



La interacción entre la inteligencia artificial, sostenibilidad y economía circular en la búsqueda de la
competitividad empresarial

Maira Alejandra Niño Vergel

Leoangel Montejo SanJuan

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Oriente (Santander)

Centro Universitario Ocaña (Norte de Santander)

Programa Administración de Empresas

septiembre de 2025

La interacción entre la inteligencia artificial, sostenibilidad y economía circular en la búsqueda de la
competitividad empresarial

Maira Alejandra Niño Vergel

Leoangel Montejo SanJuan

Monografía presentado como requisito para optar al título de Administrador de Empresas

Asesor(a)

Angélica María Carvajal Guerrero

Magister en Finanzas, Economista

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Oriente (Santander)

Centro Universitario Ocaña (Norte de Santander)

Programa Administración de Empresas

septiembre de 2025

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a nuestras familias, que son el pilar fundamental en nuestras vidas.

A nuestros hijos, fuente de inspiración y motivo para seguir adelante cada día, por enseñarnos el verdadero significado del amor, la paciencia y la perseverancia.

A nuestros esposos(as), por su apoyo incondicional, comprensión y compañía en los momentos de esfuerzo y desvelo.

Y a nuestros padres, por guiarnos con su ejemplo, sus valores y su constante respaldo, sin los cuales no habríamos llegado hasta aquí.

Agradecimientos

Agradecemos, en primer lugar, a Dios por darnos la fortaleza, la sabiduría y la salud necesarias para culminar este proceso académico.

A nuestras familias, por su amor, comprensión y apoyo inagotable durante el desarrollo de esta monografía.

A nuestra asesora, profesora Angélica, por su valiosa orientación, paciencia y dedicación. Su guía fue esencial para la realización de este trabajo y para nuestro crecimiento profesional y personal.

Finalmente, a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a que este proyecto fuera posible, les expresamos nuestra más sincera gratitud.

Leoangel

A Dios, por la vida, la salud y la sabiduría necesaria para afrontar cada reto.

A mi amado hijo, Maximiliano.

Eres la luz que guía mis pasos y el mayor de mis logros. Este trabajo no es solo mío, es una manifestación de tu paciencia y del amor incondicional que me brindaste durante todo este proceso. Cada desarrollo y cada esfuerzo se hicieron insignificantes ante la motivación de ser tu ejemplo. Que este título te inspire a perseguir tus propias ambiciones con la misma determinación. Este logro es la promesa de un futuro que construimos juntos.

A mi esposo Jeison, por ser mi apoyo inquebrantable y mi confidente.

A mis padres Álvaro y Denis, por su sacrificio y por haberme enseñado el valor de la educación y la perseverancia.

Maira Alejandra

Contenido

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos	4
Contenido.....	5
Lista de tablas	7
Lista de figuras	9
Resumen	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
CAPÍTULO I. Generalidades	14
1 Generalidades	14
Situación problema	14
Formulación	16
Variables	16
Objetivos	17
Objetivo general.....	17
Objetivos específicos	17
Justificación e impacto.....	17
Marco Referencial.....	19
Antecedentes	19
Marco teórico.....	28
Diseño metodológico	36
Método o Tipo de investigación	36
Población.....	37
Técnicas e instrumentos de medición y análisis	37
CAPÍTULO II Conceptos más importantes sobre la inteligencia artificial, economía circular, sostenibilidad y competitividad en el ámbito empresarial.	41
Inteligencia Artificial	41
Economía Circular	43
Sostenibilidad empresarial.....	50
Competitividad.....	55
CAPÍTULO III Aplicaciones actuales que añaden valor a la sostenibilidad y economía circular.	62

CAPÍTULO IV Casos o ejemplos empresariales que reflejan el efecto de la inteligencia artificial sobre la competitividad sostenible.....	68
CAPÍTULO V Desafíos que traen consigo la interacción de la inteligencia artificial y la economía circular en la competitividad empresarial en las MiPymes de Ocaña, Norte de Santander; mediante la aplicación de una encuesta.....	75
Análisis de resultados	78
CAPÍTULO VI. Discusión.....	97
CAPÍTULO VII. Conclusiones.....	101
CAPÍTULO VIII. Recomendaciones	103
Referencias.....	105
Anexos.....	120

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Síntesis de los casos de éxito aplicando IA en sostenibilidad y circularidad</i>	74
Tabla 2 <i>Sector económico al que pertenece la empresa</i>	78
Tabla 3 <i>Principal fuente de información o apoyo que podría consultar la empresa en temas de innovación, digitalización o sostenibilidad en el ámbito local</i>	79
Tabla 4 <i>Gestión actual de residuos aprovechables de la empresa</i>	80
Tabla 5 <i>Percepción sobre el uso de tecnologías inteligentes o sostenibles para generar ventaja competitiva</i>	81
Tabla 6 <i>Nivel de conocimiento actual sobre IA y su aplicación en procesos de EC</i>	82
Tabla 7 <i>Principal ventaja considerada sobre la implementación de la IA para innovar</i>	83
Tabla 8 <i>Medida en que la empresa logra competitividad por integrar prácticas sostenibles con apoyo tecnológico</i>	84
Tabla 9 <i>Participación en programas de formación sobre IA y sostenibilidad</i>	85
Tabla 10 <i>Área en que la empresa utiliza o podría utilizar herramientas de datos para optimizar la toma de decisiones</i>	86
Tabla 11 <i>Herramientas digitales o prácticas con enfoque ambiental implementadas en la empresa</i>	87
Tabla 12 <i>Inversiones realizadas en tecnología para optimizar el uso de recursos en la MiPyme</i>	87
Tabla 13 <i>Frecuencia con que se evalúan en la empresa las oportunidades de mejora en términos de eficiencia y sostenibilidad apoyados en tecnologías avanzadas</i>	88
Tabla 14 <i>Medición de aspectos relacionados con la sostenibilidad mediante el uso de herramientas TIC o software especializado</i>	89
Tabla 15 <i>Percepción sobre el papel de la tecnología en la estrategia para la competitividad de la empresa</i>	90
Tabla 16 <i>Principal limitación en la adopción de la IA y la EC en las MiPymes de Ocaña</i>	91

Tabla 17 <i>Costo percibido de las tecnologías sostenibles en las MiPymes</i>	92
Tabla 18 <i>Nivel de disponibilidad percibida del personal técnico capacitado en Ocaña para el desarrollo de proyectos de IA/Digitalización sostenible</i>	93
Tabla 19 <i>Percepción sobre el apoyo de políticas públicas locales y regionales para la transformación digital sostenible de las MiPymes</i>	94
Tabla 20 <i>Principal dificultad técnica para adaptar la tecnología a la realidad operativa e infraestructura de las MiPymes en Ocaña</i>	95

Lista de figuras

Figura 1 <i>Principios de la Economía Circular según Cerdá y Khalilova</i>	44
Figura 2 <i>Características de la Economía Circular</i>	45
Figura 3 <i>Esquema de EC propuesto por la Fundación Ellen MacArthur</i>	46
Figura 4 <i>Beneficios de la EC</i>	47
Figura 5 <i>Dimensiones elementales de iniciativas circulares</i>	48
Figura 6 <i>Mecanismos de acción para facilitar la transición hacia la circularidad</i>	49
Figura 7 <i>Contribuciones de la Sostenibilidad Corporativa</i>	52
Figura 8 <i>Modelo conceptual de la sostenibilidad corporativa, atributos del CEO y desempeño financiero</i>	54
Figura 9 <i>Modelo de competitividad de Porter</i>	56
Figura 10 <i>Modelo de administración por objetivos de Druke</i>	57
Figura 11 <i>Modelo del Ciclo Deming de la mejora continua</i>	58
Figura 12 <i>Modelo de Calidad propuesto por Baldrige</i>	59
Figura 13 <i>Tipologías y tecnologías clave de IA en CBM</i>	65
Figura 14 <i>Integración de la IA en los Modelos de Negocio Sostenibles</i>	66
Figura 15 <i>Tendencia de crecimiento de la EC en modelos predictivos basados en IA</i>	69

Resumen

Este trabajo de investigación expone los retos y oportunidades que conllevan la relación que podría darse entre la inteligencia artificial y la economía circular para potenciar la competitividad empresarial de la MiPyme del municipio de Ocaña. En esa medida, emplearon técnicas que involucrando tanto la revisión documental de literatura académica relacionada con la temática objeto de estudio como cuestionarios aplicados a una muestra seleccionada de 10 MiPymes de la ciudad de Ocaña que permitieran conocer el contexto y la dinámica local con respecto a la actualización tecnológica en materia de infraestructura, políticas organizacionales y formación del personal. De esa forma, los hallazgos obtenidos durante el desarrollo de los objetivos específicos permitieron establecer que en la región la implementación de herramientas basadas en IA para el fortalecimiento de las prácticas sostenibles y de EC es algo incipiente, toda vez que están condicionados por aspectos culturales y de apoyo estatal para su adopción integral. Así mismo, se planteó que es necesario fortalecer las capacidades dinámicas de las Mipymes para lograr avances significativos hacia la competitividad sostenible y la innovación empresarial.

Palabras clave: Competitividad, Economía Circular, Innovación, Inteligencia Artificial, Sostenibilidad.

Abstract

This research paper presents the challenges and opportunities involved in the relationship between artificial intelligence and the circular economy to enhance the business competitiveness of MSMEs in the municipality of Ocaña. To this end, they used techniques involving both a review of academic literature related to the subject under study and questionnaires applied to a selected sample of 10 MSMEs in the city of Ocaña to understand the local context and dynamics with regard to technological upgrades in infrastructure, organizational policies, and staff training. The findings obtained during the development of the specific objectives showed that the implementation of AI-based tools to strengthen sustainable practices and the circular economy is still in its infancy in the region, as it is conditioned by cultural aspects and state support for its comprehensive adoption. Likewise, it was suggested that it is necessary to strengthen the dynamic capacities of MSMEs in order to achieve significant progress towards sustainable competitiveness and business innovation.

Keywords: Artificial Intelligence, Competitiveness, Circular Economy, Innovation, Sustainability.

Introducción

La presente monografía analiza la forma en que interactúan entre sí aspectos como la Economía Circular (EC) y la Inteligencia Artificial (IA) para incentivar la competitividad y el desarrollo sostenible en las MiPymes, especialmente en países caracterizados por representar economías emergentes que no cuentan con muchos avances tecnológicos ni capacidades para la implementación oportuna de estas herramientas. En ese sentido, la IA ha representado un cambio de paradigma que incorporado a las estrategias de competitividad y sostenibilidad empresarial, permiten la optimización de procesos, reducción de niveles de residuos y contaminantes generados en el medio ambiente, y por supuesto, facilitar la toma de decisiones. En cambio, la EC se basa en modelos de producción que aumentan el ciclo de vida de los recursos y minimizan el impacto medioambiental. Por lo tanto, la interrelación entre ambos autores redefine los paradigmas de eficiencia y sostenibilidad, pero también genera dilemas en términos de adopción tecnológica, talento humano, etc.

En lo que respecta a los fundamentos teóricos de la investigación, se abordan las disertaciones realizadas por diversos autores en torno a la sostenibilidad digital, los recursos y capacidades dinámicas de las empresas, y la teoría institucional. Así mismo, se emplea una metodología de enfoque mixto en la medida que se recolectó información mediante técnicas cualitativas y cuantitativas para que el fenómeno objeto de estudio se analizará de forma más profunda e integrada, recurriendo a la triangulación de hallazgos para validar los resultados del cuestionario aplicado. Tal herramienta fue diseñada teniendo en cuenta tres componentes o variables principales, a saber: el conocimiento, la percepción y aplicación de prácticas de EC con el uso de IA.

Lo anterior, llevó a plantear como objetivos específicos de la presente investigación: 1) Describir los conceptos más importantes sobre la inteligencia artificial, economía circular, sostenibilidad y competitividad en el ámbito empresarial; 2) Identificar las aplicaciones actuales que añaden valor a la

sostenibilidad y economía circular; 3) Analizar casos o ejemplos de empresariales que reflejan el efecto de la inteligencia artificial sobre la competitividad sostenible; y 4) Determinar los desafíos que traen consigo la interacción de la inteligencia artificial y la economía circular en la competitividad empresarial en las MiPymes de Ocaña, Norte de Santander; mediante la aplicación de una encuesta.

CAPÍTULO I. Generalidades

1 Generalidades

Situación problema

Bajo esa perspectiva, la principal problemática identificada para iniciar el estudio se centró en el agotamiento de los recursos naturales como resultado de la aplicación de un modelo ambiental, que sufre presiones asociadas a las iniciativas y regulaciones sostenibles de los diferentes entes gubernamentales durante la última década. Tal situación ha llevado al surgimiento de modelos, estrategias y métodos orientados a la transformación de las prácticas productivas para mitigar la generación descontrolada de residuos, los índices de contaminación y el uso ineficiente de los recursos naturales. De esa forma, el aumento de literatura asociada a la adopción de la EC, contrastada con su escasa evidencia práctica en el sector empresarial y su integración de las tendencias tecnológicas cambiantes suponen una brecha que se debe abordar. En coherencia con ello, estudios como el desarrollado por Rua, Villa, Cardona, Valencia y Velásquez (2025), destacan que este tipo de aplicaciones suelen marcarse por metodologías heterogéneas, enfoques diversos y una dispersión conceptual que frena el establecimiento de patrones claros para su implementación en las organizaciones.

Bajo esa perspectiva, la desconexión entre los aportes empíricos y su puesta en práctica conduce a la carencia de marcos sólidos que permitan la cuantificación de los beneficios proporcionados por la IA en modelos de EC, reduciendo la valoración del retorno de inversión y aumentando la percepción de riesgo. Así mismo, Awad, Nuseibeh y Amro (2025) manifiestan que las innovaciones digitales con tecnologías disruptivas que en teoría deberían habilitar las prácticas de EC afrontan desafíos económicos, institucionales y operativos; los cuales se caracterizan por la carencia de competencias digitales, el acceso a recursos tecnológicos óptimos y la falta de políticas públicas orientadas a fomentar la competitividad sostenible.

Por su parte, Padilla, Morales, Merveille y Güereca . (2024) consideran que la falta de conciencia educativa, formación profesional, obstáculos económicos y barreras regulatorias son los principales impedimentos para la adopción de prácticas de EC dentro de las organizaciones. Lo anterior, sugiere que solo la voluntad de adoptar un modelo sostenible no es suficiente, ya que muchos actores productivos carecen de claridad sobre las disposiciones reglamentarias que deben cumplir, los mecanismos técnicos y los incentivos reales asociados a la integración de este tipo de acciones a su operación, así como su articulación con innovación digital. Un ejemplo es planteado por Pathan, Richardson, Galvan y Money (2023), al exponer los casos de éxito desarrollados en Norte América o Europa, donde se han empleado modelos predictivos, analítica de datos, optimización de la cadena de suministro o monitoreo en tiempo real logrando mejoras en el consumo energético, la reducción de residuos y la eficiencia operativa.

Sin embargo, como afirman Pathan et al. (2023) tales experiencias tienden a corresponder a organizaciones con infraestructura de datos avanzada, políticas públicas que apoyan los niveles elevados de inversión requeridos y grados altos de madurez tecnológica, sumado a las capacidades técnicas especializadas de los equipos de trabajo. En contraste con tal realidad, muchas empresas de países subdesarrollados no tienen a su disposición este tipo de recursos o son inestables en el mercado, produciéndose una brecha entre los hallazgos teóricos y la posibilidad de su puesta en práctica. Por su parte, Chakraborty, De y Dey (2025) añaden que, aspectos como la capacitación, los costos de adaptación y gastos de actualización tecnológica son determinantes al momento de invertir en innovación empresarial, lo que lleva al rezago tecnológico de las pymes y la imposibilidad de articular sus beneficios con las prácticas circulares.

Desde una óptica diferente, Rua et al. (2025) hacen alusión a la ausencia de modelos de evaluación y métricas consolidadas para la medición de los impactos económicos, ambientales y repercusión en la integración de la IA para la sostenibilidad organizacional. De ese modo, los autores destacan una marcada heterogeneidad metodológica, caracterizada por la falta de consenso sobre indicadores de

valoración de las prácticas asociadas a este tema, así como de estándares definidos para la réplica o comparación de los resultados intersectoriales. Tal problemática, más allá de afectar la transición tecnológica y sostenible de las organizaciones, tiene una repercusión significativa en la capacidad de tomar decisiones estratégicas para la innovación sostenible y circular.

Por otra parte, en su estudio *Hurdles to a Circular Built Environment*, Griffiths (2025) menciona que las economías de escala se caracterizan por una baja conciencia de mercado, al uso de componentes usados no estandarizados, los seguros y altos costos de transporte, suelen limitar la extensión de las prácticas circulares, aun cuando el conocimiento técnico sea suficiente para lograrlo. De esa forma, se evidencian una serie de fricciones asociadas a problemáticas comunes de las MiPymes, que al ser unidades de negocio de pequeña escala afrontan desafíos en temas operativas y financieros, que condicionan su capacidad de adoptar modelos inteligentes de negocio que incorporen la circularidad.

Formulación

¿Cómo interactúan la Inteligencia Artificial, la Sostenibilidad y la Economía Circular en el desarrollo de capacidades competitivas de las MiPymes?

Variables

¿Cuáles son los fundamentos teórico-conceptuales asociados con la competitividad, economía circular, inteligencia artificial y la competitividad descritos en la literatura actual?

¿De que se forma se han aplicado los modelos de sostenibilidad y economía circular en las MiPymes a lo largo de la última década, de acuerdo a los estudios recientes?

¿Qué ejemplos de éxito destacan la interacción y efecto de la Inteligencia Artificial en el desarrollo de empresas sostenibles y competitivas?

¿Cuáles son los desafíos identificados en el contexto local con respecto a la integración de la Economía Circular y la Inteligencia Artificial para un competitividad sostenible, de acuerdo con las percepciones de los empresarios?

Objetivos

Objetivo general

Examinar la interacción entre la Inteligencia Artificial, la Sostenibilidad y la Economía Circular en el desarrollo de capacidades competitivas de las MiPymes.

Objetivos específicos

Examinar los fundamentos teórico-conceptuales asociados con la competitividad, economía circular, inteligencia artificial y la competitividad descritos en la literatura actual?

Identificar las aplicaciones de modelos de sostenibilidad y economía circular en las MiPymes a lo largo de la última década, de acuerdo a los estudios recientes?

Analizar ejemplos de éxito destacan la interacción y efecto de la Inteligencia Artificial en el desarrollo de empresas sostenibles y competitivas?

Determinar los desafíos existentes en el contexto local con respecto a la integración de la Economía Circular y la Inteligencia Artificial para un competitividad sostenible, de acuerdo con las percepciones de los empresarios de la ciudad de Ocaña.

Justificación e impacto

Mientras que en los países más industrializados ya se pueden observar modelos de negocio exitosos que incorporan analítica de datos, monitoreo en tiempo real y cadenas de suministro inteligentes a las necesidades de sus empresas, en contextos como el colombiano todavía son observadas limitaciones de infraestructura tecnológica, de recursos financieros y de formación especializada. En este sentido, el presente estudio contribuye a llenar un vacío académico y práctico al ir sistematizando evidencia empírica y conceptual que lleve a las pequeñas y medianas empresas a un tránsito circular soportado en herramientas digitales.

Respecto a la viabilidad, el estudio tiene un soporte evidente basado en la revisión sistemática de literatura internacional y en la propuesta de contrastar las fuentes documentales encontradas con las

percepciones emitidas por empresarios locales de Ocaña. En este sentido, se asegura la existencia de recursos teóricos, metodológicos y humanos suficientes que permitan garantizar el riguroso desarrollo del mismo. En complemento a lo anterior, el estudio documental se complementará con la aplicación de instrumentos a un muestra reducida de empresarios, motivo por el que los costos de desplazamiento o papelería no serán elevados, garantizando la viabilidad del estudio.

En lo que respecta a los beneficios sociales y económicos, la investigación supone una aportación al sector productivo, en el sentido de que al identificar aplicaciones de las tecnologías de la inteligencia artificial en relación con la sostenibilidad y economía circular se presentan alternativas para mejorar procesos, recortar costes operativos, mejorar la reputación corporativa y reforzar la responsabilidad social empresarial. De forma que las organizaciones pueden ampliar su capacidad de producción de recursos, siendo el impacto positivo en la comunidad local y la conservación del medio ambiente.

La contribución metodológica pone el acento en la posibilidad de replicar el enfoque de revisión sistemática y análisis crítico del que se hace uso, el cual da pie a formalizar un antecedente académico de cara a futuras investigaciones centradas en la doble perspectiva de sostenibilidad, economía circular y digitalización. En esa medida, el presente trabajo monográfico no se limita a la descripción de experiencias pasadas, sino que incorpora un marco de análisis que puede ser trasladado a otros trabajos que se ocupen de temas como la innovación y la competitividad.

