundo módulo es de **predicción y series temporales**. Para pronosticar interacción, crecimiento o retención se establecen modelos base —persistencia, media móvil, regresión lineal— antes de probar Random Forest, gradient boosting, ARIMA o modelos recurrentes. En series cortas, ARIMA/ETS y modelos simples suelen ser preferibles por interpretabilidad y menor riesgo de sobreajuste. La

evaluación debe ser temporal, no mediante partición aleatoria de observaciones que filtraría información futura hacia el entrenamiento.

El tercer módulo es de **PLN y análisis de contenidos**. Sus tareas incluyen clasificación de intención, sentimiento, temas, detección de consultas repetitivas y valoración de coherencia. Los modelos deben evaluarse contra muestras anotadas por personas y considerar el español de Cuba, abreviaturas, errores ortográficos, ironía y mezcla de registros. Para casos de datos escasos puede emplearse aprendizaje por transferencia o modelos preentrenados, manteniendo revisión humana de categorías de alto impacto.

El cuarto módulo es de **IA generativa**. Se utiliza para borradores, variantes de mensajes, resumen de comentarios y sugerencias de respuesta, siempre con recuperación de información o contexto aprobado cuando el mensaje contenga datos verificables de la empresa. Las salidas se someten a reglas de marca, factualidad, privacidad y aprobación humana. La evidencia sobre GenAI en marketing [11] y PYMES [7] respalda su utilidad, pero no autoriza a tratar fluidez lingüística como exactitud factual.

3.7. Evaluación del desempeño de los modelos de IA

El desempeño se evalúa por tarea y contra una referencia base explícita. La métrica primaria se elige antes de examinar resultados y se complementa con métricas que capturen errores relevantes. En clasificación desbalanceada, la exactitud puede ocultar un modelo inútil; por ello se priorizan Macro-F1, exactitud balanceada y PR-AUC. En predicción continua se combinan MAE, RMSE, R^2 y sMAPE. Para cualquier salida probabilística se evalúa calibración mediante Brier Score y Expected Calibration Error (ECE), siguiendo la necesidad de verificar la confiabilidad de probabilidades predichas [21]. La monitorización se considera parte del sistema de IA y debe abarcar datos, modelo, contexto operativo y aplicación descendente; una evaluación aislada en el momento del entrenamiento es insuficiente para un diagnóstico que se actualiza en el tiempo [34].

La evaluación debe responder a cuatro preguntas diferentes: ¿predice bien? ¿generaliza a otra campaña o empresa? ¿sabe cuándo no sabe? ¿sigue funcionando cuando cambia el entorno? Para PYMES con pocos casos, se propone validación cruzada anidada cuando el dato sea independiente e idénticamente distribuido (i.i.d.); para series temporales, validación de origen rodante; y para un conjunto multicéntrico, validación leave-one-SME-out. Los intervalos de confianza se obtienen mediante bootstrap por empresa o por campaña, respetando la estructura de dependencia.

Tabla 5: Matriz propuesta de evaluación del desempeño de IA.

Tarea	Métricas mínimas	Métricas de robustez/confiabilidad	Criterio de comparación
Regresión de madurez/KPI	MAE, RMSE, R^2 , sMAPE	Bootstrap CI; error por sector; cobertura de intervalos	Línea base/persistencia; mejora fuera de muestra.
Clasificación de nivel/churn/intención	Macro-F1, exactitud balanceada, PR-AUC	Brier, ECE, matriz de confusión por empresa	Regla mayoritaria/logística simple.
Clustering de audiencias	Silueta, Davies–Bouldin, Calinski–Harabasz	ARI/consistencia bajo remuestreo; estabilidad temporal	K=1/no segmentación y utilidad accionable.
Sentimiento/temas	Macro-F1 o F1 por clase	Kappa humano-modelo; error por jerga/canal	Anotación humana doble y adjudicación.
IAG para contenidos	Factualidad, cumplimiento de marca, aceptación humana	Tasa de alucinación crítica; edición; seguridad	Plantilla humana/versión sin IA en prueba A/B.
Pronóstico temporal	MAE, RMSE, sMAPE	Retrospección rodante; error por horizonte	último valor ingenuo / estacional.
Modelo desplegado	Métrica primaria de tarea	PSI/Wasserstein/KS; drift de error; latencia	Rendimiento de la versión aprobada.

Ciclo de detección de errores y evaluación del desempeño

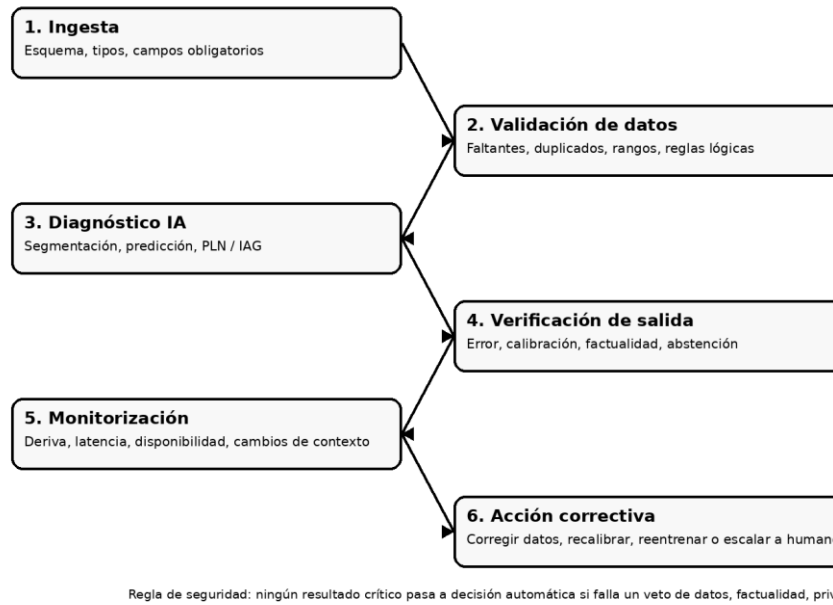


Figura 3C. Ciclo de detección de errores, monitorización y acción correctiva en el motor diagnóstico.

3.7.1. Sistema de alertas y detección de degradación

El sistema de alertas se diseña con cuatro estados: A0 (sin anomalías relevantes), A1 (advertencia), A2 (error que invalida una métrica concreta) y A3 (error crítico que bloquea la recomendación automatizada). Por ejemplo, un 8 % de registros duplicados puede activar A1; un campo clave de conversión con más de 20 % de faltantes puede activar A2; y la presencia de información personal no autorizada, fuga temporal o una tasa de error factual por encima del umbral definido activa A3. Los umbrales deben calibrarse por sector y volumen de datos, no importarse como constantes universales.

La detección de degradación se separa de la detección de desviación. Un cambio de distribución no implica necesariamente que el modelo haya empeorado; por eso se monitorizan de forma paralela métricas de datos y métricas de desempeño. La literatura reciente recomienda conectar señales de contexto, datos y rendimiento para convertir una anomalía estadística en una alerta accionable [31,32,34]. Cuando existe verdad de referencia retrasada, se calcula $\Delta F1$, ΔMAE , $\Delta Brier$ o la métrica primaria del modelo entre la ventana actual y la de referencia. Cuando todavía no hay etiquetas, las señales de desviación solo activan inspección, no una conclusión automática de pérdida de desempeño.

3.7.2. Detección de errores en datos y en el pipeline

Los errores de datos se detectan antes del entrenamiento y antes de cada inferencia. Se combinan reglas deterministas —tipos, dominios, unicidad, obligatoriedad, coherencia temporal y relaciones lógicas— con técnicas estadísticas y de IA para identificar valores atípicos y patrones improbables. La validación automática debe incorporar conocimiento experto y no depender únicamente de distribuciones históricas, porque una base histórica también puede contener errores sistemáticos [30]. El enfoque centrado en datos considera la calidad del conjunto de datos una parte constitutiva del desempeño del sistema, no una tarea previa y desconectada [35].

