

Sistemas RAG aplicados al aseguramiento de reportes de sostenibilidad ambiental en emisores chilenos: diseño metodológico y comparación con expertos humanos

Luis A. Pinuer

lpinuerp@santotomas.cl

Facultad de Economía y Negocios, Universidad
Santo Tomás, Santiago, Chile.

Francisco A. Nova

francisconovaro@santotomas.cl

Facultad de Economía y Negocios, Universidad
Santo Tomás, Santiago, Chile.

INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad se ha consolidado como eje de los mercados financieros. Desde el Informe Brundtland (1987), que define el desarrollo sostenible como satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las futuras, las empresas incorporan dimensiones ambientales, sociales y de gobernanza en sus reportes. La creación del International Sustainability Standards Board y la emisión de IFRS S1 y S2 marcan un hito en la estandarización global al exigir comparabilidad, materialidad y trazabilidad en la divulgación de riesgos y oportunidades. En América Latina, Chile asume un rol pionero con la NCG 461 de la Comisión para el Mercado Financiero, obligatoria desde el ejercicio 2022, que transforma el modo en que se reporta el desempeño ambiental y climático.

La literatura indica que los compromisos ASG inciden en la percepción de riesgo, la relación con inversionistas y el valor corporativo (Froomean, 1997; Goll y Rasheed, 2004; Margolis y Walsh, 2009; Nova Rodríguez, 2024). En este contexto, proponemos evaluar el uso de inteligencia artificial para fortalecer el aseguramiento de reportes. En particular, aplicamos modelos de lenguaje de gran escala integrados en arquitecturas de Retrieval-Augmented Generation

y comparamos sus resultados con la búsqueda realizada por expertos humanos. La propuesta no reemplaza el juicio experto, sino que actúa como herramienta complementaria para mejorar eficiencia, consistencia y trazabilidad en la verificación del cumplimiento regulatorio.

MARCO TEÓRICO

A nivel global, los marcos de sostenibilidad convergen hacia estándares comunes: IFRS S1 y S2 del ISSB fijan lineamientos para divulgar riesgos y oportunidades, con foco en riesgo climático, emisiones y planes de transición, mientras los GRI Standards (2023) siguen siendo referencia para reportes de impacto y los Principios OCDE-G20 (2023) refuerzan transparencia y gestión ética de riesgos.

En Chile, la CMF avanzó con la NCG 461 (2022), que exige reportes ASG a emisores regulados, y con la NCG 519 (2024), que incorpora IFRS S1/S2 y los hace obligatorios desde 2026, alineando el país con estándares internacionales. En este contexto, la divulgación de sostenibilidad es estratégica: la transición desde el Triple Bottom Line hacia estándares integrados transformó la comunicación del desempeño económico, social y ambiental (Elkington, 1998). Las me-

memorias anuales se consolidan como vehículo obligatorio que integra criterios ASG, reduce asimetrías de información y mejora comparabilidad y rendición de cuentas ante inversionistas y reguladores.

Desde el plano conceptual, varias teorías fundamentan la rendición de cuentas en sostenibilidad: Stakeholders (Freeman, 1984) exige responder a múltiples grupos de interés para sostener legitimidad y confianza; Legitimidad destaca el “contrato social” dinámico (Dowling y Pfeffer, 1975); Señal sostiene que reportes ASG reducen asimetrías si las señales son creíbles (Spence, 1973; Belfanti y Sader, 2021); y Agencia explica cómo los reportes alinean intereses entre propietarios y gestores, complementado por el valor compartido que integra beneficios económicos y sociales (Jensen y Meckling, 1976; Porter y Kramer, 2011).

La evidencia empírica confirma el vínculo ASG-valor: las prácticas sostenibles mejoran percepción de riesgo, competitividad y resiliencia, aunque sus costos iniciales pueden afectar la rentabilidad de corto plazo (Chen et al., 2021; Nova Rodríguez, 2024). Esto refuerza la centralidad de estándares y marcos de divulgación para orientar decisiones y fortalecer la credibilidad del reporte corporativo.

En este escenario, emergen nuevas herramientas tecnológicas que fortalecen la verificabilidad y trazabilidad de la información. Los modelos de lenguaje de gran escala (LLMs), combinados con arquitecturas de Retrieval-Augmented Generation (RAG), muestran ventajas en fact-checking y aseguramiento documental (AbdulKhaliq et al., 2024; James et al., 2025). Estudios recientes demuestran que el diseño robusto de técnicas de segmentación y recuperación híbrida es crítico para garantizar precisión y relevancia (Wanninger et al., 2025; Wang et al., 2024). Estos avances sugieren que RAG puede aplicarse como un mecanismo innovador para el aseguramiento de reportes de sostenibilidad, complementando el juicio experto con eficiencia y escalabilidad.