Desde la óptica disciplinaria y profesional buscada, el trabajo propone a los estudiantes y a la comunidad académica un referente actualizado que conjuga conceptos relativos a la administración, gestión ambiental y tecnologías disruptivas. Al mismo tiempo, la investigación representa un insumo estratégico para que los futuros administradores de empresas desarrollen competencias orientadas hacia la sostenibilidad empresarial, el liderazgo responsable y la gestión de la innovación. De este modo,

la investigación resulta más que un ejercicio teórico y se posiciona como un aporte integral en la formación profesional y la transformación productiva de la región.

Marco Referencial

Antecedentes

Los antecedentes de la Economía Circular parten de la metáfora de la “nave espacial Tierra”, creación de Boulding (1966) que supuso un punto de inflexión cognitivo, llevando al abandono de la “economía vaquera” o lineal para dar lugar a una economía cerrada, de reciclaje, que introduce materiales y energía. Este cambio de perspectiva del sistema económico ubicó a la humanidad en unos límites finitos, sentando las bases del sistema que; décadas después recaería en lo que se conoce como Economía Circular, como respuesta sistémica a la escasez y degradación ambiental.

Posteriormente, la crisis de límites fue representada más detalladamente por el Club de Roma con *The Limits to Growth* (1972), la obra por la que se dio a conocer la simulación de escenarios de población, industrialización, contaminación y recursos. A pesar de no utilizar explícitamente la etiqueta de “economía circular”, el informe hizo evidente la tensión entre crecimiento exponencial y base material finita impulsando los intereses en la búsqueda de marcos que desvincularan prosperidad y presión sobre recursos. Una cierta problematización sistemática del metabolismo socioeconómico legitimó enfoques que años después abogaron por dar cierre a los ciclos y abandonar la extracción lineal, dando como resultado el surgimiento de la ideología de lo circular en el debate público y académico.

Casi en paralelo, la ecología industrial emergió como propuesta tecno-organizativo para reorganizar los flujos interempresariales buscando analogías ecológicas. El hito más mencionado es el artículo de Frosch y Gallopoulos (1989) en *Scientific American*, en el que los autores hicieron hincapié en

que los residuos de una industria pueden ser entradas de otra. Esta sencilla regla práctica constituyó la fórmula para la aparición de los diseños de simbiosis industriales y parques eco-industriales, donde se construyeron redes productivas regidas por el principio circular que trata de mantener y dar el mayor valor posible a los materiales. La innovación del proyecto preparó no solo un vocabulario de trabajo, sino que, además una práctica instrumental que se consolidó en los sectores manufactureros y en las políticas territoriales.

En el ámbito de la economía ambiental, el concepto de EC fue tomado gracias a Pearce y Turner (1989/1990) que unificaron la relación de economía–medio ambiente de la relación de stocks, flujos y residuos de la incesante mezcla conceptual de eficiencia, precios y externalidades. Si bien en el libro *Economics of Natural Resources and the Environment* no se crean por sí solas las técnicas de cierre de ciclos, sí se difunde el lenguaje de una economía integradora de los límites físicos y el que concibe la circularidad como la cara opuesta a las prácticas económicas lineales, en la política pública y en la formación de los economistas.

El camino de la teoría a los modelos de negocio encontró en Walter R. Stahel un catalizador inicial, a partir de los años ochenta, en la que se encontrará una articulación de la “economía del desempeño” y el alargamiento de la vida de los productos como estrategia de competitividad y de empleo local. Su publicación “The Product-Life Factor” y posteriormente el libro *The Performance Economy* articulaban dinámicas de mantenimiento, reparación, reutilización y remanufactura y a su vez ponían en circulación la servitización (producto-como-servicio) como estrategia para la disociación de ingresos del consumo de recursos. Este modelo no solo estableció la circularidad como idea ecológica, sino como propuesta económica coherente con la creación de la idea de valor y de la reducción de riesgos en las cadenas productivas.

Desde el diseño el manifiesto *Cradle to Cradle* de McDonough y Braungart (2002) reconfiguró la innovación de los productos al distinguir los ciclos biológicos y los técnicos para eliminar el concepto de

residuo. Y, además de recomendar la utilización de energías renovables y de materiales seguros, hizo de la “ecoefectividad” un principio rector; el propósito de un diseño para el impacto más allá de la ecoeficiencia incremental. Esta filosofía de diseño ofreció herramientas prácticas para una concepción de productos regenerativos y sistemas de certificación que posteriormente influirían en políticas y estándares en el ámbito sectorial vinculadas con la EC.cushman.host.dartmouth.edu

La simbiosis industrial también ejemplificó la idea de un laboratorio real de circularidad a partir del caso de Kalundborg, en Dinamarca, donde una diversidad de empresas comparte externamente calor, vapor, agua y subproductos, con beneficios económicos y medioambientales cuantificados. El estudio de Jacobsen (2006) demostró que la combinación de redes locales de intercambio permite la minimización de costes y de emisiones, además de elevar la resiliencia territorial, al convertir residuos en recursos. La enseñanza histórica fue que la circularidad podría nacer por un diseño disciplinado y operado, pero también podría ser el resultado de un proceso evolutivo consensuado, y que los retornos podían ser hallados a partir de métricas económicas y ecológicas.

En la primera década de los 2000, en diversas partes del mundo este inventario conceptual se fue traslado a la aplicación práctica; tanto así que, en Japón, se promulgó la Ley Básica para establecer una Sociedad del Ciclo de Materiales lo que definió principios, instó a elaborar planes y revisiones quinquenales para construir una sociedad del ciclo de materiales, fijó el léxico de “recursos circulantes” y “uso cíclico” (reutilización, reciclaje, recuperación energética). Este marco pionero representó un avance en la práctica de la gestión de residuos y la transición hacia la gestión estratégica de materiales, la que, como hemos comentado, aglutinó objetivos, agencias y planes nacionales respectivos de cada uno de esos países con objetivos de circularidad.

Casi al mismo tiempo, China adoptó en 2008 su Circular Economy Promotion Law (en vigor desde 2009) lo que la convirtió en el primer país en conseguir que la EC tuviera rango legal nacional en la primera gran economía del mundo. Dicha ley definió responsabilidades para las administraciones locales

y las empresas a la vez que la EC fue introducida en los planes quinquenales y las políticas industriales, desencadenando el desarrollo de instrumentos de eficiencia energética, reutilización de agua o valorización de subproductos. Tal institucionalización en el ámbito continental demostró que la circularidad podía vincularse al desarrollo, a la competitividad y a la seguridad de los recursos.

En la escena internacional, la Fundación Ellen MacArthur (EMF) tuvo un papel primordial en la difusión y la normalización de marcos interpretativos y de herramientas, al promover el diagrama (o la figura) “mariposa”, el cual, a su vez, representa el mantenimiento del valor por medio de la cascada de estrategias en ciclos técnicos y biológicos. Esa visualización, que fue adoptada extensivamente, también cumplió el papel de gramática común para empresas y para reguladores, y representó un punto de confluencia entre escuelas de pensamiento (ecodiseño, ecología industrial, economía del rendimiento) y prácticas de negocio en las cadenas globales. Su contribución histórica fue la de traducir la complejidad en guías accionables, escalables y comunicables.

Por su parte, en el horizonte europeo, la transición del discurso a la política pública vinculante tuvo su representación con el Plan de Acción para la CE de 2015 (“Closing the Loop”), que definió una serie de objetivos, la reforma de los entornos reguladores y las rutas por sectores para la prevención de residuos, el ecodiseño y el empoderamiento de los mercados de las materias primas secundarias. Este primer paquete equiparó la EC al mercado único, brindando señales predecibles al tejido productivo, incentivando inversiones en innovación y facilitando las metas nacionales en gestión de materiales, constituyendo el punto de partida de la gobernanza multinivel de la circularidad en su forma moderna.

En poco tiempo, la Comisión Europea avanzó con la CEAP 2020, la pieza del Pacto Verde Europeo, que extendió la perspectiva al ciclo de vida de los productos, incluyó derechos de reparación, requisitos de información y ambiciones por sectores respecto a materiales textiles, electrónicos, baterías y la construcción. Con el paso de la historia, este segundo plan constituye el primer sistema de anclaje de la circularidad en la competitividad a largo plazo y la neutralidad climática, dando continuidad a la

relación entre el diseño regulatorio, la innovación tecnológica y el cambio de comportamiento del consumidor.

Respecto de la sistematización académica, la década de 2010 pasó a estar sujeta a una revisión exhaustiva que ordenó definiciones, magnitudes, métricas. La revisión realizada por Ghisellini, Cialana y Ulgiati(2016) fue una verdadera cartografía de corrientes, instrumentos y experiencias internacionales en torno a la EC, haciendo hincapié en que la EC no es unívoca, sino que es un paraguas sistémico que incluye prevenir, rediseñar, recircular y regenerar bajo criterios económicos y ambientales. Esta recuperación histórica de 20 años de literatura hizo posible detectar brechas metodológicas y prioridades de investigación para empujar una agenda de evaluación y de indicadores. ScienceDirect

Simultáneamente, Kirchherr, Reike y Hekkert (2017) revisaron 114 definiciones, poniendo de soporte la heterogeneidad de la noción y logrando establecer la necesidad de un cambio sistémico, más allá del tríptico reducir, reutilizar,reciclar, y también realizar una síntesis. El aporte histórico de este trabajo fue el de poner de manifiesto la necesidad de encontrar contenidos comunes a los marcos entre academia, industria, política pública, y el de anclar la circularidad a objetivos socioambientales explícitos, para no caer en una interpretación reduccionista de esta solo centrada en la gestión de residuos. Este esfuerzo por tanto fue una oportunidad en el sentido de dotar a la gobernanza y a la evaluación de una base común.

La crítica también jugó su papel en la maduración del campo, advertida por ambigüedades y riesgos de “panacea”; de ahí que, Korhonen, Honkasalo y Sepälä (2018) caracterizaron la EC como un concepto discutiblemente esencial, aludiendo a desafíos como la escala, fugas de energía y materiales o las limitaciones entre objetivos económicos versus límites planetarios. Esta apreciación aportó prudencia histórica al hacer derivar la necesidad de precisar las circunstancias de contorno, la suposición termodinámica y la métrica del desempeño que pueda diferenciar circularidad aparente de circularidad efectiva a largo plazo.

En el contexto iberoamericano, la contribución de Cerdá y Khalilova (2016) fue clave para la divulgación en lengua española y el alineamiento con el enfoque EMF. En ese sentido también, profundizando, pero omitiéndolo, se puede advertir ahí claramente la alineación del marco teórico de autores que revisan aspiraciones de ámbito académico, como son: principios, características y potenciales beneficios de la EC desde una perspectiva empresarial y política. Su artículo sobre Economía Industrial sirvió como un puente en el que compatible los marcos internacionales y los contextos locales, tal como el que se observa en la transferencia del conocimiento orientado hacia estrategias de competitividad, eco innovación y regeneración en sectores de producción presentes en la región. Esta mediación académica hizo posible ir en dirección de la apropiación de la terminología y de los métodos que existían en los ámbitos universitario y gubernamental.

Adicionalmente a las corrientes antes citadas, la idea de “economía azul”- presentada, entre otros, por Gunter Pauli (2010) hizo énfasis en la innovación biomimética y en la localización/atribución de los recursos, poniendo de manifiesto las cascadas de la energía y de los materiales como un modo de imitar los ecosistemas. A pesar de que no se homologa en términos normativos la EC con la economía azul, esta última se traduce en un sentido de soluciones integradas, de emprendimiento y de valor territorial que sumaban al itinerario histórico una propuesta de la transición de lo “verde” hacia impactos sociales y económicos en comunidades restringidas por el capital. De esa forma, la economía azul permite expandir el horizonte de posibilidades de la circularidad hacia sectores alejados de la producción tradicional.

Bajo esa perspectiva, la Ellen MacArthur Foundation fue capaz de ensamblar escuelas de pensamiento inspiradoras para la EC; tales como el Cradle to Cradle, ecodiseño, biomímesis, economía del rendimiento, ecología industrial; y trabajar en su forma de transformarlas en marcos pedagógicos y herramientas para el tejido empresarial. Este ejercicio de curaduría histórica resulta fundamental para homologar el lenguaje y ayudar a acelerar la adopción voluntaria anterior y posterior a la regulación,

haciendo de la circularidad un componente normalizado de las estrategias corporativas, de los mapas sectoriales y de la formación profesional.

La actualización de la regulación europea en el año 2020, en coherencia con los fundamentos del Pacto Verde, reafirmó la mirada de ciclo de vida completo y el derecho a reparar, pero adicionalmente llevó la circularidad a sectores y negocios complejos como el de la electrónica y la construcción, donde el diseño para el desmontaje, el pasaporte digital de productos y la trazabilidad material resultan críticos. Este momento histórico significó el poder conectar circularidad con digitalización y políticas climáticas con el fomento de convergencias entre la innovación tecnológica y la economía política del consumo sostenible.

Al tiempo, la agenda de diseño regenerativo también fue revitalizada con las líneas del Cradle to Cradle, con las instituciones instalando guías y normas para aquellos biociclos y tecnociclos posibles, enfatizando criterios para que los materiales sean seguros para el entorno, energía renovable y justicia social en el diseño y certificación de productos. Este cambio dio cohesión operativa al ideal histórico de “eliminar la idea de residuo”, posicionando el diseño como bisagra entre innovación, mercado y política pública, y asegurando que la circularidad no sea únicamente asociada con la etapa de fin de la vida, sino que arranque a partir de la concepción misma del producto.

De la misma manera, visiones como la de Geissdoerfer, Savaget, Bocken y Hultink(2017) significaron avances considerables, delimitando la relación entre circularidad y sostenibilidad, ya que la circularidad no implica garantía alguna de la sostenibilidad y por lo tanto consideren energías, fugas, rebote y equidad. La enseñanza histórica de esta reflexión ha sido el profundizar el anclaje conceptual de la EC en principios de sostenibilidad fuerte, evitando atajos y orientando hacia agendas de investigación aplicada.

Tal como exponen Pathan, Richardson, Galvan y Mooney (2023), la relación entre inteligencia artificial y economía circular debe interpretarse a partir de un cruce entre capacidades digitales y

continuidades en ciclos materiales en modelos de negocio reales y no como un simple ideal tecnológico. En su análisis, los autores muestran cómo la IA puede apoyar actividades circulares tales como clasificación de residuos, optimización logística o diseño de productos más duraderos, pero que su funcionalidad está supeditada a políticas públicas, marcos de gobernanza de datos y capacidades organizacionales, que son coherentes con la transición circular. A partir del análisis del caso irlandés, demuestra que la circularidad impulsada por IA es tal solo cuando se encuentra integrada en las economías como de planificación y en la toma de decisiones diarias de las empresas, alineando los objetivos de sostenibilidad con la competitividad de las empresas en contextos tan diversos como la agricultura, la manufactura y los servicios.

Desde el estudio de Tutore, Parmentola, Costagliola di Fiore y Calza (2024), se plantea que la conexión entre inteligencia artificial y economía circular se puede explicar mediante un modelo conceptual que ordena los posibles niveles de intervención de la IA en las organizaciones. Los autores aceptan en parte el marco ReSOLVE que plantean y establecen cuatro etapas que van desde la optimización del sistema, rediseño del sistema, rediseño del modelo de negocio, hasta la innovación de ecosistemas. Cada nivel supone un uso más intenso de la IA que va desde mejorar la eficiencia de los procesos que ya existen hasta la reconfiguración de hasta las cadenas de valor desde la óptica circular. Su principal aporte es que demuestra que la IA de sólo automatiza o mejoras prácticas individuales sino que puede redirigir las decisiones estratégicas de los negocios hacia la regeneración de recursos, logrando así el paso de iniciativas puntuales a transformaciones estructurales para la competitividad sostenible.

A su vez, Agrawal, Wankhede, Kumar, Luthra, Majumdar y Kazancoglu (2022) llevan a cabo una revisión sistemática exhaustiva sobre aplicaciones de IA en economía circular para conseguir mapear los principales ámbitos donde la tecnología está rediseñando las prácticas empresariales. Desde la biografía de 220 artículos localizados en Scopus, donde obtienen como resultados núcleos temáticos como la

gestión inteligente de residuos, el mantenimiento predictivo de activos, el diseño de productos para remanufactura o la logística en cadenas de suministro circulares. Con base en las aportaciones obtenidas, propone un marco de investigación que regenera las técnicas de IA según la estrategia circular a la que dan apoyo, y propone un lenguaje común para vincular decisiones tecnológicas y objetivos de circularidad. Esta contribución teórica hace que las empresas y los investigadores comprendan el punto en el que la IA puede aportar más valor a la transición circular y el punto en el que aún existen brechas tanto de conocimiento como de práctica.

Desde una perspectiva normativa y ética, Roberts, Zhang, Bariach, Cowls, Gilbert, Juneja, Tsamados, Ziosi, Taddeo y Floridi (2024) advierten de que la inteligencia artificial puede considerarse verdaderamente un habilitador de la economía circular sólo si su diseño y uso se incorpora a principios como la justicia, la transparencia o la responsabilidad. Su propuesta teórica genera a partir de la identificación de que la IA ayuda a diseñar productos más duraderos, facilitar la trazabilidad de los materiales y habilitar nuevos modelos de negocio circulares, pero también puede reforzar desigualdades, generar opacidad en la toma de decisiones o aumentar el consumo energético de las infraestructuras digitales.

De esa forma, los autores mencionados desarrollan un marco ético que articule los riesgos de la inteligencia artificial y los principios de la economía circular, presentando también criterios para algoritmos, gobernanza de datos y modelos de negocio definidos por objetivos de sostenibilidad fuerte. Tan interesante acotación, ya que complementa la discusión más allá de la eficiencia, acerca de la competitividad de las organizaciones desde la perspectiva de la legitimación social y ambiental de las soluciones que derivan de la inteligencia artificial.

Por último, Onyeaka, Tamasiga, Nwauzoma, Miri, Juliet, Nwaiwu y Akinsemolu (2023) desarrollan la correlación entre la inteligencia artificial y la economía circular desde la perspectiva de la alimentación, ilustrando cómo es posible articular la forma en que se reflejan estrategias de reducción

de desechos, de aprovechamiento de todos los recursos a lo largo de la cadena de aprovisionamiento y de producción alimentaria. Los autores, ejemplifican a través de casos como la predicción de la demanda, la monitorización de la conservación, la clasificación automatizada de los productos, la planificación de la redistribución del exceso de productos acabados, preguntándose cómo contribuyente a cerrar los bucles de valor de la producción y el consumo de alimentos

Por otra parte, Onyeaka *et al.* (2023) afirman que la inteligencia artificial también ayuda a redefinir el concepto de circularidad en la alimentación, de una gestión pasiva de residuos hacia un diseño proactivo de los flujos en el buen manejo de las materias y de la energía. Así mismo, se requiere de inversiones financieras, el fortalecimiento de las capacidades digitales y la regulación adecuada o marcos de interpretación que puedan servir para que lo inteligente de sus soluciones pueda ser confundida y convertida en competitividad y en el impacto ambiental correspondiente.

Marco teórico

Teoría Basada en Recursos (RBV)

La Teoría Basada en Recursos (Resource-Based View, RBV) surgió como una corriente fundamental en la literatura de la administración estratégica durante las décadas de los 80 y los 90 y fue uno de los marcos conceptuales más laudos para el esclarecimiento de la ventaja competitiva sostenible de las organizaciones. Desde las consideraciones planteadas por Wernerfelt (1984) en su artículo “A Resource-Based View of the Firm”, se empezó a asumir que las organizaciones son conjuntos heterogéneos de recursos y capacidades y, por lo tanto, los mismos, constituyen la/base principal de la rentabilidad y de la diferenciación a partir del resto de los competidores. Desde luego, eso contrastaba con enfoques a estos adoptados como el modelo estructura-conducta-resultados, presente en la

organización industrial al explicar que las causas del desempeño se situaban en las condiciones externas de la industria.

Más tarde, Barney (1991) construye un marco en el que vincula a los recursos VRIN (valiosos, raros, imperfectamente imitables y no sustituibles). El autor señala que las organizaciones que se encuentran en posesión de recursos, que retienen las características anteriormente especificadas y que estos recursos se explotan efectivamente, son capaces de obtener ventajas competitivas sostenibles; ya que tienen atributos que les permiten responder a la demanda del mercado con un enfoque no reproducible por sus competidoras.