Tipo de error	Ejemplo en una PYME	Detector	Indicador de control	Acción
Esquema / tipo	fecha inválida, porcentaje > 1	reglas de esquema	tasa de registros inválidos	rechazar o corregir lote
Faltantes	sin identificador de campaña	completitud por campo	tasa de pérdidas	imputar solo si es justificable; si no, bloquear métrica
Duplicados	misma venta o interacción repetida	clave compuesta / similitud	tasa de duplicidad	deduplicar y auditar origen
Inconsistencia lógica	retención > 1 o clientes finales < nuevos	reglas de negocio	tasa de errores lógicos	bloquear cálculo afectado
Valor atípico	pico improbable de alcance	IQR, z-score robusto, Isolation Forest	tasa de atipicidad	revisar plataforma/campaña
Fuga temporal	variable futura en entrenamiento	valoración temporal	indicador de fuga	reconstruir particiones
Desviación	cambio de distribución de canal/cliente	KS, PSI/JSD/Wasserstein	tasa de desviación	investigar contexto y rendimiento
Error predictivo	caída de F1 o aumento de MAE	evaluación con etiquetas	Δ métrica	recalibrar/reentrenar
Error generativo	dato inventado o no respaldado	anclaje + revisión humana	tasa de error fáctica	abstenerse y escalar a humano

Tabla 5A: Taxonomía de errores y mecanismos de detección en el diagnóstico basado en IA.

3.7.3. Evaluación por componente y control de incertidumbre

Tarea	Métrica primaria	Métricas complementarias	Criterio de error
Clasificación de intención	Macro-F1	Exactitud balanceada, PR-AUC, matriz de confusión	aumento de FN/FP en clases críticas
Predicción de conversión	MAE o log-loss según salida	RMSE, R ² , sMAPE	error > línea base o intervalo inaceptable
Segmentación	silueta + estabilidad	Davies-Bouldin, ARI por remuestreo	clústeres inestables o no accionables
Probabilidad / riesgo	Brier	ECE, curva de calibración	sobre confianza o sub confianza
Pronóstico temporal	MAE temporal	sMAPE, MASE, cobertura de intervalo	fallo sistemático por ventana
IA generativa	tasa de factualidad	estabilidad, edición humana, abstención correcta	alucinación/factual error crítico
Sistema completo	IC-IA	latencia, disponibilidad, costo, alertas A2/A3	no superar meta de calidad

Tabla 5B: Métricas de desempeño y criterios de error por componente de IA.

Para decisiones con impacto empresarial se recomienda añadir intervalos de predicción o conjuntos de predicción cuando el tipo de modelo lo permita. La predicción conformal ofrece una vía agnóstica al modelo para cuantificar incertidumbre con garantías de cobertura bajo supuestos explícitos [33]. En este artículo se propone utilizarla como complemento en clasificación o regresión cuando el tamaño de la muestra sea suficiente; en muestras muy pequeñas, la salida debe priorizar intervalos bootstrap y reglas de abstención simples.

3.8. Índice de Calidad de la IA (IC-IA)

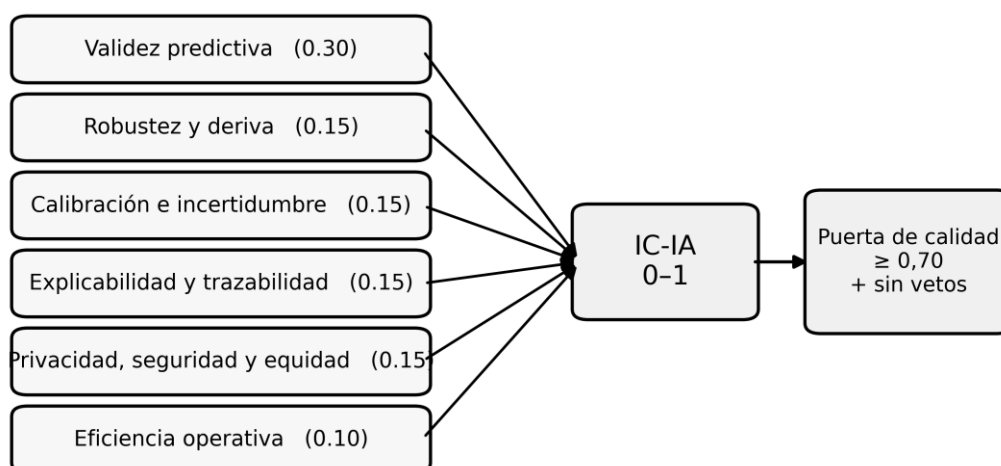
Se propone un indicador independiente para resumir la aptitud del componente algorítmico. Su objetivo es actuar como **puerta de calidad**, no como un sustituto de las métricas detalladas. Todos los componentes se normalizan entre 0 y 1. La formulación inicial es:

$$IC-IA = 0,30 \cdot V + 0,15 \cdot R + 0,15 \cdot C + 0,15 \cdot E + 0,15 \cdot G + 0,10 \cdot O$$

donde V = validez predictiva fuera de muestra; R = robustez y control de desviación; C = calibración e incertidumbre; E = explicabilidad y trazabilidad; G = gobernanza, privacidad, seguridad y equidad; y

O = eficiencia operativa. Las ponderaciones son **una propuesta de ingeniería**, no un resultado validado por expertos. Deben recalibrarse mediante Delphi/AHP y evidencia prospectiva. Se propone provisionalmente $IC-IA \geq 0,70$ para permitir recomendaciones automatizadas no críticas, siempre que los componentes de privacidad/seguridad y factualidad no incumplan umbrales de veto. El NIST recomienda gestionar la confiabilidad de IA generativa a lo largo del ciclo de vida [22], enfoque coherente con este diseño.

Índice de Calidad de la IA propuesto



Las ponderaciones son una propuesta de ingeniería y requieren calibración empírica/Delphi en PYMES.

Figura 3. Componentes y puerta de calidad del Índice de Calidad de la IA (IC-IA) propuesto.

Tabla 6: Operacionalización del IC-IA y umbrales piloto propuestos.

Componente	Ejemplos de evidencia	Umbral piloto orientativo*
V: validez predictiva	Mejora vs línea base; Macro-F1/RMSE/R ² fuera de muestra.	Modelo debe superar línea base; Macro-F1 $\geq 0,70$ cuando aplique.
R: robustez/desviación	Rendimiento bajo bootstrap, otra campaña/SME; PSI/Wasserstein.	Sin degradación material >10 % sin alerta; estabilidad de variables.
C: calibración/incertidumbre	Brier, ECE, cobertura de intervalos.	$ECE \leq 0,10$ o justificación; intervalos con cobertura nominal razonable.
E: explicabilidad/trazabilidad	SHAP/coeficientes; registro de versión, datos y parámetros.	100 % de decisiones auditables; explicación comprensible para gestor.
G: gobernanza/privacidad/seguridad	Minimización, base jurídica, controles, revisión de sesgo.	Sin incumplimientos críticos; veto ante fuga de datos o atributo prohibido.
O: eficiencia	Latencia, costo, disponibilidad, uso de memoria/CPU.	Compatible con recursos de la PYME y modo offline/lote cuando sea necesario.

*Los umbrales son hipótesis operativas para un piloto; no deben interpretarse como estándares universales ni como valores ya validados en PYMES cubanas.

3.9. Incertidumbre, sensibilidad y reglas de decisión

El IM-GPC tradicional produce un punto. Para decisiones reales se propone reportar una **distribución de incertidumbre**. Si un indicador procede de una proporción se re muestrean observaciones; si procede de una rúbrica, se modela la incertidumbre entre evaluadores; y las ponderaciones pueden perturbarse dentro de un rango definido. El resultado se expresa como mediana, intervalo de 95 % y probabilidad de pertenecer a cada nivel. Esta práctica evita interpretar 0,559 y 0,561 como estados organizacionales esencialmente distintos cuando la incertidumbre de medición es mayor que la diferencia.