METODOLOGÍA

Este estudio adopta un diseño mixto en dos fases y con contraste humano-máquina. Como antecedente metodológico se toma el índice de

divulgación propuesto por Nova Rodríguez para el retail chileno (2024), construido por convergencia normativa (NCG 461, GRI, Principios OCDE/G20), medición por análisis de contenido y codificación dicotómica (1 = presencia; 0 = ausencia), validado con Alfa de Cronbach. Sobre esa base, acotamos el estudio a la dimensión ambiental. Los ítems ambientales incluyen: objetivos estratégicos vinculados a ODS, indicadores formales, y aspectos operativos ambientales (emisiones, energía, agua, residuos y planes de transición climática).

Fase 1: línea base manual (índice ambiental)

La codificación manual experta se realiza sobre memorias anuales y reportes de sostenibilidad. Cada ítem se marca 1/0 siguiendo la tradición en divulgación corporativa (Cooke, 1989; Tubay & De León, 2020). Se estiman subíndices por categoría y un índice global ambiental por promedio simple, reportando consistencia interna (Alfa) y estadísticas descriptivas. Esta línea base ofrece un referente confiable para el contraste posterior con la IA.

Fase 2: verificación automatizada con LLM+RAG

La segunda fase implementa un sistema de Retrieval-Augmented Generation (RAG) apoyado en Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLMs) para identificar los ítems ambientales en las memorias anuales con evidencia auditável. Este enfoque combina comprensión semántica, recuperación documental y trazabilidad de fuentes, fortaleciendo la verificación automatizada de reportes. El flujo consta de cuatro etapas (Fig 1):

1. Segmentación (*chunking*) y trazabilidad:

Los documentos en formato PDF se convierten a texto y se dividen en fragmentos (*chunking*) que conservan metadatos de página, párrafo y sección, lo que permite reconstruir la procedencia exacta de la evidencia citada por el modelo (Lewis et al., 2020). En paralelo, las consultas o queries que representan los descriptores de los indicadores ambientales son procesadas por un modelo GPT-4o que actúa como router, decidiendo si la búsqueda se aborda mediante recuperación léxica, semántica o híbrida, según la naturaleza de la consulta. Cuando la pre-

- guna es ambigua o general, el modelo utiliza query augmentation para parafrasear y generar cinco reformulaciones que amplían la cobertura de búsqueda (Lewis et al., 2020; Chen et al., 2023).
- 2. Recuperación (RAG):** Para “buscar” pasajes relevantes usaremos dos miradas complementarias:
- Recuperación semántica:** Cada fragmento se transforma en un vector de *embeddings* utilizando el modelo paraphrase-multilingual-MiniLM-L12-v2, capturando su significado conceptual y permitiendo buscar por ideas más que por coincidencias literales.
- Recuperación léxica:** En paralelo, se genera un índice **TF-IDF**, que privilegia coincidencias exactas de términos, especialmente útil para lenguaje normativo y técnico.
- Ambas señales se combinan mediante un parámetro α , donde $\alpha = 1$ prioriza la similitud léxica y $\alpha = 0$ privilegia la semántica, optimizando el equilibrio entre precisión y cobertura en dominios regulatorios (Zhang et al., 2023).
- 3. Re-rankeo fragmentos recuperados:** Los candidatos recuperados se vuelven a ordenar con un modelo CrossEncoder (ms-marco-MiniLM-L-6-v2), que evalúa la relación entre cada par *consulta-fragmento* y asigna una puntuación de relevancia. Este paso refina la relevancia de los fragmentos pasados al modelo de decisión (Nogueira & Cho, 2019).
- 4. Decisión LLM con evidencia:** Finalmente, el LLM (gpt-3.5-turbo o gpt-4o) procesa solo los pasajes re-rankeados y emite un dictamen estructurado, compuesto por una respuesta explicativa breve y una clasificación binaria de cumplimiento (1/0). Este diseño obliga al modelo a basar su decisión únicamente en la evidencia recuperada, reduciendo alucinaciones y fortaleciendo la verificabilidad (Shuster et al., 2021; Chen et al., 2023).