Por su parte, Grant (1991) diferenció recursos tangibles de recursos intangibles, y destacaría el papel crítico del conocimiento y de las capacidades de la organización como recursos intangibles que son esenciales para la organización empresarial en su éxito. Desde esta perspectiva, la literatura se empieza a centrar en el aprendizaje organizacional, la cultura corporativa, las rutinas y los procesos colectivos como recursos difíciles de imitar, poniendo de manifiesto así la importancia de los recursos internos no físicos en la estrategia. Sin embargo, a finales de la década de los 90 y principios de la década del 2000 surgen críticas hacia la RBV, sobre todo a su carácter estático.

En este sentido, Priem y Butler (2001) indican que la RBV no da una buena explicación de cómo los recursos pueden construir y mantener ventaja en medios dinámicos. Como respuesta a dicha crítica, los autores aglutinados en un nuevo enfoque conocido como capacidades dinámicas propuesto por Teece, Pisano y Shuen (1997) se fueron desarrollando como una extensión de la RBV y hacen hincapié en la capacidad de la empresa para integrar, construir y reconfigurar sus competencias en respuesta a los entornos cambiantes. Por ende, la RBV se mantuvo vigente gracias al diálogo con nuevas corrientes que la constituyeron en un enfoque más dinámico, enfocado en la RBV.

En la última década, la RBV ha sufrido un proceso de “renovación” teórica a partir del diálogo con contextos emergentes como la digitalización, la sostenibilidad o la globalización. Al respecto, Helfat,

Kaul, Ketchen, Barney, Chatain y Singh (2023) señalan que el marco sigue siendo válido, aunque requiere la incorporación de nuevos tipos de recursos como los *big data*, las capacidades de análisis o los algoritmos de *Machine Learning*, que cumplen con los criterios VRIN y vuelven a definir las bases de la competencia. Este tipo de “ampliación” de las bases de la RBV pone de relieve la plasticidad de la teoría para adaptarse a fenómenos contemporáneos, aunque obliga, al mismo tiempo, a redefinir sus categorías tradicionales en función de los activos inmateriales.

Una marcada evolución reciente también se inscribe en la discusión sobre los mecanismos de creación de valor. Peteraf y Barney (2003) han utilizado el término “sostenibilidad de la ventaja competitiva” para expresar este equilibrio entre heterogeneidad de los recursos frente a la inmovilidad imperfecta, considerando un marco de análisis que ha vuelto a cobrar actualidad, pues en entornos donde el cambio tecnológico es rápido, la movilidad de los recursos puede ser mayor, lo que lleva a que la capacidad de las organizaciones para aislarse de la imitación sea más limitada.

De manera parecida, la RBV ha sembrado críticas de tipo epistemológico en virtud de su carácter tautológico, ya que se argumenta que define recursos valiosos en función del desempeño exitoso que agregan las organizaciones y, por otro lado, explica el desempeño exitoso por la existencia de recursos valiosos. Para contrarrestar esta objeción, Crook, Ketchen, Combs y Todd(2008) cubrieron esta crítica realizando una revisión meta-analítica y confirmando la validez empírica de la relación entre recursos estratégicos y desempeño, también poniendo de manifiesto que, pese a sus limitaciones, la RBV exhibe una robustez predictiva que avala su vigencia. Así, aunque las críticas a la RBV permanecen, es también cierto que la teoría sigue siendo un pilar fundamental en la estrategia.

Teoría Institucional

El origen de esta teoría se encuentra en las aproximaciones sociológicas de los años setenta, y concretamente a partir de los aportes de Meyer y Rowan (1977), autores que sostenían que las

estructuras organizativas no necesariamente respondían a criterios de eficiencia técnica, sino que eran adoptadas con la finalidad de alcanzar la legitimidad en su correspondiente contexto institucional. La afirmación que hacía Meyer y Rowan supuso un cambio radical para el que se pone de manifiesto la búsqueda de aceptación social y la conformidad normativa como aspectos claves del diseño organizacional.

Siguiendo esa dirección DiMaggio y Powell (1983) desarrollaron el conocido concepto de isomorfismo institucional, que describe la inclinación de las organizaciones a hacer cada vez más similares las unas a las otras si hablando de una misma campo organizacional. Según los autores, la homogenización no surge únicamente motivada por la eficiencia, sino que es una de las consecuencias de las presiones que hacen que las organizaciones adopten formas organizativas similares. De ese modo, las organizaciones no intentan parecerse a otras porque esa apariencia les genere un aumento de la productividad, sino que buscan parecerse a otras porque su semejanza incrementa su legitimidad, disminuye la incertidumbre y facilita el acceso a recursos. En ese sentido, el isomorfismo se transforma en un mecanismo institucional de supervivencia y no en una estrategia de diferenciación.

El isomorfismo que proponen DiMaggio y Powell (1983) se clasifica a la vez en tres tipos: el coercitivo, el mimético y el normativo. Al isomorfismo coercitivo se le asocia la presión de leyes y disposiciones gubernamentales o, en su caso, de organizaciones de alto nivel. El isomorfismo mimético aparece en escenarios de incertidumbre, donde las organizaciones deciden replicar a aquellas que son consideradas con éxito o prestigio como un tipo de estrategia de reducción del riesgo. Por su parte, el isomorfismo normativo guarda relación con la influencia de valores y estándares profesionales, los cuales son incrementados por la educación, la formación y las asociaciones profesionales. Esos tres mecanismos ayudan a explicar por qué las organizaciones, aunque sean muy distintas entre sí, tienden a adoptar prácticas, estructuras y discursos similares cuando la presión institucional es la misma.

Con el paso del tiempo la Teoría Institucional se constituyó como una óptica de análisis muy potente para tratar de comprender la evolución de los campos organizacionales. La investigadora que tal vez más ha contribuido a la Teoría Institucional, a partir de los años noventa del siglo pasado, es Oliver (1991), quien propuso un marco complementario para comprender cómo las organizaciones responden estratégicamente a las presiones institucionales al proponer un rango de respuestas que va desde la conformidad, al acatamiento de la presión, hasta la resistencia. Las organizaciones no son según la autora actores pasivos a su contexto institucional y son capaces de negociar, evadir, desafiar o incluso manipular las presiones externas. Este aporte fue fundamental para matizar la perspectiva original, pues reconoció que la agencia organizativa cohabita con las restricciones que ejerce la institucionalización.

En un segundo momento, DiMaggio (1988) formuló la noción de emprendimiento institucional para hacer alusión a aquellos actores que promueven cambios significativos en las reglas y normas ya oferentes en un campo, pero se muestran capaces también de ejercer presión para cambiar esas reglas y normas, desde la posición de los actores que poseen el suficiente poder y legitimidad para generar innovaciones normativas o estructurales. Esta noción de emprendimiento institucional permitió visibilizar que las instituciones no son fijas, y que una institución puede cambiar a partir de la acción de individuos y organizaciones, que poseen una capacidad de actuación suficiente como para innovar normas e innovaciones construidas. De esa forma, la teoría pasa de centrarse en la estabilidad institucional a tener un espacio de interés en el tema del cambio o cambio y adaptación institucional.

A lo largo de las últimas décadas, la Teoría Institucional ha viajado paralelamente con otras orientaciones teóricas a fin de ampliar su horizonte de enfoque. Por ejemplo, Scott (2014) sistematizó el análisis institucional en tres pilares: regulativo, normativo y cultural-cognitivo, de la siguiente manera. El regulativo hace referencia a las reglas formales y las sanciones; el normativo se refiere a los valores y a las normas sociales; y el cultural-cognitivo atiende a los esquemas de interpretación y a los significados

compartidos, de modo que este marco triple permitió acoger el hecho de que las instituciones operan a múltiples niveles, desde lo legal hasta lo simbólico, lo que complicó la forma de entender la legitimidad organizacional y los mecanismos de homogeneización.

En la actualidad, la Teoría Institucional ha sido ampliamente utilizada para estudiar fenómenos de la globalización, la sostenibilidad o la adopción tecnológica. Greenwood, Oliver, Lawrence y Meyer (2017) apuntan que las instituciones dan forma no solo a las estructuras organizativas, sino también a los discursos o narrativas que legitiman las nuevas prácticas. Por lo tanto, procesos como la digitalización, responsabilidad social corporativa o la transición hacia modelos sostenibles son entendidos como respuestas a las presiones institucionales que definen lo que es socialmente aceptado o deseable. Esta interpretación es fundamental para explicar la difusión mundial de normas de calidad, políticas medioambientales o marcos de gobernanza transnacional.

Con un enfoque crítico, algunos autores han puesto de relieve las limitaciones de la Teoría Institucional, específicamente la tendencia a privilegiar la homogeneidad frente a la diversidad. Por su parte, Kraatz y Block (2008) defienden que, aunque el isomorfismo es un fenómeno existencial, muchas organizaciones también desarrollan estrategias diferenciadoras y contrarias a la hegemonía lo cual les permite mantener su identidad particular. Por ello, es preciso tener en consideración que la institucionalización no conduce de manera inevitable a la homogeneidad total, sino que se produce en interacción con la diversidad cultural, los intereses estratégicos y las competencias internas de cada organización.

En la última década, la teoría también ha seguido su rumbo de expansión incluyendo las institucionales informales y las transnacionales. Autores como Thornton, Ocasio y Lounsbury (2012) desarrollaron la perspectiva de los lógicos institucionales, entendidos como marcos culturales y normativos que guían el comportamiento en distintos contextos sociales, como en el mercado, el estado o la comunidad. Esta evolución conceptual permitió poner en consideración el hecho de que los campos

organizacionales no son homogéneos, sino que son atravesados por múltiples lógicas que coexisten, se entrelazan o están en contradicción.

Teoría de la Triple Hélice

La teoría de la Triple Hélice fue formulada por Etzkowitz y Leydesdorff a finales de la década de los 90 del siglo XX, aunque algunas de sus ideas fueron expuestas con anterioridad, para establecer un modelo conceptual que fuera capaz de dar cuenta de la dinámica de la innovación en las sociedades actuales. A diferencia de los modelos lineales de innovación de los cuales la ciencia produzca nuevos conocimientos, los transfiera a la forma de productos a la industria, e incluso, con el apoyo del gobierno, prevé una relación sinérgica entre tres esferas sociales interrelacionadas: la universidad, la industria, el gobierno. La Triple Hélice prevé la coevolución de los actores que la componen, en contra del modelo lineal, interacciones que permiten superar el modelo “de subidas” y “bajadas” de la ciencia hacia el gobierno o la industria. De esta forma, los actores “se entrelazan”, producen un ecosistema que hace también avanzar el desarrollo socioeconómico.

En este sentido, Etzkowitz y Leydesdorff (2000) elaboraron una afirmación que sostiene que la universidad dejó de ser el espacio exclusivo de la enseñanza y la investigación pura para convertirse en un importante agente de transferencia de tecnología y generación de spin offs. Igualmente, la industria no solo aparece como una receptora pasiva de conocimiento, sino como un agente de colaboración en procesos de investigación y desarrollo experimental. Mientras que el Gobierno se erige como un agente articulador por medio de políticas públicas, niveles de regulación e incentivos económicos de cierre de la brecha entre las diferentes esferas. Este nuevo planteamiento de los roles que desempeñan los actores sociales convierte a la Triple Hélice en un modelo ampliamente reconocido para explicar cómo las sociedades modernas pueden fomentar la innovación sostenible.

Uno de los aspectos más interesantes de la teoría es que introduce el concepto de hibridación de funciones que señala que cada esfera puede desarrollar funciones propias de las otras. Por ejemplo, las universidades crean sus incubadoras de empresas, los gobiernos elaboran laboratorios de innovación o parques científicos, y las industrias financian investigación básica a partir de alianzas con centros académicos. Esta hibridación demuestra que las líneas de los sectores tienden a borrarse, y que justo en esos lugares intermedios donde se solapan las funciones es donde la innovación se nutre de nuevas formas de colaboración.

La Teoría de la Triple Hélice también ha sido entendida como un marco flexible, adaptable. No es un modelo estandarizado, sino una representación sujeta a variaciones en función del grado de desarrollo institucional y económico de cada región. En países que poseen sistemas de innovación maduros, la triple hélice realmente tiende a funcionar en equilibrio, pero en una realidad emergente es habitual que uno de los actores (normalmente el gobierno) tenga más peso que el resto, para favorecer la articulación entre universidad e industria. De este modo, la teoría ha servido no solo como marco analítico, sino también como guía a la hora de diseñar políticas de innovación y de desarrollo económico en diferentes contextos nacionales y regionales.

A lo largo de los años, la propuesta original evolucionó completándose con modelos más complejos que añaden nuevos actores, caso por ejemplo de la Cuádruple Hélice o la Quíntuple Hélice, que incorporan a la sociedad civil o al medioambiente, respectivamente. Sin embargo, la Triple Hélice sigue siendo la corriente básica, pues describe las interacciones más elementales que dieron lugar a la aparición de los sistemas de innovación regional y nacional. Diversos autores afirman también que, en los modelos más complejos, las relaciones entre universidad, industria y gobierno siguen siendo el núcleo de los procesos de generación y transferencia de conocimientos.

Por otro lado, Ranga y Etzkowitz (2013) formularon un modelo de análisis tridimensional para el estudio de los sistemas de innovación sobre la base de la Triple Hélice, en el cual tienen mucha

importancia la consideración de actores presentes, el grado de interacción que los une y los resultados de innovación obtenidos, de tal modo que este modelo favorece una medición más precisa de cómo funcionan los ecosistemas innovadores y al mismo tiempo ofrece una herramienta útil en la evaluación de los diseños de las políticas públicas de ciencia y tecnología.

Las críticas a la Teoría de la Triple Hélice han señalado que, en muchas ocasiones, la misma tiende a desproporcionar el papel de la universidad, mientras que en la validez de otros actores como las comunidades locales, organizaciones sociales o bien organismos internacionales tiende a infravalorarse. No obstante, los defensores de la aplicación de este modelo en la práctica responden que los déficits que, en ocasiones, pueden atribuirse a la propio modelo, no significan que el mismo deba ser considerado inválido sino que pueden conducir a la considerarse únicamente como la ampliación de otros modelos que sean complementarios. En términos prácticos, la Triple Hélice ha demostrado ser una tríada flexible que se despliega en función de otros contextos y que no pierde su sentido explicativo sobre la relación del conocimiento, de la economía y de la política.

Diseño metodológico

Método o Tipo de investigación

La presente investigación adopta un enfoque mixto, ya que como afirman Medina, Hurtado, Muñoz, Ochoa y Ordóñez (2015) este combina elementos cualitativos y cuantitativos, buscando aprovechar los beneficios de ambos métodos para una “comprensión más completa y enriquecedora de los fenómenos estudiados” (p. 16). En ese sentido, la investigación mixta exige la integración de datos, la triangulación como principio fundamental para la contrastación de los resultados y la complementariedad. De acuerdo con los planteamientos de Creswell y Plano (2017) este enfoque investigativo permite “una comprensión más completa, profunda y contextualizada de los fenómenos.... Superando las limitaciones inherentes de cada enfoque individual” (p. 18). En esa medida, este enfoque

es el más apropiado en la medida que se busca analizar la forma en que interactúan las variables de estudio, tomando como referencia los hallazgos de estudios anteriores y validar el contexto económico local relacionado a la problemática a través de la medición de datos cuantitativos.

Población

Para efectos de la presente investigación tipo monografía, la población será representada por el compendio de documentos de carácter académico o científico recopilado a nivel internacional sobre las variables objeto de estudio, constituyéndose como el insumo principal para la revisión sistemática, delimitando a los documentos técnicos y artículos científicos publicados en revistas indexadas o fuentes reconocidas. En lo que respecta al estudio de campo, se definió una población 2.775 organizaciones que constituyen el sector empresarial de la ciudad de Ocaña, Norte de Santander de acuerdo a datos suministrados por la Cámara de Comercio de Ocaña; los cuales podrán generar aportes significativos desde la realidad local.

Muestra

Teniendo en cuenta que se llevará a cabo una fase empírica de análisis y contrastación de los resultados obtenidos durante la revisión sistemática de literatura, se seleccionó una muestra por conveniencia compuesta por 10 empresarios de la ciudad de Ocaña; quienes fueron seleccionados a través de la definición de criterios de disposición, accesibilidad y pertinencia. Dicha decisión se justifica en el interés por complementar la revisión documental con las percepciones locales.

Técnicas e instrumentos de medición y análisis

A efectos de la realización de la presente monografía compilativa, se han considerado como instrumentos básicos dos elementos que propiciaron el desarrollo de los objetivos planteados desde una perspectiva teórico-práctica. Por un lado, se empleó la técnica revisión documental como técnica fundamental cualitativa, orientada a la recolección, análisis y sistematización de reciente información

científica sobre los conceptos centrales de inteligencia artificial, economía circular, sostenibilidad y competitividad, justificada en la medida en que permite la construcción de un marco conceptual robusto y teórico, puesto que recoge investigaciones publicadas en fuentes académicas indexadas, tesis doctorales, documentos institucionales y artículos científicos de la última década, atendiendo a las premisas propuestas por Hernández, Fernández y Baptista (2014) y por Flick (2021), cuando precisan que el análisis documental favorece la triangulación teórica y el encuadre de fenómenos complejos.

A partir del método de Revisión Sistemática de Literatura (RSL) se llevará a cabo la recopilación y análisis de la información recolectada; ya que este método permite la identificación, evaluación y síntesis de estudios relevantes a partir de la formulación de preguntas de investigación claras. Según Kitchenham y Charters (2007), el método RSL es el método formal para llevar a cabo investigación a partir de información obtenida de fuentes secundarias, toda vez que supone la transparencia y el establecimiento de un protocolo claro de análisis a diferencia de revisiones tradicionales.

En esa medida, se llevará a cabo la construcción de la monografía en un conjunto de etapas; donde en primer lugar, se plantean preguntas de investigación que se pretende responder en el curso del estudio, relacionadas con los objetivos específicos planteadas, tal como se aprecia a continuación:

1. ¿Cuáles son las definiciones conceptuales más relevantes desarrolladas en la literatura académica reciente en torno a la Inteligencia Artificial, Economía Circular, Sostenibilidad y Competitividad empresarial?
2. ¿Cuáles aplicaciones actuales de la IA han demostrado crear valor agregado para la sostenibilidad y la EC en el ámbito empresarial?
3. ¿Qué casos experiencias de éxito se han documentado en el sector empresarial, que reflejen el efecto de la IA en la competitividad sostenible?
4. ¿Cuáles son los principales desafíos identificados en la literatura académica con respecto a la interacción de la IA y la EC para mejorar la competitividad empresarial?

Teniendo planteadas las preguntas de investigación, se definen criterios de inclusión y exclusión de la literatura recolectada, priorizando estudios publicados en la ventana de observación de los años 2019 a 2025 preferiblemente, encontrada en repositorios académicos y revistas científicas indexadas; tales como MDPI, Scopus, ScienceDirect, Dialnet, Scholar, Springer. En ese sentido, los criterios de inclusión se enfocarán en la selección de artículos que relacionen o aborden por lo menos dos de las variables objeto de estudio: la IA, la EC, sostenibilidad y competitividad empresarial. Mientras tanto, se excluirán aquellos documentos que no tengan rigor académico o científico, publicados con más de cinco años de antigüedad y otros documentos que no tengan una relación directa con el contexto empresarial.

Adicionalmente, para realizar la revisión de forma sistemática se han definido una serie de comandos de búsqueda y operadores booleanos para búsqueda avanzada; de la siguiente forma: *“artificial intelligence” AND “circular economy” AND “business competitiveness”, “artificial intelligence” AND sustainability AND (Enterprise OR business OR firm), (“circular economy” OR “sustainable economy”) AND “artificial intelligence”, “AI” AND “competitiveness” AND (“green innovation” OR “sustainability”), “artificial intelligence” AND “circular economy”) NOT “healthcare”*. Tales comandos se emplearán para la búsqueda de información tanto en español, portugués e inglés. Así mismo, se emplearán comillas para garantizar la exactitud de las búsquedas, los truncamientos (*) para que se tengan en cuenta las variaciones terminológicas de la información o las variables objeto de estudio. En una fase posterior, se llevará a cabo la selección y extracción de la información a partir del análisis e inclusión de los documentos recolectados en una matriz que incluirá el título, los autores, año de publicación, la fuente de información, los principales aportes conceptuales, las evidencias empíricas derivadas del estudio y las principales conclusiones o hallazgos.

Complementariamente a la revisión teórica y con el objetivo de generar un contraste empírico de carácter local que valore las conclusiones a las que se llega en la revisión teórica, se diseñó y aplicó un cuestionario estructurado a empresarios de MiPymes, diseñado para conocer su percepción sobre el

nivel de apropiación conceptual y prácticas reales, así como sobre su propia percepción respecto a la relación de la inteligencia artificial con la sostenibilidad y la competitividad. Esta técnica responde a la utilidad de los cuestionarios como instrumentos apropiados para la captación de información que puede ser medida y comparada y que permiten conocer actitudes, conocimientos y prácticas en poblaciones muy específicas (Ato, López & Benavente, 2013).