Se realizó un análisis de sensibilidad exclusivamente con la matriz diagnóstica demostrativa: cada peso se perturbó de forma independiente en un rango uniforme de ± 20 % y luego se re normalizó; se generaron 200 000 vectores de ponderaciones con semilla fija. Este análisis no sustituye una validación estadística del constructo, pero permite conocer si pequeñas variaciones en el juicio de expertos alteran sustancialmente los valores publicados.

3.10. Diseño de validación prospectiva en PYMES cubanas

La validación directa debe realizarse en PYMES reales antes de afirmar eficacia externa. Se propone un estudio multicéntrico, longitudinal y pragmático con empresas de al menos tres sectores y dos provincias, evitando que un único ecosistema empresarial domine el aprendizaje. La unidad primaria de análisis es la empresa; campañas y meses son observaciones anidadas. Se recomienda una fase basal de tres a seis meses, una fase de implementación de seis meses y seguimiento posterior. El tamaño muestral debe calcularse a partir del cambio mínimo relevante del IM-GPC y de la correlación intraclase, no fijarse por conveniencia.

La hipótesis principal sería que la aplicación de la tecnología incrementa el IM-GPC respecto a la línea basal y mejora métricas de comunicación (TIA, TCC, retención) sin deteriorar seguridad, privacidad ni calidad de contenidos. El análisis primario puede utilizar modelos mixtos con intercepto aleatorio por empresa y efectos de tiempo, sector e intensidad de implementación. Para muestras pequeñas, se complementará con estimaciones bootstrap y pruebas no paramétricas pareadas. El desempeño de IA se evaluará fuera de muestra mediante leave-one-SME-out, de modo que la evidencia no dependa de memorizar patrones de una empresa.

4 Resultados

4.1. Resultado de la síntesis: tecnología orientada a PYMES

La síntesis de los documentos aportados y de la literatura reciente produjo una tecnología con dos productos simultáneos: **diagnóstico organizacional** e **informe de confiabilidad algorítmica**. El primero responde “qué tan madura es la comunicación digital y por qué”; el segundo responde “cuánto puede confiarse en la IA que llegó a esa conclusión”. La arquitectura conserva los cinco procesos y siete indicadores del antecedente nacional, pero modifica la instrumentación para tolerar datos escasos, heterogéneos y recolectados por lotes.

La adaptación a PYMES también cambia el criterio de éxito. No se exige que la empresa despliegue todos los módulos de IA. Una PYME puede alcanzar una gestión madura con analítica descriptiva sólida, decisiones documentadas y revisión humana, mientras que una organización con múltiples modelos generativos puede permanecer inmadura si carece de alineación, datos confiables o retención. La IA se trata como medio para mejorar capacidades, no como marcador automático de madurez.

La literatura reciente respalda esta decisión. Los estudios de transformación de PYMES enfatizan alineación, capacidades y progresión incremental [2–6], mientras el trabajo en comunicación corporativa

identifica la infraestructura y las estrategias de digitalización como componentes de madurez [8]. La integración propuesta conecta ambas corrientes con una medición específica de comunicación.

4.2. Casos diagnósticos demostrativos: ElectroStar y FoodAlimento

ElectroStar y FoodAlimento representan dos perfiles de PYME con necesidades comunicativas diferentes. ElectroStar concentra la interacción en consultas de disponibilidad, soporte y posventa; FoodAlimento combina comunicación de oferta, pedidos, disponibilidad y fidelización. Esta diferenciación permite discutir el diagnóstico en términos de procesos, no de sectores bancarios o institucionales. El motor recibe los siete indicadores normalizados, aplica controles de calidad, calcula IM-GPC, ejecuta reglas de veto y emite las tres brechas prioritarias junto con una recomendación proporcional al nivel de evidencia disponible.

Para verificar la consistencia de la formulación y del motor de diagnóstico se recalcularon seis mediciones de los casos demostrativos ElectroStar y FoodAlimento usando exactamente las ponderaciones del IM-GPC. La Tabla 7 muestra los indicadores de entrada y el resultado recalculado. La coincidencia aritmética dentro del redondeo esperado convierte esta matriz en una prueba unitaria útil: cualquier implementación informática que produzca resultados distintos debe considerarse defectuosa hasta identificar la causa.

Tabla 7: Matriz diagnóstica demostrativa y reproducción del IM-GPC en ElectroStar y FoodAlimento.

Medición	IAE	IPD	IIR	ICG	IRT	ISD	ICD	IM-GPC
ElectroStar C1	0.30	0.15	0.17	0.20	0.20	0.31	0.28	0.2090
ElectroStar C2-F1	0.46	0.25	0.33	0.31	0.27	0.39	0.35	0.3180
ElectroStar C2-F2	0.59	0.45	0.43	0.42	0.35	0.46	0.48	0.4347
FoodAlimento C1	0.25	0.16	0.17	0.21	0.18	0.31	0.22	0.1985
FoodAlimento C2	0.32	0.22	0.21	0.23	0.21	0.35	0.30	0.2411
FoodAlimento C3	0.35	0.27	0.23	0.22	0.23	0.35	0.32	0.2590

ElectroStar pasa de 0,209 en la primera campaña a 0,435 en la última fase analizada, un incremento absoluto de 0,226 y relativo cercano al 108 %. FoodAlimento avanza de 0,199 a 0,259, incremento absoluto de 0,061 y relativo de aproximadamente 30 %. Sin embargo, las reglas de veto impiden interpretar estos aumentos como madurez alta: los indicadores principales permanecen por debajo de los umbrales requeridos. Este ejemplo muestra por qué la lectura del índice debe considerar tanto el valor agregado como el perfil de indicadores.

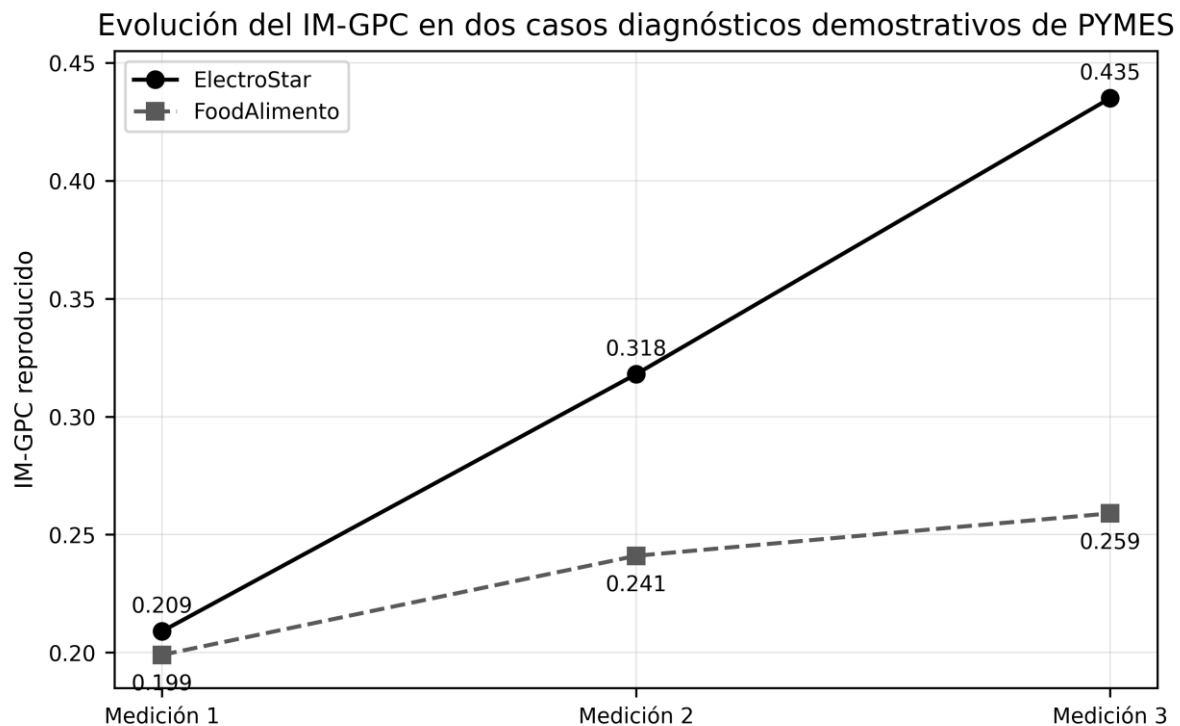


Figura 4. Evolución del IM-GPC en los casos diagnósticos demostrativos ElectroStar y FoodAlimento.