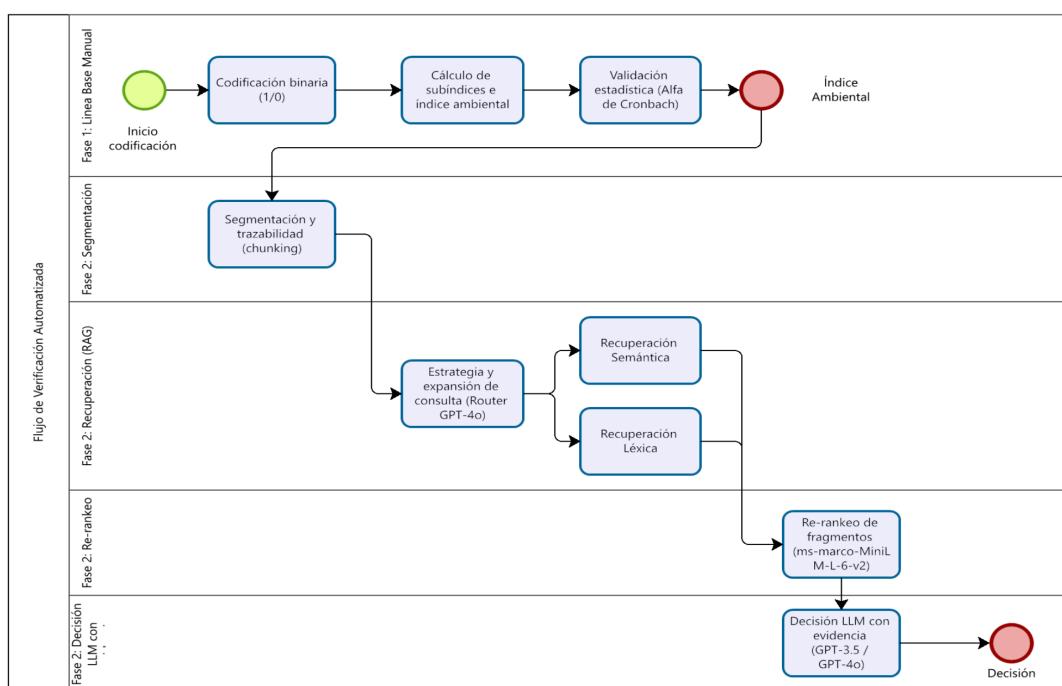


Fig1: Flujo de verificación automatizada

Estrategia de análisis y validación

Se compararán los resultados la búsqueda manual con los del pipeline en términos cuantitativos y además de un análisis cualitativo de errores (falsos positivos por coincidencia literal irrelevante; falsos negativos por sinonimia o dispersión documental). El objetivo es evaluar si la IA complementa el aseguramiento experto mejorando eficiencia, trazabilidad y estandarización en la verificación ambiental, sin sustituir el juicio profesional.

RESULTADOS ESPERADOS

Se espera que el sistema RAG supere a la búsqueda puramente léxica en recuperación de evidencia y concordancia con el juicio experto. La coincidencia debería ser mayor en indicadores ambientales estandarizados, mientras que los de carácter cualitativo presentarán más discrepancias, requiriendo interpretación humana. La expectativa es que este enfoque contribuya a una reducción significativa de las alucinaciones, dado que cada respuesta del modelo deberá estar sustentada en citas verificables. Asimismo, se prevé que el uso de chunking semántico con solapes y metadatos regulatorios aumente la robustez del sistema frente a la variabilidad terminológica y estructural de los reportes.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES PRELIMINARES

El diseño metodológico muestra que RAG es viable como herramienta de aseguramiento interno frente a las nuevas exigencias de sostenibilidad en Chile: aporta escalabilidad, trazabilidad y eficiencia, sin sustituir la revisión experta. Las principales limitaciones son: calidad en la extracción de datos desde documentos digitales y escaneados, la heterogeneidad de los reportes y la variación sectorial del lenguaje, además de depender de una verdad de referencia curada por expertos. Como línea futura, se propone extender el análisis a otros países de América Latina con marcos regulatorios convergentes.