CAPÍTULO II

Conceptos más importantes sobre la inteligencia artificial, economía circular, sostenibilidad y competitividad en el ámbito empresarial.

Inteligencia Artificial

De acuerdo con Peretó (2023) la Inteligencia Artificial puede ser comprendidos en consonancia con las manifestaciones de expertos de la Comisión Europea de la siguiente forma:

Programas informáticos (y posiblemente también equipos informáticos) diseñados por seres humanos que, dado un objetivo complejo, actúan en la dimensión física o digital mediante la percepción de su entorno gracias a la adquisición de datos, la interpretación de los datos estructurados o no estructurados, el razonamiento sobre el conocimiento o el tratamiento de la información, fruto de estos datos, y la identificación de las mejores acciones que deben llevarse a cabo para alcanzar un objetivo fijado (p. 91).

Sin embargo, son diversas las definiciones que existen para este concepto como la propuesta por Popenici y Kerr (2017) quienes establecieron que esta es un sistema capaz de llevar a cabo tareas cognitivas complejas que involucran el uso de datos, aprendizaje, síntesis, adaptación y autocorrección de tareas suministradas por un usuario. Así mismo Haenlein y Kaplan (2019) aseveran que la IA tiene la potencialidad de interpretar información externa de forma correcta, aprendiendo de la misma y empleándola para el logro de órdenes, metas o tareas específicas. Por su parte, Tyagi y Chahal (2022) hace alusión a esa aplicación de IA al incorporar el concepto de "*Machine Learning*" como ese aprendizaje automático caracterizado por el uso de técnicas y algoritmos avanzados para garantizar la ejecución de tareas permanentes mediante el aprendizaje autónomo.

Por otro lado, Peretó (2023) hace una discusión sobre los distintos lenguajes y metodologías de aprendizaje de la IA, destacando el "*Deep Learning*" como aquel mecanismo de la inteligencia que

permite la construcción de redes neurales para la construcción jerárquica de información. De esa forma, la aplicabilidad de este mecanismo se extiende hasta el reconocimiento y análisis de patrones, identificación de objetos, decodificación, reconocimiento facial, restauración y mejora de contenido audiovisual, entre otros aspectos más avanzados que involucran su implementación.

En esta medida, el trabajo de Das et al. (2015) ofrece un compendio de aplicaciones que los diferentes tipos de algoritmos inteligentes pueden llevar a cabo para tareas muy extendidas por todos ellos e incluso cuando alcanza niveles de rendimiento más elevados que la propia persona. De este modo, hasta es conocido que la adopción de algoritmos inteligentes puede llegar a provocar transiciones radicales en los sectores productivos en los que se introducen (Makridakis, 2017). A modo de ilustración es posible observar que la IA está transformando el sector educativo, ampliando las capacidades y mejorando la eficiencia de la gestión de las cadenas de suministros o el comercio internacional, el sector industrial o el sector financiero, por mencionar sólo algunos ejemplos representativos (Peretó, 2023).

Los algoritmos inteligentes también poseen la tercera característica no menos importante de las TPG o Tecnologías de Propósito General, la cual es la que da lugar a que sea posible el desarrollo de invenciones y a la transformación de procesos mediante los que hacer avanzar el desarrollo de nuevos productos y servicios. En la actualidad, gracias a los algoritmos inteligentes, ha sido posible el uso de grandes conjuntos de datos para la producción de predicciones técnicamente precisas de fenómenos técnicos y del comportamiento de experimentos, es decir, para desarrollar predicciones altamente precisas de fenómenos técnicos de manera dinámica. Esta posibilidad que presenta la IA es claramente útil para la investigación y que ya se está implementando en ámbitos como la farmacología, la medicina, la química, y un buen número de otros (Cockburn et al., 2018).

De hecho, en trabajos donde Cockburn et al. (2018) o Crafts (2021) concluyen que la IA representa lo que sería la invención de un método de invención, o IMI62, por su acrónimo en inglés, de

carácter general, que tiene la capacidad de modificar la propia función de producción de ideas. De ser cierto, esto da lugar a pensar que esta tecnología será capaz de transformar la investigación de la misma manera que lo han hecho innovaciones como el telescopio y el microscopio, que han supuesto la frontera del conocimiento alcanzable. Por eso, durante los próximos años será de crucial importancia entender de qué modo algoritmos inteligentes harán que investigadores cambien o redefinan sus dinámicas y enfoques en su búsqueda de la calidad y de una mayor productividad investigadora (Pereto, 2023).

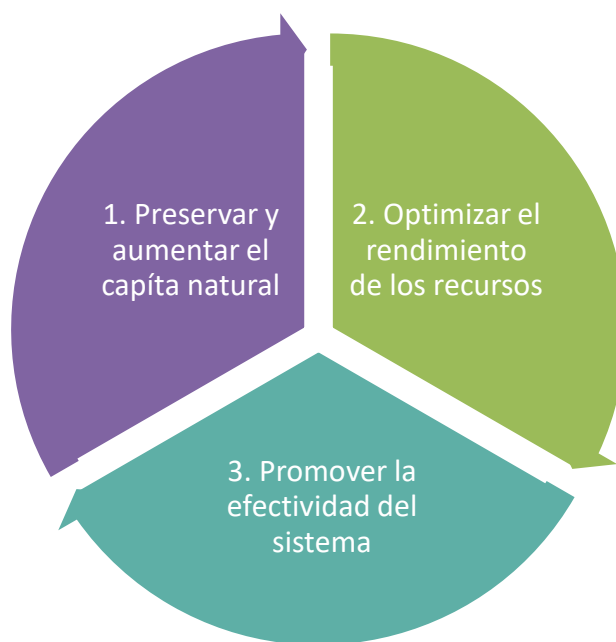
Economía Circular

De acuerdo con los postulados de Cerdá y Khalilova (2016), la Economía Circular (EC) es el modelo alternativo viable y atractivo considerado como “reconstituyente y regenerativo por diseño, y se propone mantener siempre los productos, componentes y materiales en sus niveles de uso más altos” (p. 12). En esa medida, la EC es un ciclo continuo de desarrollo positivo que conserva, aumenta y optimiza los recursos de una organización, logrando reducir los riesgos del sistema, garantizando el flujo de materiales y la gestión finita de *stocks*.

En la figura 1 se exponen los principios de la EC propuestos por Cerdá y Khalilova (2016) para garantizar su aplicación coherente en las organizaciones; donde se destaca como primer principio, la preservación y aumento del capital natural buscando equilibrar el uso de los recursos naturales dentro de un sistema circular, la elección sabia de tecnologías y procesos amigables con el medio ambiente, así como la creación de condiciones para la preservación del suelo y su posterior regeneración. En segunda instancia, el principio de optimización del rendimiento de los recursos implica el diseño, reconstrucción, renovación y reciclaje continuos para mantener en circulación los materiales dentro del proceso productivo. Finalmente, el tercer principio, involucra la reducción del daño generado en los sistemas y las personas, mediante la gestión de las externalidades negativas que se puedan generar a partir de actividades productivas.

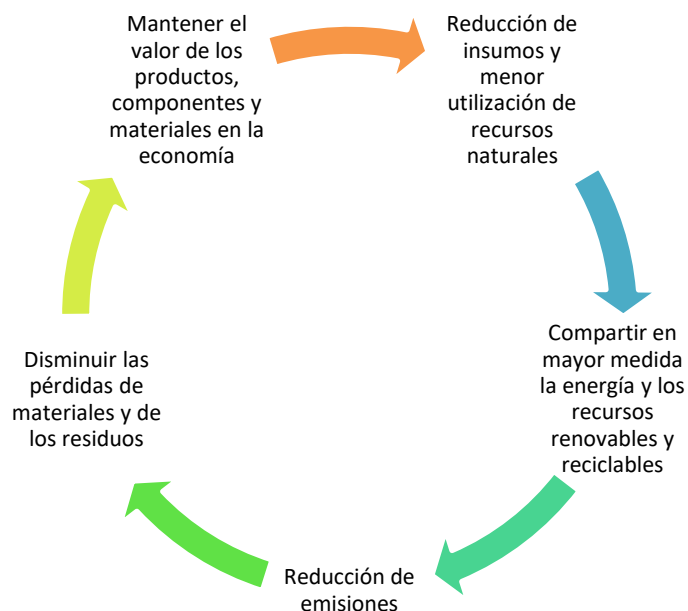
Figura 1

Principios de la Economía Circular según Cerdá y Khalilova



Nota: Elaboración propia a partir de los postulados de Cerdá y Khalilova (2016).

De acuerdo con los postulados de Cerdá y Khalilova (2016), la EC tiene como referencia cinco (5) características principales expuestas en la figura 2. La primera característica, se basa en la reducción u optimización de los procesos de explotación de recursos naturales para la obtención de materias primas; la reducción de las importaciones de recursos naturales de los cuales se dependa para producir; el uso eficiente de todos los recursos y la gestión del consumo de energía o agua. Del mismo modo, la segunda característica aboga por el reemplazo de los recursos no renovables, el uso prioritario de materiales reciclados y reciclables, el cierre de ciclo de materiales, y la extracción sostenible de las materias primas.

Figura 2*Características de la Economía Circular*

Nota: Elaboración propia a partir de los postulados de Cerdá y Khalilova (2016).

Por otro lado, la tercera característica hace alusión a la reducción de las emisiones de gases contaminantes y residuos generados de la transformación con el fin de garantizar una menor contaminación, promoviendo los ciclos limpios. En cuarto lugar, la reducción de las pérdidas en procesos de tratamiento de transformación de los materiales y gestión de residuos busca limitar o mitigar la cantidad de residuos que no tienen un fin ambientalmente amigable, aprovechando el máximo valor a obtener dentro del proceso. Como quinta característica, Cerdá y Khalilova (2016) hacen alusión a mantener el valor de los productos, sus materiales y componentes; buscando extender su vida útil y propendiendo por su tardía salida del ciclo de materiales.

Siendo uno de los máximos exponentes de este modelo, la Fundación Ellen MacArthur empezó a crear documentos de apoyo desde el año 2012 para que toda organización y gobierno promovieran la transición de la EC en todos los aspectos productivos, como un mecanismo para fomentar el cambio

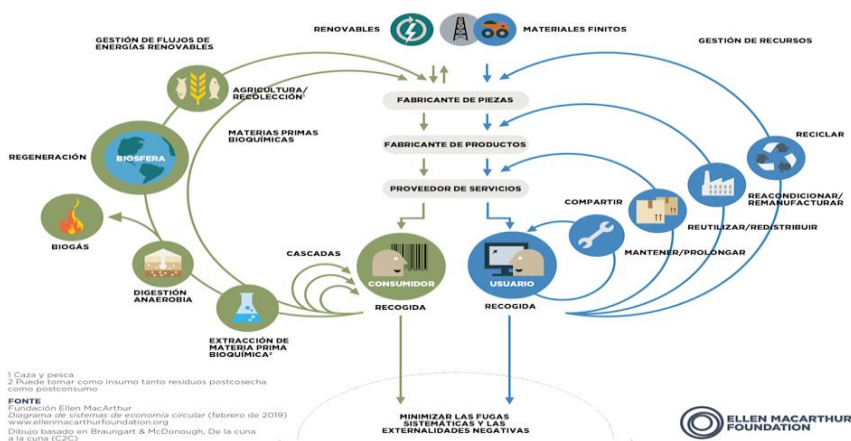
social y ambiental hacia el desarrollo económico sostenible. En esa medida, la “Estrategia Nacional de Economía Circular” divulgada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019) en Colombia adopta la definición propuesta por Ellen MacArthur en la que define la EC como:

Sistemas de producción y consumo que promuevan la eficiencia en el uso de materiales, agua y la energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales y la extensión de la vida útil a través de la implementación de la innovación tecnológica, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible (p. 20).

Bajo esa perspectiva, los aportes de EMF (2021) llevaron a la construcción de un esquema de EC expuesto en la figura 3, donde se puede apreciar el flujo de procesos, materiales y desechos en el que se debe articular a los diferentes actores de interés (fabricantes de piezas y productos, proveedores, consumidores y/o usuarios); con el objeto de lograr el reciclaje, reacondicionamiento, reutilización y prolongación del ciclo de materiales en la cadena de valor.

Figura 3

Esquema de EC propuesto por la Fundación Ellen MacArthur

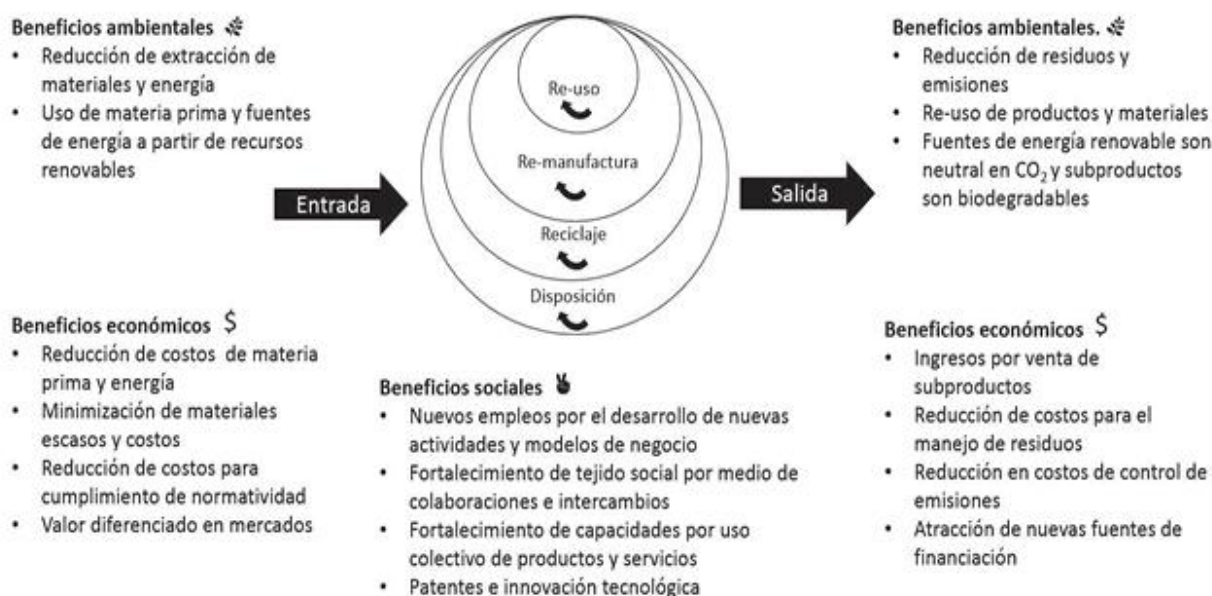


Fuente: Tomado de Diagrama de la mariposa: visualizando la economía circular, EMF (2021).

Por otra parte, la estrategia propuesta por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019) se acoge al modelo para identificación de los beneficios propuesto por Korhonen et al. (2018) y expuesto en la figura 4, el cual se compone de entradas y salidas; cuyo beneficio económico depende de la optimización de entradas y la reducción de las salidas. Del mismo modo, se enfoca en la generación de aportes económicos por parte de la EC en función de la reutilización de las materias primas, el agua y la energía como elementos fundamentales de la circularidad.

Figura 4

Beneficios de la EC



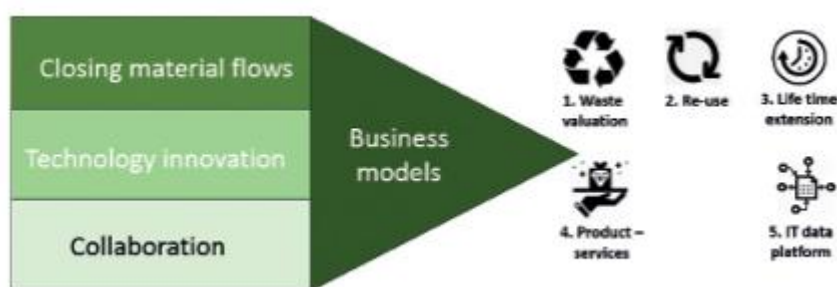
Fuente: Tomado de Estrategia Nacional de Economía Circular (2019).

Por otra parte, se hace alusión al uso compartido de infraestructura y servicios, donde se incentiva el ahorro en pago de activos, servicios, materiales y recursos naturales como incentivo económico para las organizaciones. Como complemento, el valor económico derivado de la venta de los subproductos obtenidos durante la transformación de los residuos genera ingresos adicionales a las unidades productivas y plantea ventajas competitivas que denotan el esfuerzo por la sostenibilidad desarrollado por una organización. En cuanto a los beneficios ambientales, se contribuye a la

preservación y recuperar de los ecosistemas a partir del modelo de balance de materiales, agua y energía; reduciendo la presión ejercida por los sistemas productivos en las fuentes no renovables. Finalmente, los efectos sociales derivados de la adopción de prácticas circulares se asocian al surgimiento de nuevas capacidades, oportunidades de empleo sostenibles y negocios derivados de las propuestas estrategias de las organizaciones; constituyéndose en un mecanismo para la construcción de tejido social y comunitario.

Figura 5

Dimensiones elementales de iniciativas circulares

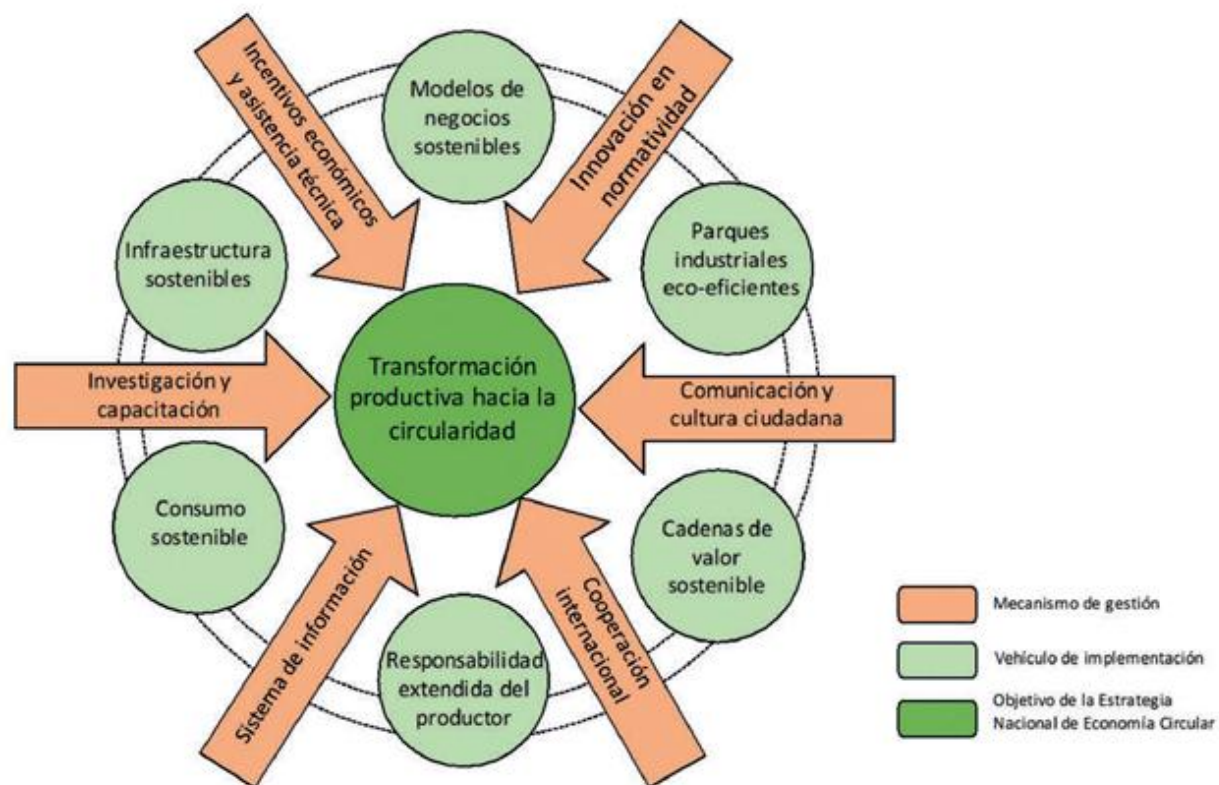


Fuente: Tomado de Van Hoof (2019).