4.3. Perfil de cambio por indicador

La comparación entre primera y última medición evidencia patrones diferentes. En ElectroStar el mayor incremento relativo se observa en precisión/calidad de datos (0,15 a 0,45), seguido de interacción (0,17 a 0,43) y crecimiento (0,20 a 0,42). FoodAlimento presenta mejoras más discretas: la precisión de datos aumenta de 0,16 a 0,27, la alineación de 0,25 a 0,35 y las competencias de 0,22 a 0,32, mientras el crecimiento prácticamente se estanca (0,21 a 0,22). Esta divergencia apoya el uso de diagnósticos de brecha en lugar de comparar exclusivamente un índice global.

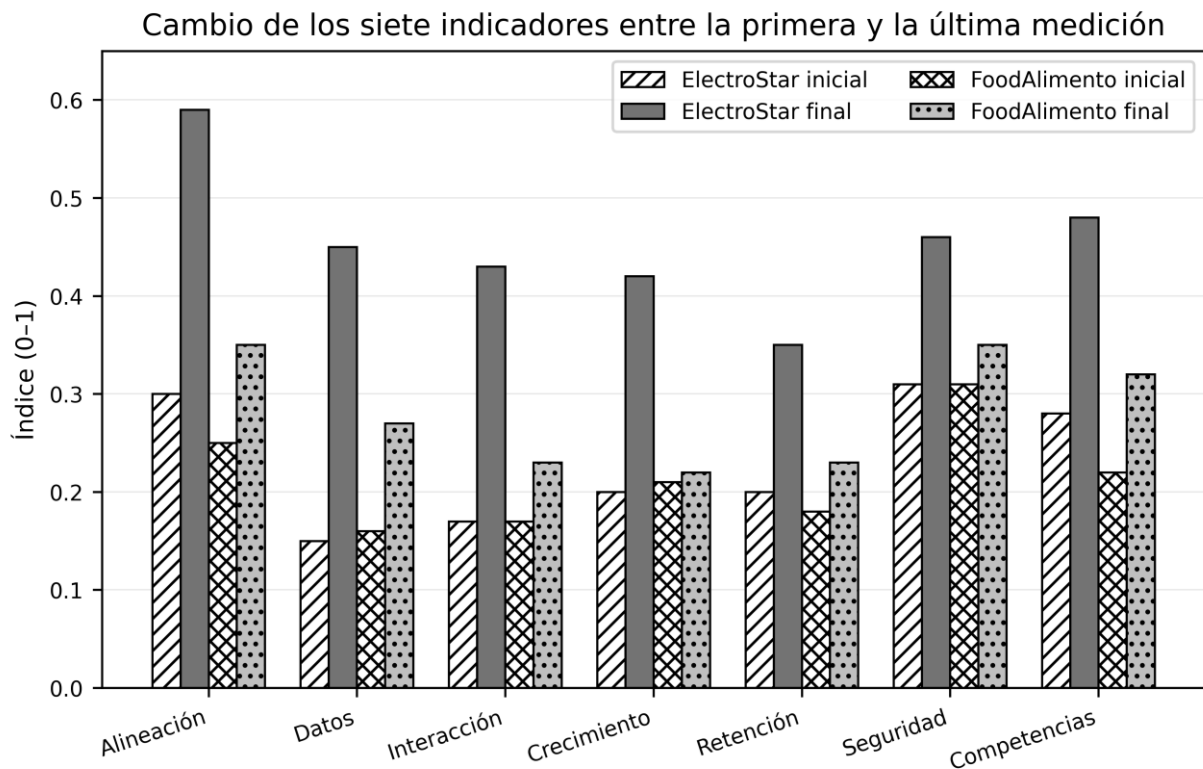


Figura 5. Cambio de los indicadores entre primera y última medición en ElectroStar y FoodAlimento.

Tabla 8: Cambio absoluto y relativo de los indicadores entre primera y última medición.

Indicador	ElectroStar Δ	ElectroStar cambio relativo	FoodAlimento Δ	FoodAlimento cambio relativo
Alineación estratégica	+0,29	+96,7 %	+0,10	+40,0 %
Precisión de datos	+0,30	+200,0 %	+0,11	+68,8 %
Interacción RRSS	+0,26	+152,9 %	+0,06	+35,3 %
Crecimiento clientes	+0,22	+110,0 %	+0,01	+4,8 %
Retención clientes	+0,15	+75,0 %	+0,05	+27,8 %
Seguridad digital	+0,15	+48,4 %	+0,04	+12,9 %
Competencias digitales	+0,20	+71,4 %	+0,10	+45,5 %

4.4. Sensibilidad de las ponderaciones

El análisis Monte Carlo confirmó que el valor del IM-GPC es poco sensible a perturbaciones moderadas de los pesos alrededor del vector original. Los intervalos del 95 % obtenidos fueron 0,205–0,213 para ElectroStar C1; 0,313–0,323 para ElectroStar C2-F1; 0,429–0,440 para ElectroStar C2-F2; 0,196–0,201 para FoodAlimento C1; 0,238–0,244 para FoodAlimento C2; y 0,255–0,263 para FoodAlimento C3. La clasificación según la lógica de veto permanece estable porque los indicadores principales no atraviesan los umbrales que habilitarían niveles superiores.