REFERENCIAS

- Abdulkhaliq, M., et al. (2024). Integrating retrieval-augmented generation into fact-checking pipelines improves veracity predictions in political and news domains. *arXiv preprint*.
- Belfanti, M. P., & Sader, G. (2021). Factores explicativos del endeudamiento en pymes argentinas. En VI Congreso de Ciencias Económicas; X Congreso de Administración; VII Encuentro Internacional de Administración del Centro de la República. Universidad Nacional de Villa María.
- Chen, L., Yuan, T., Cebula, R. J., et al. (2021). Cumplimiento de las responsabilidades ESG y desempeño de la empresa: ¿juego de suma cero o mutuamente beneficioso? *Sustainability*, 13(19), 1–17.
- Chen, L., Song, M., & Sun, J. (2023). Harnessing retrieval-augmented generation for trustworthy AI. *arXiv preprint arXiv:2302.07842*.
- Comisión para el Mercado Financiero. (2021). Norma de Carácter General N.º 461. https://www.cmfchile.cl/normativa/ngc_461_2021.pdf
- Comisión para el Mercado Financiero. (2024). Norma de Carácter General N.º 519. https://www.cmfchile.cl/normativa/ngc_519_2024.pdf
- Cooke, T. E. (1989). Disclosure in the corporate annual reports of Swedish companies. *Accounting and Business Research*, 19(74), 113–124. <https://doi.org/10.1080/00014788.1989.9728841>
- Dowling, J., & Pfeffer, J. (1975). Organizational legitimacy: Social values and organizational behavior. *Pacific Sociological Review*, 18(1), 122–136.
- Elkington, J. (1998). Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. *Environmental Quality Management*, 8(1), 37–51.
- Freeman, R. E. (1984). Strategic management: A stakeholder approach. Pitman.
- Frooman, J. (1997). Socially irresponsible and illegal behavior and shareholder wealth: A meta-analysis. *Business & Society*, 36(3), 221–249.

- Global Reporting Initiative. (2021). GRI Standards: Consolidated set (2021). GRI.
- Goll, I., & Rasheed, A. A. (2004). The moderating effect of environmental munificence and dynamism on the relationship between discretionary social responsibility and firm performance. *Journal of Business Ethics*, 49(1), 41–54.
- IFRS Foundation. (2023a). IFRS S1: General requirements for disclosure of sustainability-related financial information. <https://www.ifrs.org/issued-standards/ifrs-sustainability-standards-navigator/ifrs-s1-general-requirements/>
- IFRS Foundation. (2023b). IFRS S2: Climate-related disclosures. <https://www.ifrs.org/issued-standards/ifrs-sustainability-standards-navigator/ifrs-s2-climate-related-disclosures/>
- James, A., Trovati, M., & Bolton, S. (2025). Retrieval-Augmented Generation to generate knowledge assets and creation of action drivers. *Applied Sciences*, 15(11), 6247. <https://doi.org/10.3390/app15116247>
- Jensen, M. C., & Meckling, W. H. (1976). Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. *Journal of Financial Economics*, 3(4), 305–360. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X)
- Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Karpukhin, V., Goyal, N., Kužma, A., ... Riedel, S. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 33, 9459–9474.
- Margolis, J. D., Elfenbein, H. A., & Walsh, J. P. (2009). *Does it pay to be good... and does it matter? A meta-analysis of the relationship between corporate social and financial performance*. SSRN Electronic Journal. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1866371>
- Nogueira, R., & Cho, K. (2019). Passage re-ranking with BERT. arXiv preprint arXiv:1901.04085.
- Nova Rodríguez, F. A. (2024). Evaluación de la relación entre la sostenibilidad y el desempeño de las empresas del retail en el mercado de capitales chileno. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E68), 75–98.
- OECD. (2023). OECD principles of corporate governance. OECD Publishing.
- Porter, M. E., & Kramer, M. R. (2011). Creating shared value. *Harvard Business Review*, 89(1/2), 62–77.
- Shuster, K., Ju, D., Roller, S., Dinan, E., & Weston, S. (2021). Retrieval augmentation reduces hallucination in conversation. Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021, 3789–3803.
- Spence, M. (1973). Job market signaling. *The Quarterly Journal of Economics*, 87(3), 355–374.
- Tubay, J. B., & De Leon, M. V. (2020). Website sustainability disclosure analysis: A case of publicly-listed mining companies in the Philippines. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(1), 23–30.
- Wang, D., Yao, L., Sun, R., Zhou, X., Gao, Q., & Jiang, T. (2024). Enhancement of the performance of large language models in diabetes education using retrieval-augmented generation: The RISE framework. *Journal of Medical Internet Research*, 26, e58041.
- Wanninger, T., et al. (2025). Retrieval-Augmented Generation evaluation in the era of LLMs: A comprehensive survey of evaluation methods. arXiv preprint.
- Zhang, S., Zhao, H., Zhou, X., & Zhang, Y. (2023). Hybrid retrieval for robust question answering. *Information Processing & Management*, 60(3), 103206. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2023.103206>