Por su parte, Van Hoof (2019) propuso las dimensiones fundamentales descritas en la figura 5 para desarrollar iniciativas de EC en cualquier empresa, donde se abordan el cierre de los flujos de materiales, innovación tecnológica y la colaboración como ejes estratégicos para crear modelos de negocio circulares. En esa medida, plantea cinco (5) acciones principales derivadas de esas dimensiones: 1) valoración de los gastos, 2) reutilización, 3) extensión del tiempo de vida, 4) productos-servicios y finalmente, 5) integración de plataformas de Tecnologías de Información. Bajo esa perspectiva, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019) establece que todas las organizaciones deben “fortalecer sus capacidades y difundir los casos de éxito que facilitan la toma de decisiones sobre la adopción de nuevas tecnologías o modelos de negocio” (p. 36).

Figura 6

Mecanismos de acción para facilitar la transición hacia la circularidad



Fuente: Tomado de Van Hoof (2019).

Finalmente, resulta necesario destacar los mecanismos de gestión, los vehículos de implementación y su alineación con la estrategia nacional de circularidad proporcionados por Van Hoof (2019) que se exponen en la figura 6; entre los que destaca que para transformar el entorno productivo hacia un contexto circular es necesario fortalecer la comunicación y cultura ciudadana, la cooperación internacional, los sistemas de información, investigación y capacitación, incentivos económicos y asistencia técnica, todo ello sumado a la innovación normativa para que las organizaciones se involucren activamente en el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible propuestos en la última década.

Sostenibilidad empresarial

De acuerdo con Rébula, Pombo y Aprigliano (2023), el término sostenibilidad fue empleado inicialmente por la Organización de las Naciones Unidas en el año 1978 para hacer alusión a la ecología de las cosas, aunque diversas definiciones emergieron a partir de tal momento, llevando a la consideración del *Triple Bottom Line* o Línea de Triple Resultado propuesta en el Informe de la Comisión de Brundtland y la Cumbre de Río de 1992; misma que sería posteriormente abordada por Elkington (1998) para exponer la necesidad de equilibrar armónicamente los factores sociales, ambientales y económicos de las organizaciones.

Bajo esas consideraciones, la Sostenibilidad Corporativa es explicada por Vardari, Gashi y Ahmeti (2020) como la capacidad de una entidad para adaptarse a los tres factores de la *Triple Bottom Line* en sus decisiones y actividades, en conjunto con la gestión de riesgos y el gobierno corporativo intrínseco en los mismos; ya que como establece Lee (2019) se procura incrementar el valor de la empresa y para los accionistas, al tiempo que se busca el desarrollo sostenible y se minimizan los riesgos. Bajo esa óptica, Rébula et al. (2023) manifiestan que los planes de negocio deben comprender una articulación clara del planeta, las personas y las ganancias como aspectos en los que se influye directamente con cada decisión tomada; implicando esto lo que menciona Rustam, Wang y Zameer (2019) en lo referente a la generación de impactos positivos en materia económica, de desarrollo humano y equidad social, todo ello medido con indicadores financieros y no financieros.

Por otro lado, aunque el desempeño organizacional en sostenibilidad puede evaluarse de forma independiente, es necesario que la metodología sea integral abordando los tres elementos: social, económico y ambiental. Lo anterior con base en que a través de diferentes acciones y unidades internas de negocio, una organización puede conectar sus objetivos de sostenibilidad. Esto es corroborado por Endiana, Dicriyani, Adiyadnya y Putra (2020), quienes hacen alusión al área contable de las empresas, desde la cual se pueden promover estrategias de conservación y manejo de costos ambientales; aspecto

que incide tanto en el desempeño financiero como en la imagen de transparencia hacia el cliente, despertando su lealtad con la organización.

Así mismo, Chang, Wang y Lin (2020) exponen el concepto de Visión Verde Compartida, al analizar el efecto psicológico de los productos sostenibles en el desempeño organizacional, destacando que en todas las áreas de la empresa se deben relacionar las características ambientales y llevar a cabo una Gestión Sostenible de los Recursos Humanos (SMHR, por sus siglas en inglés). Este aspecto es fundamental para la visión sostenible de la organización sea acogida como una política y una necesidad empresarial; llevando al desarrollo de la misma, garantizar el bienestar del colaborador, promover el trato justo e implementar prácticas amigables con el medio ambiente.

Mientras tanto, Xia, Wei, Gao y Ma (2020) destacan que para lograr la sostenibilidad empresarial o corporativa, existen una serie de prácticas que marcan el punto de partida; tales como la el rediseño de la oferta para los consumidores, el fomento de la innovación ambiental, el apoyo recibido en materia de políticas públicas y la sinergia entre los grupos de *stakeholders* o partes interesadas en los que influye la organización. En coherencia con ello, Crisóstomo, Freire y Freitas (2020) plantea que la medición es una fase necesaria en la transición hacia la sostenibilidad; requiriendo de la incorporación de indicadores de desempeño en propiedad, gestión de residuos o sectores productivos con alto riesgo ambiental, rentabilidad, oportunidades de desarrollo y la distribución por departamentos.

En contraste, Weber y Chowdury (2020) incorporar aspectos de sostenibilidad social y ambiental, generación de productos y servicios verdes a las categorías de medición del desempeño ambiental. Esta perspectiva es complementada por Kantabutra y Punnakitikashem (2020), autores que establecieron que la integración de prácticas a largo plazo como la gestión de riesgos, expansión gradual, la innovación y la priorización de los colaboradores internos, son conducentes a un mejor desempeño sostenible; esto como resultado del impacto racional que generan en la gestión de los recursos, la longevidad empresarial, la mejora de las condiciones laborales y operativas.

Figura 7

Contribuciones de la Sostenibilidad Corporativa



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de Rébula, Pombo y Aprigliano (2023).

Los beneficios de la sostenibilidad empresarial (SE) se encuentran en su magnitud en la mejora de la gestión ambiental que rodea a las organizaciones. Tales aportaciones se expresan en los esfuerzos de las organizaciones para cuidar y conservar los ecosistemas, estando atentos a los niveles de contaminación, salvaguardando especies amenazadas, dispongamos de programas ambientales, aprovechando de forma razonable los recursos naturales o siendo capaces de prever los riesgos ambientales (Vardari et al, 2020). Además, la sustentabilidad empresarial puede contribuir a mejorar el

desempeño organizativo, la reputación de la empresa y la minimización de los riesgos, todo ello vinculado a resultados positivos y a la sostenibilidad de otros intereses (Rébula et al., 2023).

Sin embargo, su ejecución sólo conlleva ventajas competitivas a medida que las organizaciones son capaces de identificar las oportunidades de desarrollo sostenible. De este modo, incluir la sostenibilidad en la estrategia empresarial no puede ser un acto que se entienda únicamente como responsabilidad social, sino como una necesidad del negocio que garantiza el perdurar, ya sea mediante un equilibrio entre lo económico, social y ambiental (Rébula et al., 2023).

Por otro lado, el incorporar la SC también propicia procesos de eco innovación, fomenta el liderazgo responsable, afianza una cultura organizacional desde la sostenibilidad y favorece la adopción de estándares internacionales tales como la certificación ISO 14001, con el que se busca afianzar el compromiso ambiental empresarial (Rébula et al., 2023). Además de los anteriores, también se ha vislumbrado la instauración de alianzas entre organizaciones y ONG ambientales para caminar en la búsqueda de un objetivo común, afianzando la legitimidad institucional y generando un valor compartido (Daddi et al., 2019).

Desde la perspectiva de la dimensión financiera, las distintas prácticas sostenibles han realizado sus efectos positivos, lo que se ha visto asociado con el reforzamiento de las relaciones con los inversores (Serafeim, 2020), el aumento de la rentabilidad en contextos de crisis, la capacidad de generar valor sostenible a los propietarios mediante una buena gestión del riesgo, o el supuesto efecto positivo que la gobernanza ambiental puede ejercer en las cuestiones económicas (Schroback y Meath, 2020).

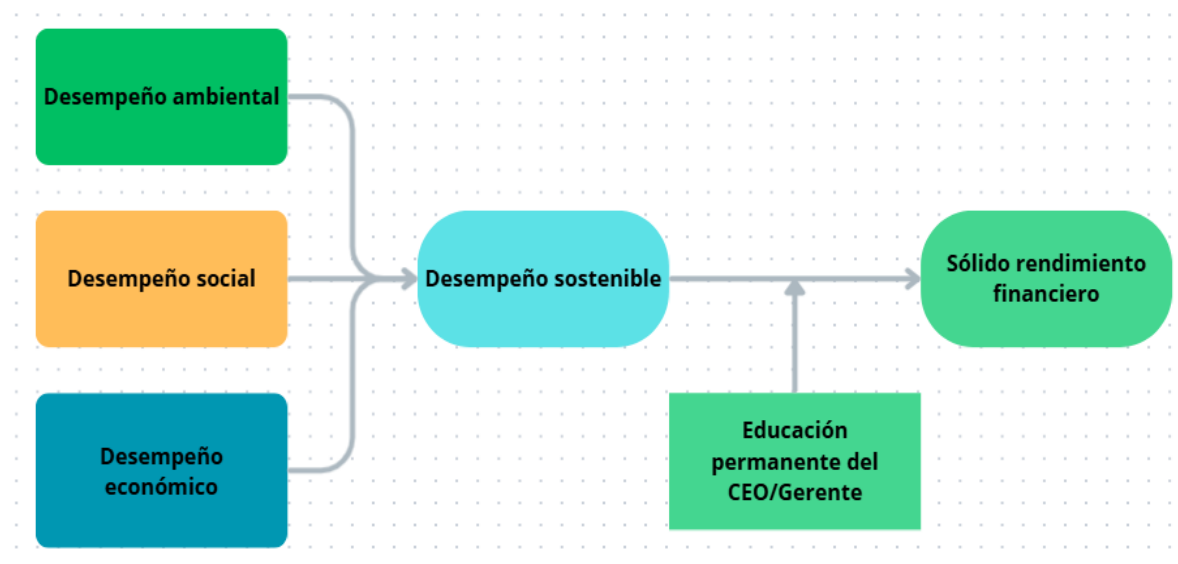
Las organizaciones que han implementado la sostenibilidad en primera instancia, y aquellas que lo han hecho más tarde, pueden obtener sus ventajas respectivas; las pioneras gozan de la especialización del posicionamiento ante los grupos de interés, mientras que las tardías han podido aprovechar la experiencia y el crecimiento del mercado sostenible (Usar et al., 2019). En la misma línea,

se ha probado que si la empresa es extranjera, esta serviría para incrementar el grado de implantación de la práctica sostenible debido a la presión generada y a las exigencias que dicha propiedad extranjera genera para forzar la formación del talento humano (Pechancova et al., 2019).

En el ámbito interno, la propia experiencia de la organización con la SC ha exigido, desde un primer momento, una mayor atención por parte de directivos a los retos ambientales y sociales, al mismo tiempo que pone de manifiesto el tipo de liderazgo en esta atención (Rébula et al., 2023). Además de lo anterior, también se pone de manifiesto que existe una mayor participación de los trabajadores en SC y que, en términos de consecuencias organizativas, una mayor diversidad de género en los órganos de decisión se relaciona con una mejor rentabilidad (Zahid et al., 2020).

Figura 8

Modelo conceptual de la sostenibilidad corporativa, atributos del CEO y desempeño financiero



Nota: Elaboración propia. Adaptado de Ghardallou (2022).

Tal y como expone la propuesta de Ghardallou (2022) sobre la Teoría del Escalón Superior (*Upper Echelons Theory, UET*), cuyo esquema se expone en la figura 8 considera el grado de educación del CEO y su permanencia en el puesto, como características personales y profesionales del CEO que inciden en la conexión Sostenibilidad — Desempeño Financiero; los líderes empresariales enfocan el

sostenibilidad con base en su experiencia, en su manera de ver las cosas y la instrucción que tienen, a partir de esto, se ve afectada la responsabilidad social y la responsabilidad medioambiental.

Por tal motivo, el CEO o gerente funcional que tiene formación continua actúa como moderador e influye en la conexión Desempeño Ambiental, Sostenibilidad — Desempeño Financiero, es decir como un mediador en el sentido de que el desempeño ambiental, el desempeño social y la sostenibilidad pueden dar lugar a un desempeño financiero. Así mismo, Ghardallou (2022) menciona que los ejecutivos con mucha formación, e ideas a largo plazo, son más propensos a emprender estrategias equilibradas entre la rentabilidad y la sostenibilidad y con ello pueden ayudar a responder a los retos globales de la sostenibilidad a la vez que se asegura la propia competitividad de la empresa.

Competitividad

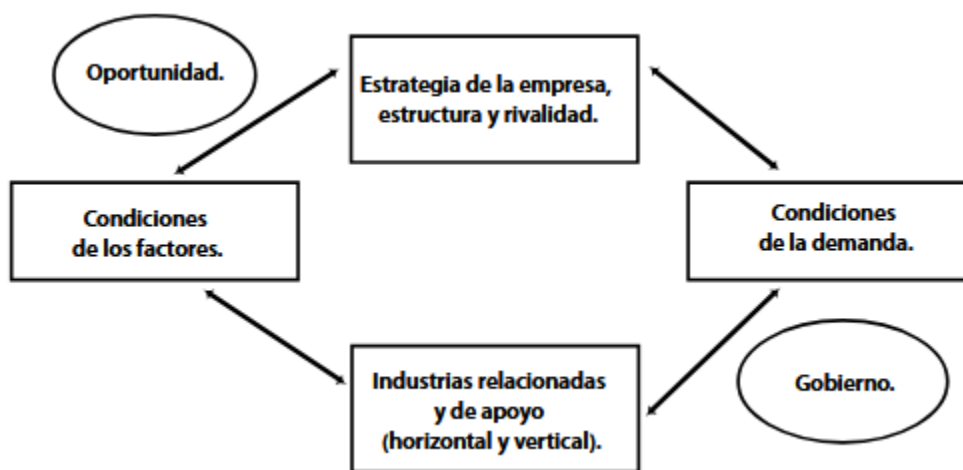
La competitividad ha sido examinada bajo numerosos cajones teóricos e integrada en un eje articulador para analizar el desarrollo empresarial y su sostenibilidad en mercados globalizados. Para Díaz et al. (2021), el concepto de competitividad no se limita a la capacidad de subsistir, sino que se refiere a la generación de ventajas sostenibles mediante la innovación, el liderazgo estratégico, la adaptación a las cambiantes condiciones del entorno. Los mismos autores señalan que, en el contexto de un mundo globalizado, la competitividad ha pasado a ser una condición estructural que obliga a las organizaciones a reforzar sus procesos internos, sus vínculos externos y su capacidad de respuesta ante la presión internacional. Desde esta orientación, la competitividad es un concepto dinámico que integra factores microeconómicos, meso económicos y, también, macroeconómicos, cuyo estudio requerirá sólidos marcos teóricos a la vez que la puesta en práctica de modelos que desarrollen su comprensión sistémica.

Uno de los más destacados modelos en el ámbito del análisis de la competitividad empresarial es el modelo denominado Diamante de Porter expuesto en la figura 8, que estudia cómo las condiciones

nacionales y empresariales determinan la creación de ventajas competitivas en determinados sectores. Como indican Méndez y Medina (2024), este modelo pone el acento en la interdependencia entre la estrategia de la empresa, la estructura y la rivalidad, las condiciones de la demanda, las condiciones de los factores productivos y la existencia de industrias relacionadas y de apoyo; así como en la inclusión del poder del gobierno y el papel de la oportunidad como variables externas que condicionan la competitividad. De aquí se deriva la importancia de este modelo para entender cómo las distintas empresas pueden sobresalir en contextos locales e internacionales al mostrar que la competitividad no sólo depende de los propios recursos internos, sino también de aquellos elementos externos que construyen el entorno empresarial.

Figura 9

Modelo de competitividad de Porter



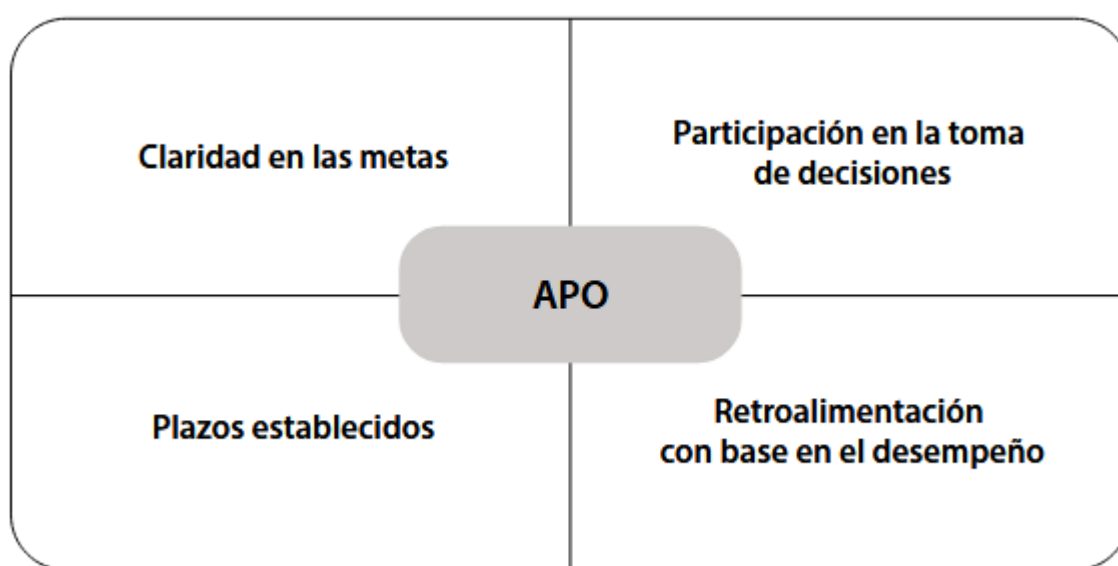
Fuente: Tomado de Méndez y Medina (2024).

Por otro lado, la administración por objetivos, desarrollada inicialmente por Drucker, representa un acercamiento teórico que también proporciona elementos para comprender la competitividad desde el interior de las organizaciones. En este sentido, Méndez y Medina (2024) apuntan que el modelo de administración por objetivos (APO) promueve la claridad de metas, la participación en la toma de decisiones, la definición de plazos de los objetivos y la retroalimentación basada en el desempeño,

factores que favorecen la alineación de los equipos de trabajo y la creación de una cultura organizacional orientada al logro. La competitividad se ve fortalecida en este contexto por la habilidad que tiene la organización para marcar unos objetivos consistentes, a la vez que hacer un seguimiento de cuál es el grado de cumplimiento que han tenido los objetivos y, en base a los resultados, modificar sus estrategias.

Figura 10

Modelo de administración por objetivos de Druke



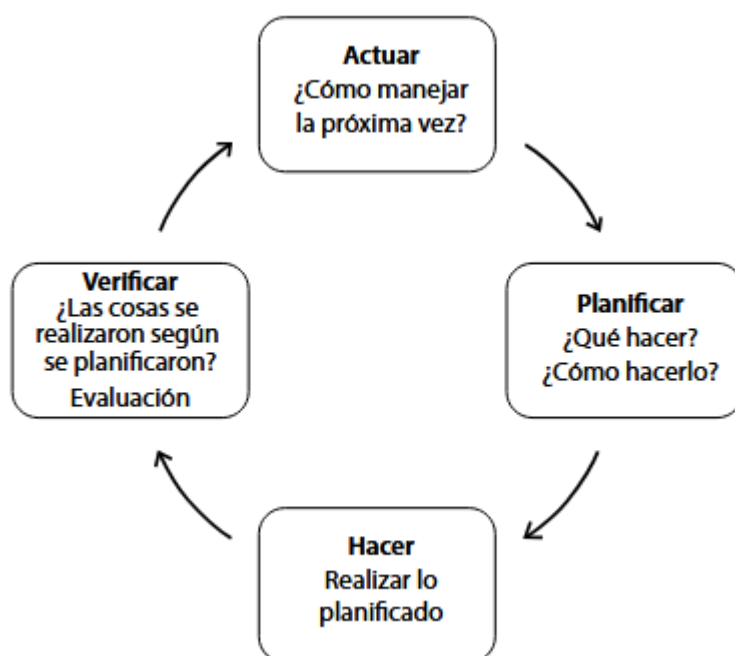
Fuente: Tomado de Méndez y Medina (2024).

La mejora continua es otro elemento que potencia la competitividad empresarial, una mejora continua que aparece en el ciclo de Deming, de tal manera que, según Méndez y Medina (2024), este modelo nos permite explicar cómo la planificación, la actuación, la verificación y la acción correctiva son las fases necesarias para poder mantener altos niveles de productividad y calidad en los procesos empresariales. Mientras tanto, el ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act) ofrece el marco de gestión iterativa desde el que se crean las expectativas de hacer de las organizaciones máquinas de evaluación de sus prácticas, y, en consecuencia, correcciones de las desviaciones y reforzar los procesos que ya son exitosos. Esta dinámica está en estrecha sintonía con la necesidad de las empresas de ser competitivas

en mercados de innovación rápida y en una condición de presión constante por parte de los clientes por bienes y servicios mejores. Durante el Ciclo Deming de la mejora continua se pueden representar 4 etapas cíclicas en las que se originan las distintas etapas de planificar-hacer-verificar-actuar, hecho que esboza la naturaleza iterativa de la mejora continua en la gestión empresarial.