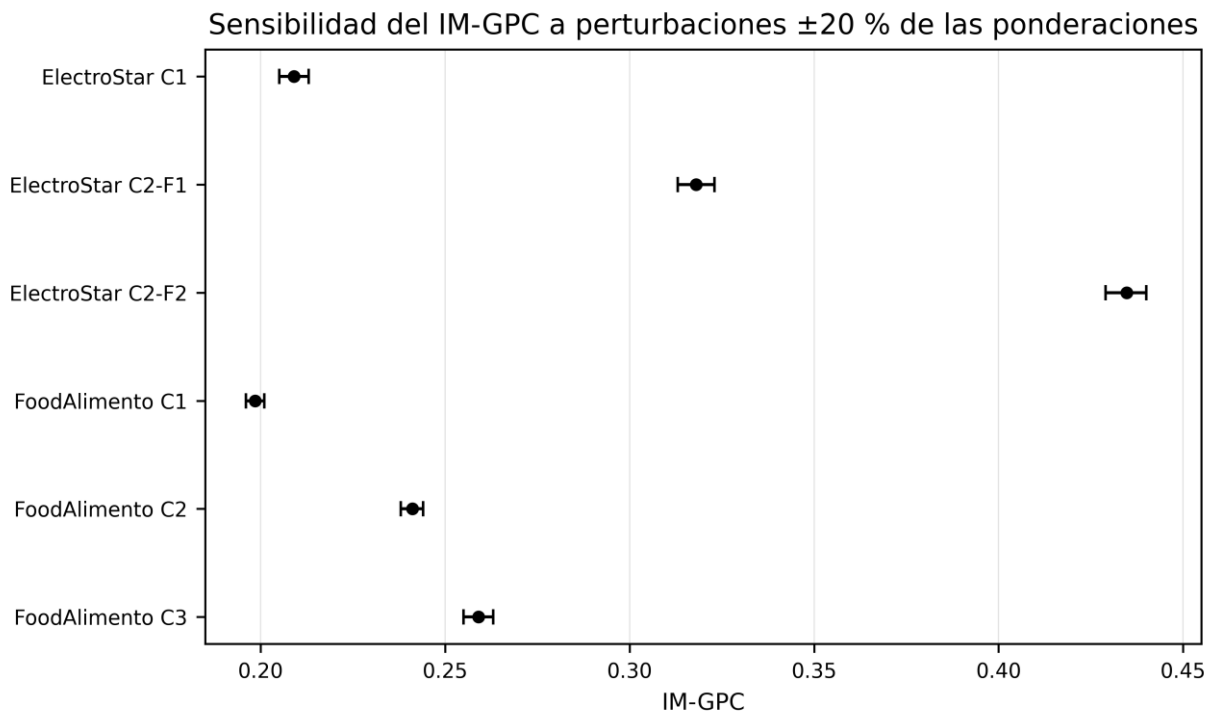


Figura 6. Intervalos de sensibilidad del IM-GPC ante perturbación $\pm 20\%$ de pesos y renormalización (200 000 simulaciones).

Este resultado no demuestra validez de criterio ni generalización a PYMES; demuestra algo más limitado y útil: **con los datos agregados disponibles, el orden y la magnitud general de los puntajes no son un artefacto frágil de pequeñas variaciones en los pesos**. La validación de ponderaciones para PYMES debe realizarse posteriormente con expertos y datos prospectivos.

4.5. Resultado metodológico: matriz de decisión madurez–calidad de IA

La incorporación del IC-IA produce una matriz de decisión con cuatro situaciones. Si madurez e IC-IA son bajos, la prioridad es mejorar datos/procesos y usar analítica descriptiva. Si la madurez es baja pero el IC-IA es alto, el sistema puede identificar brechas con confianza, pero las recomendaciones siguen requiriendo intervención organizacional. Si la madurez es alta y el IC-IA bajo, deben congelarse o limitarse automatizaciones hasta recalibrar el modelo. Solo cuando ambos son adecuados se justifica automatización progresiva con monitorización continua.

Tabla 9: Matriz de decisión combinando madurez organizacional y calidad de IA.

IM-GPC	IC-IA	Interpretación	Acción recomendada
Bajo	Bajo	Proceso inmaduro y algoritmo no confiable.	Capturar/mejorar datos; reglas simples; formación; no automatizar decisiones.
Bajo	Adecuado	Diagnóstico técnicamente confiable de brechas organizacionales.	Priorizar 2–3 brechas; piloto supervisado; medir cambio.
Moderado/alto	Bajo	Buena capacidad organizacional, herramienta algorítmica débil o degradada.	Mantener proceso humano; recalibrar/reentrenar; revisar drift y datos.
Moderado/alto	Adecuado	Capacidad organizacional y técnica compatibles.	Automatización gradual, A/B tests, monitorización y valoración periódica.

5 Discusión

5.1. Aporte conceptual y técnico

El aporte principal del trabajo es transformar un modelo de gestión comunicativa apoyado en IA en una tecnología diagnóstica falsable. La diferencia no es semántica. Una propuesta tecnológica debe declarar entradas, transformaciones, métricas, criterios de aceptación, condiciones de fallo y mecanismo de actualización. Los documentos de base contenían una arquitectura valiosa y un índice de madurez, pero la adaptación a PYMES requería explicitar cómo se evaluaría el rendimiento de los modelos y cómo se separarían los datos reales de escenarios contruados.

La decisión de mantener siete indicadores responde a un principio de parsimonia. Los modelos de madurez pueden crecer hasta volverse costosos de aplicar. En PYMES, cada indicador adicional implica captura, limpieza y gobernanza. El núcleo de siete variables cubre estrategia, datos, interacción, crecimiento, retención, seguridad y competencias; las métricas auxiliares propuestas enriquecen la explicación sin alterar de manera prematura el índice. Esta estrategia es coherente con literatura que recomienda digitalización gradual y contextual [2,3].

El segundo aporte es la separación IM-GPC/IC-IA. En la práctica empresarial se observa una tendencia a reportar R^2 , exactitud o adopción de una herramienta generativa como evidencia de transformación. Ello mezcla constructos. El IM-GPC mide una capacidad organizacional; el IC-IA mide la calidad del sistema que ayuda a diagnosticar o intervenir. La separación permite que un modelo sea rechazado, aunque la organización tenga alto desempeño y permite que un diagnóstico sea útil aun cuando la empresa se encuentre en un nivel muy bajo de madurez.

5.2. Implicaciones para las PYMES cubanas

La adaptación al contexto cubano debe partir de restricciones observables, no de una suposición de carencia tecnológica absoluta. La Política para la Transformación Digital y la Estrategia de IA aprobadas en 2024 establecen una dirección institucional favorable [26,27], pero las PYMES pueden experimentar conectividad intermitente, equipos heterogéneos y acceso desigual a servicios internacionales. Por ello, la arquitectura propuesta admite procesamiento local, archivos por lotes y herramientas de código abierto. La nube es opcional, no requisito estructural.

También es necesario distinguir **baja escala de datos** de **baja calidad de datos**. Una PYME puede tener pocos registros, pero bien definidos y longitudinales; en ese caso, modelos simples y análisis bayesiano/intervalos pueden aportar valor. Generar datos sintéticos puede ser útil para pruebas de software, balanceo controlado o privacidad, pero no debe emplearse para fabricar evidencia de desempeño. Cualquier conjunto sintético usado para entrenamiento debe evaluarse por fidelidad, privacidad y utilidad, y el conjunto de prueba debe contener observaciones reales cuando el objetivo es estimar rendimiento real.

La dimensión de seguridad adquiere importancia especial por la Ley 149/2022 [24]. Los mensajes privados, números de teléfono y datos de compra pueden contener información personal. El sistema debe trabajar con seudónimos, accesos por roles, cifrado, retención limitada y registros de valoración. Las salidas de IA generativa no deben copiar datos personales a servicios externos sin la base legal y contractual correspondiente. En PYMES, la simplicidad de los controles es una ventaja: 2FA, copias verificadas, mínimo privilegio, inventario de cuentas y protocolo de respuesta cubren una parte sustancial del riesgo operacional.

La Ley 162/2023 refuerza la necesidad de profesionalizar y gestionar estratégicamente la comunicación [25]. Desde esa perspectiva, el diagnóstico no es solo una herramienta de marketing.

Evalúa la capacidad de la empresa para coordinar objetivos, públicos, contenidos, información y responsabilidad. La IA puede acelerar esa coordinación, pero no sustituye la decisión gerencial ni la rendición de cuentas.

5.3. Interpretación de los casos diagnósticos demostrativos

La reproducción de los valores de ElectroStar y FoodAlimento tiene dos utilidades. Primero, demuestra que la fórmula y las ponderaciones publicadas son internamente consistentes. Segundo, ofrece un conjunto de prueba para la implementación informática: cualquier versión del motor que no reproduzca 0,209; 0,318; 0,435; 0,199; 0,241 y 0,259 con las entradas de la Tabla 7 presenta un error de implementación. Este tipo de prueba unitaria es sencillo y aumenta reproducibilidad.

La progresión más rápida de ElectroStar no debe interpretarse como evidencia de efectividad empresarial de la tecnología, pues ambos casos son demostrativos. Su utilidad es diagnóstica: permite observar cómo una misma fórmula distingue trayectorias, cómo las reglas de veto evitan clasificaciones excesivamente optimistas y cómo el perfil de brechas orienta la intervención. La validación externa deberá realizarse con PYMES cubanas reales, datos primarios y seguimiento longitudinal.