Figura 11

Modelo del Ciclo Deming de la mejora continua



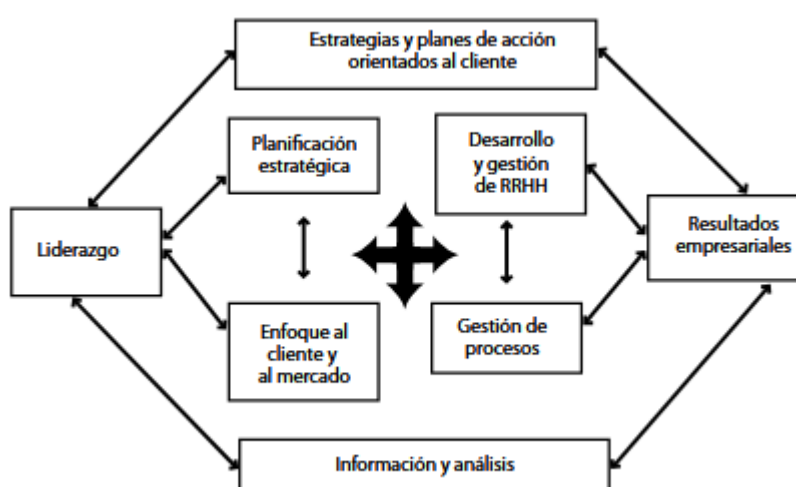
Fuente: Tomado de Méndez y Medina (2024).

Por lo que se refiere a otros aportes igualmente importantes el modelo de la Calidad del senescal, el cual, según Méndez y Medina (2024) específicamente al ser un modelo que integra las dimensiones del ámbito estratégico y del ámbito operativo para poder llegar a unos resultados empresariales sostenibles, es aquel que enfatiza claramente en las bases para llegar a la excelencia organizacional, el liderazgo, la planificación de la estrategia, la gestión de los recursos humanos o el

enfoque hacia el cliente y el mercado o bien la gestión de los procesos y el uso de información y análisis. La competitividad, en este sentido, se entiende como la consecuencia de una articulación armónica de las estrategias de Alto Nivel con la ejecución efectiva en todos los niveles de la organización. Este modelo presenta, así, la característica de tocar diferentes ámbitos, lo que permite explicar cómo los sistemas avanzados de calidad pueden llevar a la empresa a una posición competitiva elevada.

Figura 12

Modelo de Calidad propuesto por Baldrige



Fuente: Tomado de Méndez y Medina (2024).

En un entorno de alta incertidumbre, la competitividad se entiende asociada a la innovación y a la sostenibilidad. Como plantean Méndez y Medina (2024), las organizaciones no sólo deben competir en base al precio, sino que, además, deben competir en base a su aptitud para generar propuestas de valor que incorporen los principios de la sostenibilidad y la economía circular. La competitividad se convierte así en una oportunidad de transición hacia modelos de desarrollo más responsables, considerando que la reducción de impactos ambientales, la eficiencia energética y la optimización de recursos son condiciones ineludibles. Esta concepción de la competitividad amplía los marcos de la competitividad tradicional, acercándolo a los retos actuales de la dirección organizacional.

Siguiendo en esta dirección, Méndez y Medina (2024) también consideran que la competitividad debe entenderse desde una perspectiva social, conociendo que las organizaciones forman parte de un ecosistema en el que sus decisiones tienen consecuencias para las comunidades, los trabajadores y los consumidores. El énfasis en la responsabilidad social empresarial y en la creación de valor compartido amplía la teoría de la competitividad, incorporando factores que van más allá del marco estrictamente económico. La visión integradora refuerza la idea de que la competitividad no es un fin en sí misma, sino que es un medio para garantizar el progreso sostenible de las sociedades.

La teoría de la competitividad también logra incorporar la importancia de la gestión estratégica; de ahí que, Méndez y Medina (2024) advierten la importancia de la planeación estratégica para anticipar los cambios en la conducta del entorno, la manera de ir identificando las oportunidades que permite la innovación y la posibilidad de ir configurando capacidades dinámicas que permitan a las empresas una mejor posición competitiva en el mercado. Este tipo de aspecto se puede vincular con el modelo de Porter, en la medida en que afirman que la creación de ventajas competitivas sostenibles se encuentra en la intersección entre las fortalezas que proporciona la empresa y las condiciones que facilitan el entorno. Entonces, la competitividad está presente en la capacidad que tienen las organizaciones para establecer una visión de largo plazo que esté en línea con las exigencias de la globalización instalado en el entorno.

Otro de los elementos centrales dentro de la teoría de la competitividad es la adaptación al cambio tecnológico; de ahí que, Díaz et al. (2021) manifiestan que las empresas, para poder dar respuesta a las exigencias del mercado actual, deben incorporar tecnologías emergentes como la inteligencia artificial, la automatización y la digitalización de procesos; ya que la adopción de la tecnología no solo aumenta la productividad sino que a su vez permite implementar modelos de negocio que refuercen la posición competitiva de las empresas. Este planteamiento pone de manifiesto la vinculación necesaria que se establece entre la teoría de la competitividad y la transformación digital,

una cuestión que adquiere todavía más importancia a tenor de la denominada cuarta revolución industrial.

A partir de los modelos metodológicos analizados (Porter, Drucker, Deming y Baldrige), estos son herramientas para operacionalizar la teoría de la competitividad en empresas concretas. Tal como lo expresan Méndez y Medina (2024), estos modelos permiten que los conceptos teóricos que conforman la teoría de la competitividad se traduzcan en las prácticas de gestión que mejoren la eficiencia, que refuercen la innovación y que fomenten la cultura de orientación al logro. En este sentido, la competitividad no es un concepto abstracto, sino que es una práctica cotidiana cuya esencia aflora en la manera en que las empresas gestionan sus recursos, motivan a sus empleados muchos días y se relacionan con su entorno.

Por último, Díaz et al. (2021), las organizaciones deben ser conscientes de que competir no es únicamente batirse con los rivales, sino que también se deben generar condiciones para el desarrollo sostenible y equitativo de las sociedades. Este foco cultural permite ofrecer una visión crítica del debate que recuerda que la competitividad no puede medirse únicamente desde una óptica del crecimiento económico, sino que también se puede medir en función de la contribución social y ambiental que puede hacer el mismo. Así pues, la competitividad se convierte en un paradigma complejo, multidimensional y evolutivo que se traduce para las empresas en un compromiso de orientación a la innovación, a la calidad, a la sostenibilidad y a la responsabilidad social.

CAPÍTULO III

Aplicaciones actuales que añaden valor a la sostenibilidad y economía circular.

La transformación tecnológica ha impactado significativamente en diversas áreas de la economía, la sociedad y el medio ambiente, llevando a la generación de cambios disruptivos en los procesos humanos. En esa medida, algunas de esas aplicaciones se han orientado a atender las exigencias actuales en materia de sostenibilidad, garantizando el involucramiento de las organizaciones en las acciones globales por preservar el medio ambiente y fomentar conciencia circular. Con base en ello, estudios como el de Castro, Bowen y Telleria (2025) titulado *Tecnologías emergentes y sostenibilidad empresarial: Innovación digital aplicada a modelos económicos circulares*, hacen alusión a herramientas como el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), la Inteligencia Artificial, el *Blockchain* y el *BigData*. En su estudio relacionan su uso con la posibilidad de reducir residuos, la generación de valor agregado para las organizaciones y la maximización de la eficiencia operativa.

Dentro de los usos encontrados en su revisión, Castro et al. (2025) indican que la IA facilita el desarrollo de modelos predictivos para la optimización de materiales y energía; mientras que, el IoT posibilita monitoreo ambiental al garantizar conexión permanente y en tiempo real de los dispositivos, gestión de recursos hídricos y energéticos de forma inteligente. En lo que respecta al *BigData*, sus aplicaciones involucran el manejo de volúmenes de información de forma masiva, para la identificación de patrones de consumo y la formulación de estrategias basadas en los datos recopilados. Por su parte, el *BlockChain* implica la transparencia y trazabilidad de las cadenas de suministro, reduciendo la probabilidad de fraudes y fomentando la ética organizacional.

De acuerdo con Castro et al. (2025), la impresión 3D ha sido un avance significativo e innovadora que resulta en la fabricación y reparación de componentes bajo demanda, extendiendo la vida útil de los bienes y mitigando los niveles de residuos generados en producciones masivas. Así mismo, Mejía, Rosas

y Hernández (2024) relacionan el uso de plataformas digitales en el reaprovechamiento de los recursos comunitarios y empresariales, entre las que destacan *Circularity Platform* que conecta organizaciones que transfieren sus excedentes de materiales para su reutilización en procesos productivos, reduciendo los costos y articulando esfuerzos interinstitucionales.

Por otro lado, Novoa, Búa, Torres y Sestayo (2021) afirman que la plataforma *Loop y ShareWaste* que ofrece soluciones digitales en los entornos comercial y doméstico en relación a la Economía Circular, fomentando el intercambio de residuos orgánicos para la elaboración de biogás y compostaje. En el estudio de Sempértegui (2023) se exponen las aplicaciones industriales de tecnologías conocidas como “Gemelos digitales” para la simulación de procesos productivos que facilitan la reducción de desperdicios y potenciar la eficiencia energética de las organizaciones antes de su implementación en sitio. En adición, Salinas (2022) analizaron las aplicaciones de las tecnologías en el sector alimenticio a través de plataformas como *Too Good To Go* u *OLIO* cuyo fin es redistribuir existencias o inventario de vencimiento próximo entre empresas y consumidores, de forma que se minimice el desperdicio de productos orgánicos.

Del mismo modo, Raut, Ibne, Kouhizadeh y Fazio (2025) encontraron ejemplos del uso del *Deep Learning* o Aprendizaje Automático en la gestión de residuos locales, mediante el uso de redes neuronales profundas para la clasificación de material visual de los sólidos restantes de la municipalidad. Así mismo, su estudio hace alusión al uso de modelos de pronóstico para determinar y predecir la cantidad de residuos generados en funciones de variables demográficas y socioeconómicas locales. Otros enfoques han abordado el uso de drones, el Análisis Envolvente de Datos de Red Dinámica (NDEA, por sus siglas en inglés) y Redes Neuronales Artificiales (ANN) en el pronóstico de la sostenibilidad en las cadenas de suministro (Shabanpour, Yousefi y Farzipoor, 2021).

Desde otra perspectiva, Raut et al. (2025) mencionan la integración del *BigData* y el *IoT* en las aplicaciones de la logística inversa a lo largo de toda la cadena de suministro como estrategia para

fomentar la circularidad en las organizaciones. Tal acción, permite el diseño circular de los bienes y servicios, mitigar los altos volúmenes de desperdicios garantizando su flujo frecuente y aumentando la Tasa Interna de Retorno de los mismos. Del mismo modo, se han generado Modelos No Convencionales de Toma de Decisiones Multicriterio (MCDM), empleados en la evaluación de escenarios innovadores relacionados con la aplicación de logística inversa fundamentados en técnicas de la Industria 4.0 y recursos como el IoT, *BigData*, la IA y la minería de datos (Krstic, Agnusdei, Miglietta y Tadic, 2022).

Sin embargo, aplicaciones más recientes involucran la gestión inteligente de la energía, la gestión de devoluciones con uso de IA según el análisis de datos históricos generados sobre el comportamiento de los productivos, el uso de robots que empleando IA permiten la gestión eficiente de los residuos desechables y aprovechables, identificación de piezas no empleadas para volverlas compatibles de forma precisa en la industria automotriz (Rau, et al., 2025). También se ha empleado el *Deep Learning* para la construcción de un modelo de Arquitectura de Red de Caracterización de Agregados Reciclados (RACNET, por sus siglas en inglés) con el fin de generar imágenes en 2 dimensiones que permitieran determinar la clase, masa y máscara binaria del agregado recuperado (Lux, Hoong, Mahieux y Turcry, 2023).

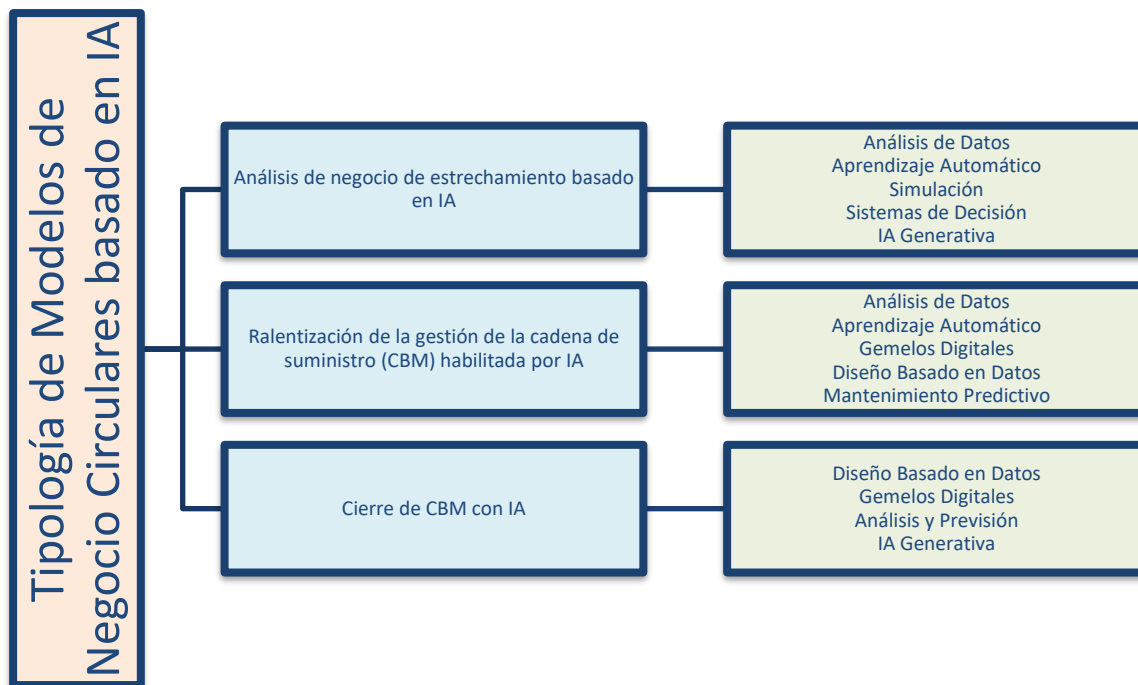
Por su parte, Madanaguli, Sjödin, Parida y Mikalef (2024) aborda la integración de la IA en Modelos de Negocio Circulares (CBM, por sus siglas en inglés) desde la teoría de las capacidades mencionando casos como el de Schneider Electric en su paso para reducir los consumos energéticos en edificaciones industriales y comerciales. Para tal efecto, dicha empresa emplea su plataforma EcoStruxure para el desarrollo de algoritmos basados en Inteligencia Artificial para el análisis de datos de medidores, sensores y sistemas integrados en las edificaciones; lo que los lleva a optimizar el uso de la energía y fomentar su ahorro.

Así mismo los autores mencionan casos del uso de la IA para la predicción y prescripción de datos como el caso de Cisco en la optimización de los procesos de manufactura. En su estudio, Madanaguli et al. (2024) plantean los tipos de modelo de negocio y las tecnologías clave para la

integración de la IA en las propuestas circulares; destacando el estrechamiento basado en la IA, la ralentización de la gestión de la cadena de suministro y el cierre del CBM .

Figura 13

Tipologías y tecnologías clave de IA en CBM



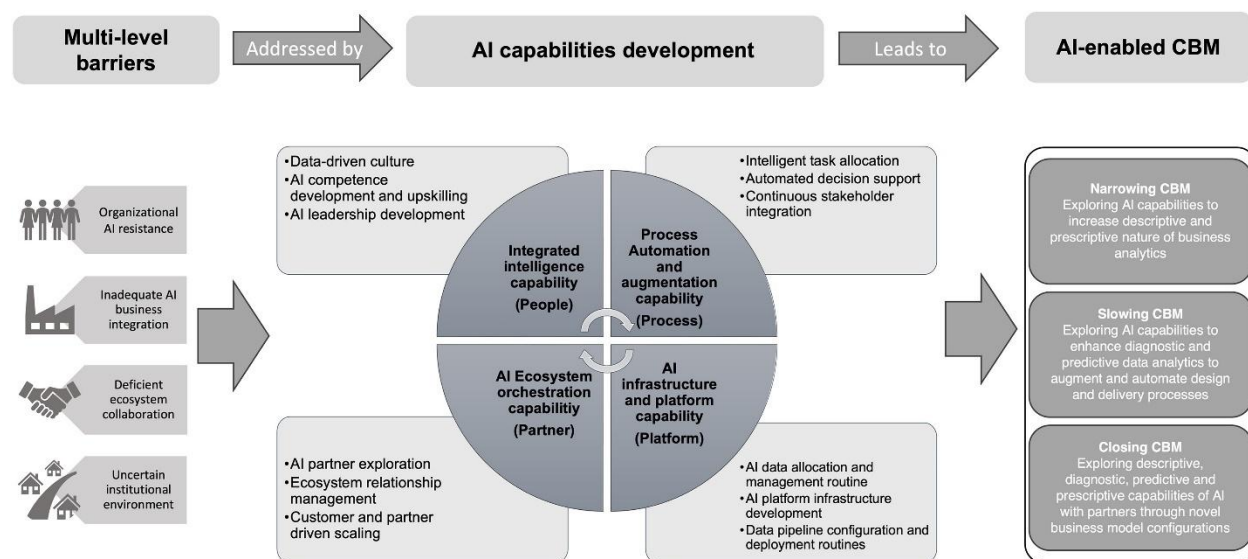
Nota: Elaboración propia. Adaptado de Madanaguli, Sjödin, Parida y Mikalef (2024).

En la figura 14 se aprecia la forma como Madanaguli et al. (2024) explica que el análisis del negocio de estrechamiento basado en la IA busca aprovechar este recurso, tanto para la descripción como la prescripción del negocio con el uso de datos que permitan la identificación de ineficiencias actuales y la definición de sugerencias para la optimización de recursos. En lo que respecta a la ralentización de la gestión de la cadena de suministro, este busca mejorar los análisis realizados en diagnóstico y predicción, automatizando el proceso de diseño/entrega de información mediante la

identificación de patrones de uso. En última instancia, se integran todas las capacidades de la IA mediante la participación de socios en nuevas configuraciones de Modelos de Negocio Circulares.

Figura 14

Integración de la IA en los Modelos de Negocio Sostenibles



Fuente: Tomado de Madanaguli, Sjödin, Parida y Mikalef (2024).

En la figura 14 se encuentra el marco integrador de la IA en los modelos de negocio circular (CBM, Circular Business Models) propuesto por Madanaguli et al. (2024), en el que se muestran “barreras multinivel”, como la resistencia organizativa, la integración inapropiada del negocio con la IA, la escasa colaboración del ecosistema y un contexto institucional incierto, que deben ser consumidas por el desarrollo de la IA para la producción de un CBM habilitado por IA. Las capacidades se estructuran en torno a cuatro dimensiones: personas (cultura orientada a datos, formación en IA y liderazgo), procesos (inteligencia automatizada y automatización, soporte de decisiones y colaboración continua), plataforma (infraestructura, gestión de datos y despliegue) y socios/ecosistema (exploración de alianzas, gestión de relaciones y expansión colaborativa). El mayor desarrollo de realizar estas dimensiones

permite que los modelos circulares de negocio se expandan a través de tres direcciones: narrowing CBM (mejorar el análisis descriptivo y prescriptivo), slowing CBM (potenciar el diagnóstico, la predicción y el diseño automatizado) y closing CBM (desplegar arquitecturas colaborativas de IA con socios para la configuración de nuevos modelos).

Según lo expuesto por Sánchez, Martínez, Manco y Manresa (2024), las nuevas tecnologías han modificado de forma importante los procesos productivos integrando prácticas sostenibles que optimizan los recursos y minimizan los impactos ambientales. La agricultura de precisión, por ejemplo, emplea *Bigdata* para gestionar de manera eficiente el agua y los fertilizantes para minimizar el desperdicio y la contaminación. En el sector industrial, la fabricación aditiva o impresión en 3D promueve la producción local y por encargo, de manera que no existen residuos o emisiones del transporte, como bien se puede constatar en los estudios de caso empresariales de Adidas y Local Motors. Del mismo modo, las plataformas digitales son promotoras de la economía circular al facilitar procesos de reciclaje, reparación y renovación de productos, estableciendo puentes y colaboraciones entre sectores e implicando a los consumidores a participar en procesos sostenibles.

A modo de cierre, el estudio de Zhou (2025) describe el desarrollo de una plataforma para la gestión de residuos alimenticios de establecimientos comerciales del sector gastronómico empleando el IoT, al integrar funcionalidades en distintas fases del ciclo de vida del residuo. En la primera fase se detectan tanto el volumen como la ubicación de los residuos con precisión mediante el uso de tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID, por sus siglas en inglés). En la segunda fase se lleva a cabo la recolección y transporte supervisando las rutas y cantidades reales de residuos en tiempo real; y finalmente, en la fase de disposición se miden o controlan las emisiones, volúmenes de residuos generados/eliminados y los productos derivados del proceso.

CAPÍTULO IV

Casos o ejemplos empresariales que reflejan el efecto de la inteligencia artificial sobre la competitividad sostenible.

Al realizar una revisión de los casos empresariales documentados en la literatura académica se pudo identificar una serie de ejemplos innovadores que hacen eco de la importancia de articular la IA en los procesos productivos e incentivar la competitividad sostenible al mismo tiempo. En ese sentido, Tamarisca y Kularatne (2024) realizaron una revisión de literatura en la optimización del consumo de alimentos en cadenas de supermercados de Nueva Zelanda, cuyos niveles de generación de residuos en el país alcanzan las 60.5 mil toneladas anualmente dadas las exigencias de los consumidores con respecto a la compra de alimentos frescos, llevando a la revisión del caso Tasca expuesto a continuación. De ese modo, Kolev, Hart y Arafailova (2023) hacen alusión al caso de la gran cadena de supermercados Tesco originaria de Reino Unido como ejemplo exitoso; ya que ha logrado implementar algoritmos de Machine Learning o ML en la optimización de los desperdicio como solución a la problemática que planteaban las pérdidas en ingresos y aumentos de los residuos generados en la cadena de suministro.

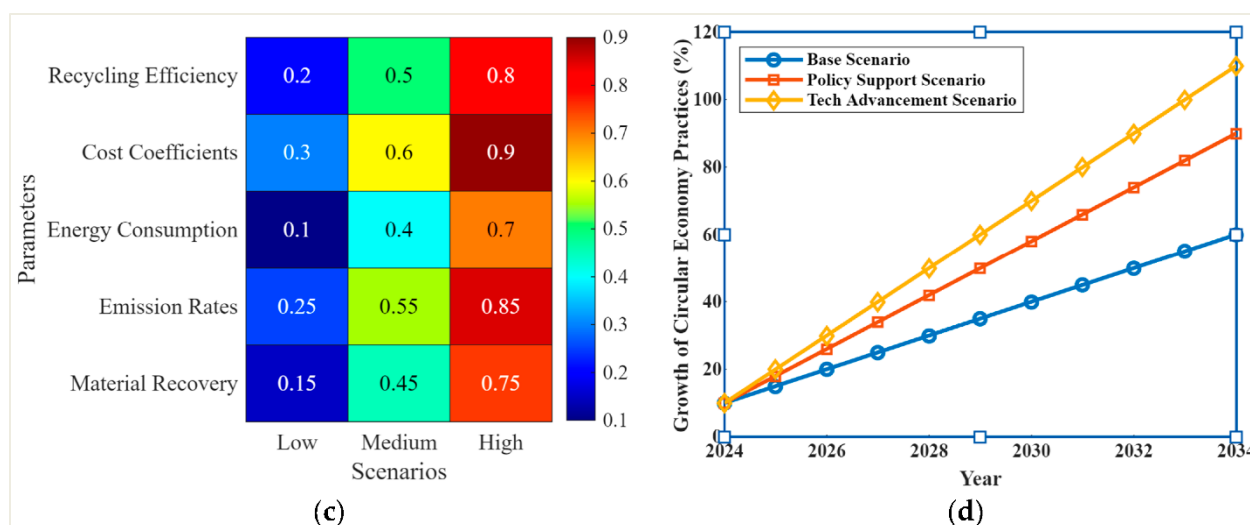
Para tal efecto, Kolev et al. (2023) aplicaron el ML para mejorar la selección de variables relevantes, alinearlos con los objetivos del negocio e interpretar los datos obtenidos con mayor precisión, aumentando el nivel de ingresos y reduciendo los desperdicios. Los resultados obtenidos fueron positivos, ya que Tesco logró reducir en un 5% la cantidad de alimentos fresco con fecha de caducidad próxima que no eran identificados a tiempo y terminaban desechándose. Así mismo, el impacto financiero fue significativo ya que la implementación de este avanzado sistema de pronóstico de la demanda representó un ahorro de 100 millones de libras esterlinas al año para la organización;

misma metodología que fue aplicada en la mejora de los pronósticos y gestión de los inventarios, llevando a la adecuación de surtidos y tamaños de empaque con la información recopilada.

Por su parte, Oladapo, Olawumi y Omigbodun (2024) analizaron la integración de los principios de la Economía Circular en el cierre de los ciclos materiales para la optimización de procesos industriales como la generación de energía limpia, la refinación y la elaboración de vehículos eléctricos. Para tal fin, emplearon el Modelo Brasileño de Uso de la Tierra para los Escenarios Energéticos (BLUES, por sus siglas en inglés) y el modelo de Promedio Móvil Integrado Autorregresivo (ARIMA, por sus siglas en inglés) para la proyección de tendencias asociadas a la optimización de recursos y reducción de emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI); toda vez que se lograba una evaluación del uso de recursos, la producción de residuos y tasas de reciclaje, demostrando proyecciones crecientes de desarrollo de la EC en las empresas como se observa en la figura 15.

Figura 15

Tendencia de crecimiento de la EC en modelos predictivos basados en IA



Fuente: Tomado de Oladapo, Olawumi y Omigbodun (2024).

Bajo esa perspectiva, uno de los casos analizados por Oladapo et al. (2024) expone los resultados obtenidos por una empresa de refinación que implementó tecnologías para la captura y

almacenamiento de gas carbono (CO₂), reutilización de residuos industriales, logrando la reducción del 30% de las emisiones y los desechos transportados a vertederos en el 25%. Mientras tanto, otra de las empresas estudiadas optimizó la gestión de las baterías de los vehículos eléctricos a través de la implementación de un circuito de reciclaje cerrado; logrando recuperar aproximadamente el 90% de los materiales como cobalto y litio.

Al hacer un análisis con los modelos BLUES y ARIMA en ambos casos, se logró una reducción de residuos de hasta el 25% y una eficiencia en procesos de reciclaje de entre el 50% y 83% en comparación con los resultados iniciales. Las validaciones estadísticas realizadas confirmaron la viabilidad y fiabilidad de los pronósticos realizados con IA, destacando el potencial de este recurso para garantizar la independencia de las empresas industriales con respecto al uso de materiales vírgenes, logrando predicciones con un margen de error inferior al 5% en las métricas reales de rendimiento (Oladapo, et al., 2024).

Otro caso analizado es el de la plataforma Foodforecast analizado por los autores Hübner, Caspers, Constantil y Finkbeiner (2024), aplicando un modelo para la previsión de la demanda basada en el Machine Learning para la gestión de desperdicios alimenticios en negocios dedicados a la fabricación de productos de panadería. A modo de contexto, la plataforma Foodforecast ofrece un servicio de Aprendizaje Automático en la nube diseñado para que las panaderías optimicen sus previsiones de ventas en la reducción de desperdicios; tomando como referencia el calentamiento global, la demanda energética acumulada, el agotamiento de recursos abióticos y eutrofización del agua dulce. En su evaluación incluyen los beneficios indirectos de la reducir las devoluciones de productos y la previsión de impactos ambientales directos.

Como resultado de tal iniciativa, para el año 2022 la plataforma influyó en la reducción del 30% de las devoluciones de productos panaderos en promedio, especialmente en bollos y pan. En ese sentido, a través de un Análisis del Ciclo de Vida (ACV) se identificó la forma en que el servicio

pronóstica las ventas al cuantificar las devoluciones, obteniendo una reducción de aproximadamente 2000 toneladas en el total de 175 panaderías que emplean el servicio. Principalmente se registraron reducciones en bollos y pan de 3.381 kg, croissants de 718 kg y se identificó que había niveles de sobreproducción de pretzels y pasteles que alcanzaban los 182 kg.

Mientras tanto, Nu, Belavina y Girotra (2024) implementaron y evaluaron un sistema de medición de los desperdicios de forma digital en las condiciones reales de operación de 900 cocinas comerciales para identificar la causa de la generación de residuos y los mecanismos relacionados. En lo que respecta a los métodos empleados se realizaron estimaciones cuasiexperimentales comparando dos tecnologías distintas: Winnow Classic y Winnow Visión. La primera, se basa en el registro manual en tableta digital apoyado en el uso de básculas; mientras que, la segunda tecnología emplea la clasificación automática por visión computarizada. Así mismo, emplearon un clasificador temporal para determinar los sesgos conductuales que interfieren en las decisiones de inventario, mediante la detección de eventos de desecho identificadas por el sistema *Demand Chasing*.

Los resultados obtenidos durante 3 meses de adopción de la tecnología Winnow Classic llevaron a la reducción del 29% del desperdicio de las cocinas, sin afectar los niveles de ventas en contraste con el 30% obtenido por el uso de Winnow Visión al finalizar los doce meses. En ese sentido, al analizar los datos de reducción con el *Demand Chasing* se apreció una caída del 23%, indicando mejoras en las decisiones de inventario tomadas con la información recopilada. Sin embargo, la heterogeneidad propuesta por las características de los establecimientos gastronómicos indico efectos mayores en sitios pequeños como tipo *Buffet* y mejores beneficios en condiciones donde la variabilidad de la demanda no se ubicase en un punto medio (Nu et al., 2024).

En lo que respecta a la exploración de los mecanismos, se atribuyó la reducción inicial del inventario sobrante, fuera terminado o materia prima a una mejor calidad de la información, ya que anteriormente, el 3% de los eventos no se clasificaba, representando un 26% de las decisiones omitidas

generalmente en eventos de gran magnitud. Lo anterior, demostró que una mejor visión de los datos de inventario y desechos permite una reducción de los sobrantes, los errores de cocina y mermas de materiales. Así mismo, se estableció que el uso de la IA para la medición y retroalimentación del desperdicio corrige sesgos en las decisiones, contribuye al cumplimiento de las metas en sostenibilidad y reduce costos sin afectar los ingresos (Nu et al., 2024).

En otros casos se encuentra la propuesta de restauración de las tiendas del Ingka Group principal comercializador minorista de IKEA, quienes implementaron una estrategia de medición y análisis de datos del desperdicio empleado en sus restaurantes con base en la captura sistemática de información y retroalimentación de resultados con el personal de cocina. Los resultados obtenidos por el negocio involucraron la reducción del 54% de desperdicios en 32 de sus mercados y el salvamento de más de 20 millones de alimentos. En lo que respecta a los indicadores ambientales, el grupo empresarial reportó evitar cerca de 36mil toneladas de Dióxido de Carbono asociadas a la reducción de niveles de merma de materiales en sus operaciones (Ingka Group, 2022).

Por su parte, el Resort Wynn Macau aplicó la tecnología Winnow Visión para automatizar la identificación y cuantificación de las mermas alimenticias en sus cocinas, alimentando tableros de gestión y rutinas de procesos culinarios para la mejora continua. En ese caso, se reportaron reducciones cercanas al 70% del desperdicio generado habitualmente en las áreas de intervención, como resultado a la mezcla de la captura automática de imágenes, clasificación apoyada en IA y la retroalimentación con el talento humano (Hill, 2021). Así mismo, la cadena hotelera también explicó que evitó la generación anual de 350 toneladas de desperdicios, consolidando la base de datos con los costos y causas asociadas para garantizar una optimización de las decisiones de compra de materia prima (Hubspot, 2020).

En la planta de clasificación de Napa Recycling and Waste Services de California, Estados Unidos; la empresa AMP Robotics (2020) ayudo a la incorporación de robótica apoyada en visión con IA para incrementar la captura de materiales incorporando nuevas variables de residuos como polipropileno y

cartones, que anteriormente no eran tenidos en cuenta en el proceso de reciclaje autónomo y debían ser identificados manualmente, de lo contrario terminaban en sitios de disposición final, mejorando el valor recuperado de todas las entradas. De acuerdo con el análisis realizado, los robots soportados por IA estabilizaron la operación, haciendo frente a las ausencias de personal e incentivaron la reasignación de trabajadores a tareas de control de la contaminación, calidad del producto y la consistencia operativa. Como resultado, AMP Robotics reportó purezas de hasta el 98% en la calidad de las clasificaciones de residuos.

Mientras tanto, la empresa TOMRA asistió en la modernización de la línea de clasificación de plásticos flexibles para la empresa Bakcycle Recycling de Turquía mediante la incorporación de su herramienta TOMRA AUTOSORT SPEEDAIR que articula sensores con la IA para estabilizar los flujos de materiales y mejorar la selección de residuos en altas velocidades. En los resultados del caso se documentó un 98% alcanzado en el flujo de plásticos flexibles reciclados, habilitando la producción de gránulos de mayor calidad y un incremento de valor agregado en la fabricación de los envases. En ese sentido, tal compañía ha destacado como referente nacional en el reciclaje de este tipo de materiales, a partir de la combinación de técnicas para el control de procesos y la clasificación inteligente (Recyclinginside, 2025).

Finalmente, se destaca el caso de Greentech Baltic (Green Group) en la incorporación de la plataforma Greyparrot Analyzer en su planta de recuperación de plásticos PET, incorporando la analítica apoyada en IA para el monitoreo de los productos que pasan por la cinta transportadora en tiempo real, reduciendo las fallas en conteo, identificación de características y pérdidas de material que sucedían manualmente. En ese caso, tras la identificación de las pérdidas con la herramienta tecnológica y la recalibración de los parámetros de la línea de producción, se obtuvieron ingresos superiores al 10% con relación al material recuperado, como resultado de una captura mayor y mejor pureza del reciclado. Así

mismo, se hizo alusión a la realización de auditorías/observación permanente del proceso que facilitó la toma de decisiones más objetivos, llevando a la mejora continua del proceso (Steventon, 2025).

Teniendo en cuenta el análisis documental realizado anteriormente, en la tabla 1 se expone la síntesis de las aplicaciones de IA en las propuestas de sostenibilidad e integración de IA para la circularidad económica de casos exitosos identificados con los resultados obtenidos en el proceso.

Tabla 1

Síntesis de los casos de éxito aplicando IA en sostenibilidad y circularidad

Empresa / Sector	Aplicación de IA	Resultado
IKEA (Ingka Group) – Restauración	Análítica/medición de desperdicio en restaurantes	-54% de desperdicio >20 millones de comidas salvadas -36.000 tCO₂e evitadas
Tesco – Supermercados	ML para pronóstico/inventario en frescos	-5% de frescos que vencen (millones de unidades salvadas/año)
Wynn Macau – Hotelería	Visión por computador para merma en cocina	-70% de desperdicio en cocinas intervenidas ≈350 t/año de desperdicio evitado
AMP / Napa Recycling – MRF	Robótica + visión IA para clasificación	Mayor captura de PET/HDPE/cartones/PP Pureza hasta 98% en control de calidad
Bakcycle – LDPE flexible	AUTOSORT™ SPEEDAIR (sensores + IA)	98% de pureza en LDPE reciclado
Greentech Baltic – PRF	Greyparrot Analyzer (analítica IA en cinta)	+10% ingresos por PET recuperado
SISAB/Schneider – Edificios	IA para control HVAC	-8,93% electricidad; -3,12% calefacción Relación carbono 1:60 (beneficio/huella digital)
Google – Data centers	ML para enfriamiento (cooling)	-40% energía de cooling +15% mejora en PUE (caso documentado)

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

Desafíos que traen consigo la interacción de la inteligencia artificial y la economía circular en la competitividad empresarial en las MiPymes de Ocaña, Norte de Santander; mediante la aplicación de una encuesta

A nivel de regulación el principal reto radica en la necesidad de conciliar las nuevas y simultáneas obligaciones que inciden sobre el diseño, los datos y la operación. El Pasaporte Digital de Producto exige registrar y compartir información del ciclo de vida con un nivel de detalle poco común en muchas cadenas de suministro, lo que significa rediseñar procesos y sistemas antes de escalar los casos de uso en IA (European Parliament, 2024a). El AI Act, por su parte, introduce categorías del riesgo y requisitos de gobernanza algorítmica que obligan a revisar la trazabilidad de los datos, la documentación técnica o los mecanismos de transparencia, con impactos directos en el tiempo y en los costes de la adopción (European Commission, 2025). La evidencia legislativa europea indica, además, que estas exigencias son especialmente importantes para las pymes, que presentan capacidades más limitadas y una mayor sensibilidad a los costes de cumplimiento, corriendo el riesgo de quedar rezagadas en mercados exigentes (European Parliament, 2024b).

Un segundo frente problemático se encuentra en la estandarización de la información y la interoperabilidad del conocimiento necesario para implementar modelos circulares basados en IA. La familia de normas ISO 59000 propone un vocabulario común y orientación para la transición, pero su aplicación conlleva traducir orientaciones generales en reglas de datos y en roles o métricas específicas del sector, lo cual aún está lejos de ser consistente entre sectores (ISO, 2024a). La medición y evaluación del rendimiento de la circularidad, además, requieren de sistemas que puedan operacionalizar los indicadores de forma comparable en planta y en cadena, la cual se declara también incompleta y supone un freno para el uso de las últimas capas de analítica (ISO, 2024b). Las investigaciones en torno a

pasaportes digitales evidencian obstáculos prácticos para acordar qué atributos registrar y con qué granularidad, especialmente a la hora de colaborar con múltiples actores a lo largo del ciclo de vida del producto concreto (Ruismäki, Nuortimo, & Pan, 2025). Simultáneamente, la literatura de los espacios de datos industriales muestra que, a pesar de contar con arquitecturas de intercambio de datos soberano, continúan existiendo fricciones en la interoperabilidad semántica y de confianza que obstaculizan, a su vez, el aprendizaje algorítmico a gran escala (Gabellini et al., 2025).

De este modo, la gobernanza de los datos supone una barrera transversal que afecta desde el diseño hasta la logística inversa. Las investigaciones sobre intercambio de datos en modelos circulares destacan la dificultad para compartir información considerada privada; por ejemplo, tasas de rechazo, trazas de mantenimiento o rendimientos en remanufactura, lo cual deriva en datos reducidos y de baja calidad para alimentar a la IA (Ellen MacArthur Foundation & Danish Business Authority, 2021). En la gestión de las compras y del abastecimiento, además, destacan las conductas desalineadas y la bifurcación en la madurez que frenan que esos datos se conviertan en decisiones cotidianas, alimentando silos y haciendo engorrosa la trazabilidad que demanda la circularidad (Steiner et al., 2024). Esta combinación de recelo y diversidad técnica restringe la capacidad de crear modelos robustos y, a su vez, erosiona la expectativa de eficiencia y del control que se le atribuye a la IA en entornos circulares (Gabellini, Fornasiero, & Zangiacomi, 2025).

Y, en el ámbito ambiental, surge una tensión que la empresa debe controlar con atención: la propia infraestructura que permite la IA podría aumentar el consumo de energía y de agua, rompiendo, en ocasiones, metas de sostenibilidad si no se suelen implementar técnicas de mitigación y de reporte. Por ahora, la reciente evidencia sobre la huella hídrica del entrenamiento e inferencia de modelos evidencia consumos significativos que requieren contabilidad por localización y por carga de trabajo para evitar que el impacto sea desplazado para ser oculto (Li, Zhang, & Raghunathan, 2023).

En el ámbito de la esfera pública, se hacen más patentes los llamados a los operadores de los centros de datos para que reporten de forma clara y verificable el uso de recursos, producto del rápido incremento de la demanda que está teniendo lugar a la par del auge de la IA (The Guardian, 2025). De no producirse esta transparencia, la narrativa de sostenibilidad que sustenta la economía circular corre el riesgo de perder credibilidad para los reguladores y para los consumidores (Li, Zhang, & Raghunathan, 2023).

Por último, persisten vacíos metodológicos y vacíos organizacionales que dificultan la consecución de resultados y la capacidad para mantener su aplicación en el tiempo. La propia investigación sobre las métricas de circularidad expresa una fragmentación de los indicadores y de limitaciones de los enfoques que solamente persiguen la eficiencia, convirtiéndose en dificultosas a la hora de poder desarrollar mejoras reales sobre la base de intervenciones que combinan IA y esfuerzos circulares en diversidad de entornos productivos (Shevchenko, Shmeleva, & colegas, 2024).