Los R^2 elevados reportados en anexos del estudio antecedente para modelos multivariados de madurez deben interpretarse con cautela en futuras aplicaciones. Cuando la variable objetivo es una combinación ponderada de variables que también se usan como predictores, existe dependencia matemática que puede inflar el ajuste. Por ello, en PYMES el valor científico de la predicción no debe juzgarse por predecir el propio índice construido a partir de sus componentes, sino por su capacidad para anticipar **resultados futuros independientes**: retención posterior, conversión, satisfacción, crecimiento cualificado o cambio de nivel en datos no vistos.

5.4. Métricas de IA: por qué R^2 y exactitud no bastan

La propuesta amplía de manera deliberada la evaluación. R^2 describe proporción de varianza explicada bajo ciertas condiciones, pero no informa magnitud de error en unidades útiles ni calibración. Dos modelos con R^2 similar pueden tener MAE muy distinto. En clasificación, accuracy puede ser engañosa si una categoría domina. Por ello se utiliza un conjunto mínimo de métricas complementarias y se exige evaluación fuera de muestra.

La calibración es especialmente relevante cuando las recomendaciones se presentan como probabilidades. Un sistema que estima 80 % de riesgo de abandono debe acertar aproximadamente en esa proporción dentro de grupos comparables; de lo contrario, las probabilidades no son adecuadas para priorizar recursos. Silva Filho et al. [21] ofrecen una base sólida para esta dimensión. Asimismo, la desviación debe vigilarse porque el comportamiento de públicos, plataformas y economía cambia; la detección de desviación [20] permite activar revisión antes de que el error se traduzca en decisiones repetidas.

En modelos generativos, la noción clásica de exactitud debe ampliarse. Un texto persuasivo puede ser gramaticalmente excelente y contener un precio desactualizado, una promesa no autorizada o una inferencia sobre un cliente que viola privacidad. Por eso se proponen factualidad, cumplimiento de marca, tasa de edición, alucinación crítica y aprobación humana. La gestión de riesgos de GenAI del NIST [22] apoya un marco multidimensional y de ciclo de vida.

5.5. Explicabilidad y gobernanza

La explicabilidad tiene dos niveles. El primero es global: qué variables contribuyen más al diagnóstico y si esa relación es estable. El segundo es local: por qué una campaña o segmento recibió determinada predicción. Modelos lineales permiten una explicación directa; modelos de árboles pueden

complementarse con SHAP. La explicación debe probarse con gestores: una visualización técnicamente correcta que no cambia o aclara decisiones no cumple el propósito organizacional.

La trazabilidad exige registrar versión de datos, fecha de corte, variables, transformación, algoritmo, hiperparámetros, métricas, persona que aprobó el despliegue y decisiones posteriores. Esta bitácora es viable en PYMES si se automatiza y constituye una defensa contra el uso acrítico de modelos. También permite reconstruir por qué cambió un diagnóstico y facilita valoraciones de privacidad y seguridad.

Los sistemas generativos deben poseer un inventario de prompts/plantillas aprobadas para tareas repetitivas, una base de conocimiento controlada cuando se generen respuestas factuales y reglas de escalamiento a persona. El objetivo no es eliminar creatividad, sino separar tareas de bajo riesgo —por ejemplo, proponer tres variantes de un titular— de tareas de alto riesgo —por ejemplo, responder sobre condiciones contractuales, datos personales o crisis reputacional—.

5.6. Implementación escalonada y costo

Para una PYME de baja madurez se propone un primer escalón sin modelos avanzados: inventario de canales, objetivos, diccionario de datos, captura mensual y dashboard de siete indicadores. El segundo escalón agrega segmentación y análisis de contenidos. El tercero incorpora predicción temporal y experimentos A/B. El cuarto integra automatización generativa supervisada y monitorización de desviación. El paso de un nivel al siguiente se basa en evidencia de calidad de datos e IC-IA, no en presión por adoptar la tecnología más reciente.

Esta lógica reduce costos y evita inversiones hundidas. La mayor parte de la solución puede implementarse con Python, pandas/Polars, scikit-learn, statsmodels, bibliotecas de explicabilidad y un repositorio local. Las PYMES que necesiten IAG pueden utilizar servicios externos o modelos locales según disponibilidad y requisitos de privacidad. La elección debe documentar costo por unidad de trabajo, latencia, conectividad y riesgo de dependencia.

6 Limitaciones y amenazas a la validez

La primera limitación es que ElectroStar y FoodAlimento son casos demostrativos contruidos para probar el procedimiento y no una muestra empírica independiente. Por tanto, el artículo no afirma que los cambios del IM-GPC hayan sido producidos por una intervención real en esas PYMES. Esta decisión fortalece la validez del trabajo: separa la verificación del motor diagnóstico de la futura demostración de eficacia en condiciones de uso.

La segunda limitación se refiere a validez del constructo. Los pesos de los siete indicadores fueron obtenidos mediante expertos en el estudio antecedente, pero su importancia relativa puede cambiar en PYMES y entre sectores. Un negocio B2B con pocos clientes de alto valor no debe ser penalizado del mismo modo que una empresa de consumo masivo por crecimiento de audiencia. La validación prospectiva deberá estimar invariancia por sector y, si es necesario, calibrar pesos sin perder comparabilidad.

La tercera amenaza es el carácter dinámico de plataformas y métricas. Definiciones de alcance, impresiones y engagement pueden variar entre redes. Por ello se propone guardar variables brutas y metadatos de plataforma, y definir una capa de normalización que pueda modificarse sin alterar los datos históricos. Las métricas basadas en APIs deben tener una alternativa por exportación manual.

La cuarta amenaza es dependencia matemática cuando se intenta predecir el IM-GPC a partir de sus propios componentes. Un alto R^2 en esa tarea no constituye validación externa. La evaluación futura debe usar resultados independientes y temporales. La quinta amenaza es automatización de contenido: la calidad lingüística de los LLM no garantiza veracidad, por lo que la evaluación humana y el control de fuentes son obligatorios.

Finalmente, el IC-IA y sus ponderaciones son una contribución propuesta, no validada. Su utilidad deberá evaluarse mediante expertos, estudios de concordancia y capacidad para anticipar incidentes o degradación de modelos. Los umbrales incluidos son criterios piloto y deben ser tratados como hipótesis de ingeniería.

Tabla 10: Principales amenazas a la validez y medidas de mitigación.

Amenaza	Riesgo	Mitigación propuesta
Sin datos primarios de PYMES	Sobre afirmar eficacia externa.	Presentar solo diseño y validación secundaria; estudio prospectivo multicéntrico.
Pesos transferidos de otras organizaciones	Sesgo sectorial en IM-GPC.	Delphi/AHP en PYMES; sensibilidad; calibración y análisis de invariancia.
Plataformas cambian métricas	Series no comparables.	Guardar datos brutos + definición/versionado de cada métrica.
Pocos datos	Sobreajuste y alta varianza.	Líneas base simples; regularización; bootstrap; validación temporal/por empresa.
Predicción circular del índice	R^2 inflado por construcción.	Predecir resultados futuros independientes y comparar con línea base.
Datos personales	Daño legal/reputacional.	Minimización, seudonimización, roles, cifrado, revisión jurídica.
IAG alucina o cambia tono	Información falsa/inconsistente.	RAG/base aprobada, revisión humana, tasa de alucinación crítica y bloqueo.
Desviación	Degradación silenciosa.	PSI/Wasserstein/KS + desviación de error; gatillos de reentrenamiento.

7 Conclusiones

Se desarrolló una tecnología basada en IA para el diagnóstico de la madurez de la comunicación digital de PYMES en Cuba a partir de una base metodológica nacional, literatura reciente y criterios de confiabilidad algorítmica. La propuesta mantiene el núcleo validado de siete indicadores para comunicación externa, pero lo complementa con métricas de comunicación interna orientadas a captar alineación de prioridades, adopción de mensajes, tiempos de respuesta, clima conversacional y aprendizaje digital.

La verificación secundaria reprodujo de forma exacta al redondeo los seis valores de la matriz diagnóstica utilizada para los casos demostrativos ElectroStar y FoodAlimento. El análisis de sensibilidad mostró, además, que perturbaciones de $\pm 20\%$ en los pesos no alteran sustancialmente los puntajes ni la interpretación bajo las reglas de veto. Este resultado apoya la consistencia matemática y la utilidad del conjunto como banco de pruebas del motor diagnóstico, pero no constituye validación externa en PYMES.

El principal aporte metodológico adicional es separar la madurez organizacional (IM-GPC) de la calidad del sistema de IA mediante el IC-IA. Esta separación obliga a evaluar validez predictiva, robustez, calibración, desviación, explicabilidad, privacidad y eficiencia. Un segundo aporte es la incorporación explícita de métricas internas, porque una mejora aparente en el frente externo rara vez se sostiene si la circulación interna de información es lenta, fragmentada o poco creíble.

La próxima etapa científica debe ser una validación prospectiva multicéntrica en PYMES cubanas, con medición basal, implementación, seguimiento, validación fuera de empresa y resultados independientes del propio índice. Hasta que esa etapa concluya, los escenarios cuantitativos de PYMES

contenidos en borradores previos deben considerarse ilustrativos. Esta delimitación fortalece la reproducibilidad y sitúa la propuesta en condiciones de ser probada, refutada y mejorada.

La utilidad práctica esperada es ofrecer a una PYME una respuesta accionable en cuatro niveles: dónde está, qué brecha explica su situación, qué intervención es proporcional a sus recursos y con qué grado de confianza técnica puede aceptarse la recomendación de IA. Esa combinación convierte el diagnóstico de madurez en un mecanismo de aprendizaje continuo y no en una clasificación estática.

8 Protocolo reproducible para una implementación piloto

8.1. Diccionario mínimo de datos

Para que el diagnóstico sea replicable entre empresas se requiere un diccionario mínimo. Cada registro de interacción debe poseer fecha/hora, canal, campaña, identificador seudónimo de cliente o conversación, tipo de evento, contenido o categoría de contenido, alcance/impresiones cuando exista, respuesta de la empresa, resultado de conversión y marca de consentimiento/base de tratamiento cuando corresponda. Los identificadores personales se mantienen en una tabla separada y no se usan como variables predictoras.

Tabla 11: Esquema mínimo de datos recomendado.

Campo	Tipo	Obligatorio	Uso
timestamp	fecha-hora	Sí	Series temporales y ventanas de campaña.
canal	categoría	Sí	Comparación por red/mensajería/web.
campana_id	categoría	Sí	Agrupación y atribución.
cliente_pid	seudónimo	Condicional	Retención, cohortes y frecuencia; nunca nombre/teléfono.
evento	categoría	Sí	me gusta, comentario, compartido, clic, mensaje, compra, etc.
alcance_impresiones	numérico	Si plataforma lo ofrece	Normalizar interacción.
tema_intencion	categoría	Desviación	PLN/segmentación; con control de calidad.
sentimiento	categoría/prob.	Desviación	Diagnóstico de percepción; evaluar contra humano.
respuesta_min	numérico	No	Tiempo a primera respuesta.
conversion	binario/categoría	No	Resultado independiente.
fuentes_version	texto	Sí	Trazabilidad y cambios de definición.

8.2. Secuencia de procesamiento

El procesamiento se ejecuta con una secuencia determinista. (1) validar esquema y tipos; (2) eliminar duplicados y registrar pérdidas; (3) seudonimizar; (4) construir variables por ventana temporal; (5) calcular los siete indicadores con su evidencia; (6) estimar IM-GPC y nivel con vetos; (7) ejecutar módulos de IA que cuenten con volumen suficiente; (8) evaluar cada modelo con partición adecuada; (9) calcular IC-IA; (10) producir informe de brechas y recomendaciones; (11) guardar versión y métricas; y (12) monitorizar drift y resultados reales. Cada paso genera un artefacto auditable.

Una implementación informática debe incluir pruebas unitarias con la Tabla 7. La función de cálculo del IM-GPC debe devolver los seis valores reproducidos dentro de una tolerancia de 10^{-6} antes de utilizar datos de empresas. Las transformaciones de plataforma deben tener pruebas independientes. Los modelos no deben pasar a producción si el pipeline de datos contiene campos críticos faltantes por encima del umbral definido o si la partición de validación no respeta el tiempo/empresa.

8.3. Tablero de decisión

El tablero para un gerente de PYME no debe mostrar decenas de métricas sin jerarquía. Se propone una portada con: IM-GPC y nivel; intervalo de incertidumbre; tres brechas principales; tendencia de TIA, TCC y retención; IC-IA; estado de privacidad/seguridad; y una recomendación prioritaria. Un segundo nivel permite explorar indicadores, segmentos y explicaciones del modelo. La información técnica de hiperparámetros se conserva para valoración, no ocupa la vista ejecutiva.

8.4. Reglas de monitorización y reentrenamiento

Se propone monitorización mensual para PYMES con actividad continua y por campaña para aquellas de actividad estacional. Debe activarse revisión cuando: (a) el rendimiento fuera de muestra cae más de 10 % respecto a la versión aprobada; (b) PSI o una distancia de distribución supera el umbral calibrado; (c) el ECE empeora de forma sostenida; (d) aparece una nueva categoría de consulta que excede el 5 % del tráfico; (e) cambia una política de plataforma; o (f) ocurre un incidente de privacidad/seguridad. Reentrenar automáticamente no es la respuesta por defecto: primero se determina si el cambio corresponde a datos, negocio o entorno.

8.5. Criterios de éxito del piloto

El piloto se considerará técnicamente exitoso si: (1) el pipeline procesa al menos 95 % de registros elegibles sin errores no explicados; (2) el IM-GPC es reproducible; (3) los modelos superan líneas bases fuera de muestra y alcanzan la puerta IC-IA o permanecen explícitamente en modo asistido; (4) no se registran incumplimientos críticos de privacidad/seguridad; y (5) los gestores califican las recomendaciones como comprensibles y accionables. El éxito organizacional se evalúa por cambio en madurez y resultados independientes, no por número de herramientas de IA instaladas.

9 Referencias

- [1] R. Sera, B. Pupo, and R. Velázquez. Modelo conceptual y procedimiento para la gestión de la comunicación digital externa en organizaciones cubanas mediante técnicas de inteligencia artificial. *Documento de tesis*, Universidad de Holguín, Cuba, 2025. En Academia.edu
- [2] G.H. Sagala and D. Óri. Toward SMEs digital transformation success: a systematic literature review. *Information Systems and e-Business Management*, 22:667–719, 2024. doi: 10.1007/s10257-024-00682-2.
- [3] T. Yuwono, A. Suroso, and W. Novandari. Information and communication technology in SMEs: a systematic literature review. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 13:31, 2024. doi: 10.1186/s13731-024-00392-6.
- [4] E.B. Gutiérrez Navas, J.E. Sarmiento Suarez, J. Ramírez Montañez, and Y.A. Rincón Quintero. Determining factors for the digitization of micro, small, and medium-sized enterprises (MSMEs) in Ibero-America. *Journal of Innovation & Knowledge*, 10(1):100631, 2025. doi: 10.1016/j.jik.2024.100631.
- [5] L. Broccardo, A. Tenucci, R. Agarwal, and S.M. Alshibani. Steering digitalization and management control maturity in small and medium enterprises (SMEs). *Technological Forecasting and Social Change*, 204:123446, 2024. doi: 10.1016/j.techfore.2024.123446.

- [6] L. Oldemeyer, A. Jede, and F. Teuteberg. Investigation of artificial intelligence in SMEs: a systematic review of the state of the art and the main implementation challenges. *Management Review Quarterly*, 75:1185–1227, 2025. doi: 10.1007/s11301-024-00405-4.
- [7] K. Rajaram and P.N. Tinguely. Generative artificial intelligence in small and medium enterprises: Navigating its promises and challenges. *Business Horizons*, 67(5):629–648, 2024. doi: 10.1016/j.bushor.2024.05.008.
- [8] J. Brockhaus, A. Buhmann, and A. Zerfass. Digitalization in corporate communications: understanding the emergence and consequences of CommTech and digital infrastructure. *Corporate Communications: An International Journal*, 28(2):274–292, 2023. doi: 10.1108/CCIJ-03-2022-0035.
- [9] T. Weller and I. Lock. Automated Communication’s Impact on Strategic Communication: Implications from a Systematic Review. *International Journal of Strategic Communication*, 19(1):13–34, 2025. doi: 10.1080/1553118X.2024.2379501.
- [10] J. Hohenstein, R.F. Kizilcec, D. DiFranzo, Z. Aghajari, H. Mieczkowski, K. Levy, M. Naaman, J. Hancock, and M.F. Jung. Artificial intelligence in communication impacts language and social relationships. *Scientific Reports*, 13:5487, 2023. doi: 10.1038/s41598-023-30938-9.
- [11] D. Grewal, C.B. Satormino, T. Davenport, and A. Guha. How generative AI is shaping the future of marketing. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 53:702–722, 2025. doi: 10.1007/s11747-024-01064-3.
- [12] G.J. Kim and K. Namkoong. Developing the Digital Health Communication Maturity Model: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, 27:e68344, 2025. doi: 10.2196/68344.
- [13] I. de Farias Junior, S. Marczak, R. Santos, C. Rodrigues, and H. Moura. C2M: a maturity model for the evaluation of communication in distributed software development. *Empirical Software Engineering*, 27:188, 2022. doi: 10.1007/s10664-022-10211-9.
- [14] L. de Armas Granado, E. Díaz Monjiotti, and G.E. Reyes León. TETR4DIG: modelo conceptual y evaluación de madurez del cambio organizacional enfocado en la transformación digital. *Revista Cubana de Transformación Digital*, 3(3):e177, 2022.
- [15] J. Salminen, M. Mustak, M. Sufyan, and B.J. Jansen. How can algorithms help in segmenting users and customers? A systematic review and research agenda for algorithmic customer segmentation. *Journal of Marketing Analytics*, 11:677–692, 2023. doi: 10.1057/s41270-023-00235-5.
- [16] J. Gao, A.B. Siddik, S. Khawar Abbas, M. Hamayun, M. Masukujjaman, and S.S. Alam. Impact of E-Commerce and Digital Marketing Adoption on the Financial and Sustainability Performance of MSMEs during the COVID-19 Pandemic: An Empirical Study. *Sustainability*, 15(2):1594, 2023. doi: 10.3390/su15021594.
- [17] A.-A.A. Sharabati, A.A.A. Ali, M.I. Allahham, A.A. Hussein, A.F. Alheet, and A.S. Mohammad. The Impact of Digital Marketing on the Performance of SMEs: An Analytical Study in Light of Modern Digital Transformations. *Sustainability*, 16(19):8667, 2024. doi: 10.3390/su16198667.
- [18] J.-F. Fondevila-Gascón, A. Huamanchumo, R. Martín-Guart, and Ó. Gutiérrez-Aragón. El chatbot como factor de éxito comunicativo, de marketing y empresarial: análisis empírico. *Correspondencias & Análisis*, 19:47–70, 2024. doi: 10.24265/cian.2024.n19.02.
- [19] J. Hagelstein, S. Einwiller, and A. Zerfass. The ethical dimension of public relations in Europe: Digital channels, moral challenges, resources, and training. *Public Relations Review*, 47(4):102063, 2021. doi: 10.1016/j.pubrev.2021.102063.
- [20] F. Hinder, V. Vaquet, and B. Hammer. One or two things we know about concept drift—a survey on monitoring in evolving environments. Part A: detecting concept drift. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 7:1330257, 2024. doi: 10.3389/frai.2024.1330257.
- [21] T. Silva Filho, H. Song, M. Perello-Nieto, R. Santos-Rodriguez, M. Kull, and P. Flach. Classifier calibration: a survey on how to assess and improve predicted class probabilities. *Machine Learning*, 112:3211–3260, 2023. doi: 10.1007/s10994-023-06336-7.

- [22] C. Autio, R. Schwartz, J. Dunietz, S. Jain, M. Stanley, E. Tabassi, P. Hall, and K. Roberts. *Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile*. NIST AI 600-1, National Institute of Standards and Technology, 2024. doi: 10.6028/NIST.AI.600-1.
- [23] Consejo de Estado de la República de Cuba. Decreto-Ley 46/2021, Sobre las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, No. 94 Ordinaria, 19 de agosto de 2021. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/decreto-ley-46-de-2021-de-consejo-de-estado>
- [24] Asamblea Nacional del Poder Popular. Ley 149/2022, De Protección de Datos Personales. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, No. 90 Ordinaria, 25 de agosto de 2022.
- [25] Asamblea Nacional del Poder Popular. Ley 162/2023, De Comunicación Social; y Decreto 101/2024, Reglamento de la Ley 162. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*, No. 48 Ordinaria, 5 de junio de 2024. <https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/comunicacion-social>
- [26] J.-Y. Li, R. Sun, W. Tao, and Y. Lee. Employee coping with organizational change in the face of a pandemic: The role of transparent internal communication. *Public Relations Review*, 47(1):101984, 2021. doi: 10.1016/j.pubrev.2020.101984.
- [27] I. Zervas, E. Stiakakis, I. Athanasiadis, and G. Tsekouropoulos. A holistic approach to define important digital skills for the digital society. *Societies*, 14(7):127, 2024. doi: 10.3390/soc14070127.
- [28] K. Kelm and M. Johann. Artificial intelligence in corporate communications: determinants of acceptance and transformative processes. *Corporate Communications: An International Journal*, 30(1):124–138, 2025. doi: 10.1108/CCIJ-04-2024-0051.
- [29] G.G. Jadhav, S.V. Gaikwad, and D. Bapat. A systematic literature review: digital marketing and its impact on SMEs. *Journal of Indian Business Research*, 15(1):76–91, 2023. doi: 10.1108/JIBR-05-2022-0129.
- [30] F. Bachinger, L. Ehrlinger, G. Kronberger, and W. Wöss. Data Validation Utilizing Expert Knowledge and Shape Constraints. *Journal of Data and Information Quality*, 16(2), 13:1–27, 2024. doi: 10.1145/3661826.
- [31] M.R. Haas and L. Sibbald. Measuring data drift with the unstable population indicator. *Data Science*, 7(1):1–12, 2024. doi: 10.3233/DS-240059.
- [32] J. Céspedes Sisniega, V. Rodríguez-Benítez, G. Moltó, and Á. López García. Efficient and scalable covariate drift detection in machine learning systems with serverless computing. *Future Generation Computer Systems*, 161:174–188, 2024. doi: 10.1016/j.future.2024.07.010.
- [33] A.N. Angelopoulos and S. Bates. Conformal Prediction: A Gentle Introduction. *Foundations and Trends in Machine Learning*, 16(4):494–591, 2023. doi: 10.1561/22000000101.
- [34] J. Leest, C. Raibulet, P. Lago, and I. Gerostathopoulos. From Tea Leaves to System Maps: A Survey and Framework on Context-Aware Machine Learning Monitoring. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 51(12):3218–3246, 2025. doi: 10.1109/TSE.2025.3602520.
- [35] P. Singh. Systematic review of data-centric approaches in artificial intelligence and machine learning. *Data Science and Management*, 6(3):144–157, 2023. doi: 10.1016/j.dsm.2023.06.001.