Los estudios sobre el efecto de rebote advierten que incrementos de la eficiencia hace que el resultado sea una mayor consumición agregada si no han sido diseñadas salvaguardias o controles de demanda, corriendo el riesgo de conseguir el efecto opuesto al deseado de anular beneficios ambientales y reputacionales (Schultz, Purnell, & colegas, 2024). A nivel operativo, las cadenas digitalizadas incrementan la superficie de ataque y exigen capacidades particulares de ciberseguridad para proteger datos, propiedad intelectual y continuidad de servicio, algo que no resulta siempre disponible en los proveedores y en los socios de la cadena (Steiner, Purnell, & colegas, 2024).

A eso hay que sumarle las restricciones de talento y de financiamiento, en especial en las pymes, que dificultan la mejora de la madurez de los equipos y de los sistemas, incrementando la dependencia de pilotos limitados y alargando el tiempo necesario para poder consolidar aprendizajes y retornos (Awad, Nuseibeh, & Amro, 2025). En definitiva, de la suma de todas estas problemáticas se percibe que la interrelación entre la IA y la economía circular es capaz de requerir tanto marcos claros de datos y de

medición como de requerir inversiones sostenidas en capacidades técnicas y organizativas para que la aplicación no se convierta solamente en algo que permanezca en fases experimentales (European Parliament, 2024b).

Análisis de resultados

Tras finalizar el análisis documental que permitió conocer los principales enfoques teóricos, normativos y técnicos referentes a la interrelación entre la inteligencia artificial y la economía circular, se procedió al contraste con la realidad empresarial del contexto local, llevando a cabo el diseño y aplicación de una encuesta a un grupo representativo de micro, pequeñas y medianas empresas (MiPymes) de Ocaña, destinada a conocer efectivamente qué retos se encuentran a la hora de comenzar el uso de las innovaciones antes mencionadas en sus procesos productivos, comerciales y de gestión. De este modo, la elaboración de esta fase empírica permitió obtener información relevante acerca de la falta de limitaciones en el ámbito tecnológico, financiero, de conocimiento y de las percepciones empresariales en torno a los pros y contras a tener en cuenta en relación con su implantación, como se aprecia a continuación.

Tabla 2

Sector económico al que pertenece la empresa

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Comercio (minorista o mayorista).	5	50,0	50,0	50,0
Servicios.	4	40,0	40,0	90,0
Manufactura/Industria.	1	10,0	10,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

La estructura sectorial de la muestra se encuentra descrita en la tabla 2 y presenta cinco empresas de comercio mayorista y minorista que representan el 50,0 %; cuatro empresas de los

servicios llegaron hasta el 40,0 % y una empresa de manufactura y/o industria con el 10,0 %. Puedes ver que los resultados hacen alusión a que el contexto de las MiPymes encuestadas en la investigación es predominantemente comercial. Por tal motivo, los retos para implantar inteligencia artificial y sostenibilidad económica se centran en mejorar las tareas de gestión y la rotación de inventarios, garantizar la trazabilidad de los productos en sus ciclos de vida, planificar esquemas de logística inversa con puntos de acopio en tienda y, por último, mejorar el tener bases de datos transaccionales con calidad y consistencia.

Tabla 3

Principal fuente de información o apoyo que podría consultar la empresa en temas de innovación, digitalización o sostenibilidad en el ámbito local

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Cámara de Comercio de Ocaña.	7	70,0	70,0	70,0
Consultores/Proveedores externos a la ciudad.	3	30,0	30,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se describe en la tabla 3, siete de cada diez MiPymes indican a la Cámara de Comercio de Ocaña como la principal fuente de información y soporte en innovación, digitalización o sostenibilidad; es decir, el 70,0 %, mientras que tres empresas apuestan por optar por consultores o proveedores ajenos a la ciudad, lo que corresponde al 30,0 %. Dichos resultados evidencian que el ecosistema local de referencia se construye, en torno a la institucionalidad gremial, ya que facilita el acceso a la capacitación, los programas de fortalecimiento empresarial y las ventanillas de servicios, pero también concentra la intermediación del conocimiento en un único agente. De cara a la integración de la inteligencia artificial y la economía circular, esta preferencia apunta que los esfuerzos en términos

de difusión técnica, la estandarización básica de los datos y el acompañamiento en el diagnóstico inicial, podrán ser desplegados desde de la Cámara de Comercio.

Tabla 4

Gestión actual de residuos aprovechables de la empresa

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Se venden o entregan a recicladores de oficio formales.	3	30,0	30,0	30,0
Únicamente son recogidos por el servicio municipal de aseo.	7	70,0	70,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Según la información de la tabla 4, las siete compañías que declaran que la recogida de sus residuos aprovechables se realiza usando sólo el servicio municipal de aseo para la recolección a lo que corresponden el 70,0 %, mientras que el 30,0 % se encuentra respondiendo que los venden o ceder a los recicladores de oficio formales. Estos resultados estarían evidenciando que el grupo de encuestados predominan los sistemas de disposición poco articulados a los canales de valorización, lo que implicaría limitar la recolección de materiales y la trazabilidad necesaria por fortalecer prácticas de economía circular sustentada por la inteligencia artificial. Tal patrón sugiere vacíos en segregación en la fuente, acuerdo con recicladores y registro de flujos, lo que prefiguran condicionantes para la disponibilidad de los datos y la estandarización de la producción que se considera inherente con procesos de medición de circularidad, optimización de rutas o bien configuración de logística inversa de acuerdo a la espacialidad del lugar.

Tabla 5

Percepción sobre el uso de tecnologías inteligentes o sostenibles para generar ventaja competitiva

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Sí, es un factor clave de diferenciación.	4	40,0	40,0	40,0
Sí, pero la ventaja es limitada.	2	20,0	20,0	60,0
No, el mercado local no lo valora suficientemente.	3	30,0	30,0	90,0
No, representa un costo que no se compensa localmente.	1	10,0	10,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

En consonancia con el contenido reflejado en la tabla 5, cuatro empresas reconocen la utilización de tecnologías inteligentes o sostenibles, por considerarlas un importante factor de diferenciación materializando un porcentaje del 40,0 %, en tanto que dos empresas valoran positivamente su uso aunque con ventaja escasa con un 20,0 %. Tales resultados muestran que seis de cada diez MiPymes perciben algún grado de aporte competitivo vinculado con la utilización de tecnologías, lo que refleja un contexto favorable aunque no unánime en la integración de estas tecnologías en los procesos de inteligencia artificial y economía circular.

En contraste a las tres empresas que afirman una insuficiente valoración del mercado por tal tipo de prácticas que aportan un 30,0 % en el cómputo general, o la única empresa que considera que la utilización de tales prácticas comporta un sobrecoste que no compensa en un entorno comercial equivalente un 10,0 %. Este hecho es muestra de una percepción entre la diferenciación esperada y el escepticismo en cuanto al retorno de la inversión, y aunque el peso de valoración positiva es superior al de las barreras de demanda o coste, la tasa relevante de identificaciones de barreras de demanda o costes muestra la importancia del escepticismo para un desarrollo en este sentido.

Tabla 6*Nivel de conocimiento actual sobre IA y su aplicación en procesos de EC*

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Alto: Se conoce el concepto, sus tipos y se identifican aplicaciones sostenibles	1	10,0	10,0	10,0
Medio: Se conoce el concepto básico de IA y se ha oído sobre su uso en sostenibilidad	3	30,0	30,0	40,0
Bajo: Se conoce el término IA, pero se desconocen sus aplicaciones en sostenibilidad	3	30,0	30,0	70,0
Nulo: No se conoce el concepto de Inteligencia Artificial ni Economía Circular o sus aplicaciones.	3	30,0	30,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Observando la tabla 6, se aprecia que el nivel de conocimiento correspondiente a la inteligencia artificial está acompañado de su grado de conocimiento de su aplicación en economía circular no avanza en los tramos del conocimiento: una única compañía presenta alto nivel de conocimiento y el porcentaje es de 10,0 %, tres tienen conocimiento medio (30,0%), tres de bajo nivel (30,0%) y tres con nulo conocimiento (30,0%). De esta forma, los resultados indican que dicho tejido empresarial encuestado tiene una base más mayoritaria entre medio, bajo y nulo, para un porcentaje que asciende al 90,0 %, por lo que la comprensión de los conceptos, los usos y los alcances del conocimiento acerca de la IA en las prácticas circulares es incipiente. Lo cual redundaría en que la adopción de soluciones para trazabilidad, análisis de datos de residuos u optimización de inventarios circularmente responsables tiene que lidiar con la existencia de barreras en cuanto a la alfabetización tecnológica y la apropiación del concepto,

pues sólo una fracción minoritaria de respondientes declara conocimiento suficiente para identificar aplicaciones sostenibles o la idoneidad operativa de éstas.

Tabla 7

Principal ventaja considerada sobre la implementación de la IA para innovar

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Optimización de procesos/recursos (reducción de costos, eficiencia).	3	30,0	30,0	30,0
Diferenciación de producto/servicio (mejora de calidad, nuevas ofertas).	1	10,0	10,0	40,0
Toma de decisiones estratégica (ej.: análisis predictivo).	1	10,0	10,0	50,0
No se identifican ventajas relevantes para la empresa.	5	50,0	50,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

E Conforme a lo que se puede ver en la tabla 7, la percepción de valor competitivo de la IA está fraccionada en los resultados obtenidos; ya que 5 empresas no ven ventajas relevantes (50,0 %), mientras que 3 empresas consideran que el principal beneficio reside en la optimización de procesos y recursos, reducción de costes y mejoras de eficiencia (30,0 %). En otro nivel se encuentra la diferenciación de producto o servicio (10,0 %) dada por una empresa y mejora de la toma de decisiones estratégica mediante análisis predictivo, la cual es mencionada por otra empresa (10,0 %). Estos resultados muestran que el grupo de empresas encuestadas presenta predominantemente una visión escéptica respecto de las ventajas inmediatas de la IA, junto con un pequeño bloque que relaciona su utilidad a eficiencias operativas y a un menor nivel a mejoras de la oferta o a capacidades de análisis.

Tabla 8

Medida en que la empresa logra competitividad por integrar prácticas sostenibles con apoyo tecnológico

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Totalmente de acuerdo: Es indispensable para la competitividad actual.	2	20,0	20,0	20,0
De acuerdo: Aporta una ventaja, pero no es el único factor.	3	30,0	30,0	50,0
Ni de acuerdo ni en desacuerdo: Es deseable, pero el costo supera el beneficio.	4	40,0	40,0	90,0
En desacuerdo: La competitividad se basa en precio y calidad, no en tecnología sostenible.	1	10,0	10,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los datos de la tabla 8, dos empresas muestran estar total o muy de acuerdo en que la combinación de prácticas sostenibles con el uso de la tecnología es clave para la competitividad de sus modelos de negocio, alcanzando una proporción del 20,0 %; mientras que, tres empresas muestran estar de acuerdo en que el uso de la tecnología debe ofrecer cierta ventaja pero no la única contribución para ser competitivos, alcanzando una tasa de participación del 30,0 %.

De este modo, estos resultados indican que casi la mitad de las MiPymes consultadas reconoce tener algún efecto competitivo positivo proveniente de la combinación de la sostenibilidad e inteligencia artificial, perciben a la vez reservas sobre su peso relativo en términos de desempeño. El grupo más significativo de empresas lo forman cuatro empresas que se encuentran en una posición intermedia con una tasa del 40,0 %, ya que en este caso consideran que la combinación de la sostenibilidad y tecnología sería deseable cuando el costo de la sostenibilidad tiende a superar la ventaja competitiva que podría esperarse; este signo indica la existencia de barreras sobre la disponibilidad de recursos financieros o sobre el bajo retorno esperado a corto plazo.

Tabla 9*Participación en programas de formación sobre IA y sostenibilidad*

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Sí, sobre IA y sostenibilidad.	1	10,0	10,0	10,0
Sí, solo sobre IA.	1	10,0	10,0	20,0
Sí, solo sobre sostenibilidad.	1	10,0	10,0	30,0
No, no se ha recibido formación o consultado información técnica formal.	7	70,0	70,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 9, únicamente hay una empresa que reporta la existencia de formación específica en inteligencia artificial y en sostenibilidad con una participación del 10,0%, una más que reporta la formación de manera exclusiva en IA con un 10,0%, una más que reporta que sólo existe formación en sostenibilidad con un 10,0%, mientras que siete empresas no reportan ningún tipo de entrenamiento ni consulta de información técnica formal con una participación del 70,0%. Estos resultados hacen que la brecha formativa sea mayoritaria en el grupo encuestado en la medida que impida la apropiación de los conocimientos básicos de la implementación de las soluciones de IA para el abordaje de las prácticas de economía circular. También el peso relativamente bajo de aquellos que han formado un curso integral hace que se reduzca la probabilidad de ir integrando de una manera coherente los aspectos técnicos-operativos-ambientales en las decisiones empresariales.

Tabla 10

Área en que la empresa utiliza o podría utilizar herramientas de datos para optimizar la toma de decisiones

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Gestión de inventario/cadena de suministro (ej: predecir demanda).	1	10,0	10,0	10,0
Eficiencia energética/recursos (ej: monitoreo de consumo).	1	10,0	10,0	20,0
. Relación con el cliente (ej: hábitos de consumo sostenible).	2	20,0	20,0	40,0
No se usan o no se identifica el potencial en estas áreas.	4	40,0	40,0	80,0
Se desconoce sus beneficios y aplicaciones.	2	20,0	20,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con lo indicado en la tabla 10, hay una alta proporción de la no utilización o de la no identificación del potencial de estas herramientas, correspondiente a un 40,0 % de las MiPymes encuestadas; hay que añadir un 20,0 % que indica que desconoce el beneficio y las formas de aplicar estas herramientas, lo que nos da una base muy limitada para la adopción de decisiones basadas en analítica. La relación con el cliente se sitúa en un 20,0 % como área en la que ya se utilizan o se podrían utilizar dichas herramientas, la gestión de inventarios y cadena de suministro se sitúa en el 10,0 % y la eficiencia energética y de recursos en el 10,0 %. Lo expuesto anteriormente denota que la adopción efectiva se produce en la relación comercial con el mercado e irrumpe con un protagonismo menor en los procesos operativos esenciales para la economía circular como previsión de demanda, supervisión de consumos y optimización de flujos; por lo que la lectura del contexto local es de una analítica de datos poco extendida y dispersa en las MiPymes de Ocaña.

Tabla 11*Herramientas digitales o prácticas con enfoque ambiental implementadas en la empresa*

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Software de gestión (ERP) con módulo de impacto ambiental/trazabilidad.	2	20,0	20,0	20,0
No se ha implementado ninguna de las anteriores.	8	80,0	80,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 11, únicamente dos empresas poseen software de tipo ERP que incluya trazabilidad o medición de impacto ambiental, cifra que supone el 20,0 %, mientras que ocho empresas no han implementado ningún tipo de las opciones que se presentan y forman así un todo del 80,0 %. Tales cifras implican una escasa penetración de herramientas digitales de carácter medioambiental en el tejido de MiPymes que ha sido objeto del análisis, lo que implica una escasa disponibilidad de datos estructurados de flujos de materiales, de consumo de recursos, de generación de residuos, lo que limita la posibilidad de poder nutrir modelos de inteligencia artificial orientados a economía circular; por ejemplo, para medir el desempeño de la circularidad, calcular las huellas o habilitar esquemas de logística inversa y la que limita en la trazabilidad que fuera necesaria para dar respuesta a los requerimientos de reportes y de seguimiento en la localización.

Tabla 12*Inversiones realizadas en tecnología para optimizar el uso de recursos en la MiPyme*

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Sí, en los últimos 2 años.	2	20,0	20,0	20,0
Sí, hace más de 3 años.	1	10,0	10,0	30,0

Está planificado para el próximo año.	1	10,0	10,0	40,0
No, no se han realizado inversiones con ese propósito.	6	60,0	60,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 12, seis MiPymes mencionan que no han realizado inversiones enfocadas en optimizar el uso de recursos, cifra que equivale al 60,0 % del total de la población analizada, y dos afirmaron haber realizado gastos en inversiones en los últimos dos años, lo cual representa una cuota del 20,0 %; además, una empresa refleja haber realizado inversiones económicas hace más de tres años (10,0 %) y otra tiene previsto hacerlo en el año entrante (10,0 %); tales evidencias muestran una dinámica de adopción tecnológica muy rezagada, un bloque pequeño que ha incorporado soluciones recientes y una parte que no refleja o pospone la adopción de un cierto gasto. De cara a integrar inteligencia artificial y economía circular, este esquema incorpora limitaciones presupuestales y de priorización que limitan la actualización de infraestructura, la toma de datos de operativa y la incorporación de ordenadores para eficiencia de recursos.

Tabla 13

Frecuencia con que se evalúan en la empresa las oportunidades de mejora en términos de eficiencia y sostenibilidad apoyados en tecnologías avanzadas

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Anualmente o más.	4	40,0	40,0	40,0
Nunca se ha realizado una evaluación formal.	6	60,0	60,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Según lo indicado por la tabla 13 de este estudio, seis de las doce MiPymes, es decir, el 60,0 % de ellas, indican que nunca han llevado a cabo una evaluación formal para establecer oportunidades de mejora, principalmente en relación con la sostenibilidad y la dimensión de la eficiencia, cuando han sido respaldadas por medio de avances tecnológicos. Por su parte, las cuatro MiPymes que contestan que las llevan a cabo con frecuencia anual o más a menudo representan un 40,0 % de las mismas.

Estas cifras sugieren que la práctica de la medición y la revisión forma sistemática mayoritariamente no existe dentro de este grupo encuestado, y se podría decir incluso que esto limita posibilidades de llegar a identificar brechas de tipo operativo y verificar los retornos derivados de las prácticas anteriores en inteligencia artificial y en la economía circular. La falta de evaluación formal también se traduce en una ausencia de líneas de base, de indicadores comparables y de registros referidos a la historia, ingredientes básicos para poder priorizar inversiones y operar ajustes en los procesos y en la mejora de manera sostenida en el tiempo.

Tabla 14

Medición de aspectos relacionados con la sostenibilidad mediante el uso de herramientas TIC o software especializado

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Generación / Gestión de residuos.	1	10,0	10,0	10,0
No se miden.	9	90,0	90,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Según la información presentada en la tabla 14, son nueve las Mi-Pymes que indican que no llevan a cabo la medición de aspectos vinculados a sostenibilidad. El porcentaje correspondería a un 90,0 %, mientras que solo una empresa es capaz de indicar la medición de la gestión o generación de residuos con una representación de un 10,0 %. Estos datos son indicativos de que la medición con

soporte digital apenas existe tal y como se observa en el grupo encuestado; hecho que también implica que no hay líneas base a las que referirse, no existen comparativas en el tiempo sobre los indicadores y tampoco existe la posibilidad de verificar si ha habido mejora por las iniciativas de economía circular que ponen la inteligencia artificial de manera tangente. La falta de la medición con soporte sustituye la disponibilidad de datos estructurados sobre flujos de material y consumos y la trazabilidad necesaria para la creación logística inversa, y también impide poder priorizar las inversiones desde un punto de vista del retorno.

Tabla 15

Percepción sobre el papel de la tecnología en la estrategia para la competitividad de la empresa

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Pilar estratégico y diferenciador.	2	20,0	20,0	20,0
Herramienta de soporte operativo.	1	10,0	10,0	30,0
Costo operativo necesario.	1	10,0	10,0	40,0
Factor irrelevante o secundario.	6	60,0	60,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 15, seis empresas MiPymes la consideran como un factor irrelevante o secundaria en su estrategia, representando el 60,0 % del total; dos la consideran como oficina estratégica y diferenciador, con el 20,0 %; una la percibe como herramienta de soporte operativo con el 10,0 % y otra la considera como coste operativo necesario con el 10,0 %. Estos resultados nos indican que la tecnología se percibe mayoritariamente como una orientación táctica o incluso prescindible, cosa que condiciona de forma negativa la integración de la inteligencia artificial y la economía circular al relegarla en sus prioridades presupuestarias, directivas, y de competencias o capacidades internas. En

contraposición, el grupo que la considera como pilar estratégico abre opciones a proyectos en clave competitiva, aunque su peso relativo es aún reducido para generar efectos de arrastre en el tejido local.

Tabla 16

Principal limitación en la adopción de la IA y la EC en las MiPymes de Ocaña

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Falta de conocimiento / Conciencia de la Gerencia.	4	40,0	40,0	40,0
Alto costo / Barreras económicas de inversión.	1	10,0	10,0	50,0
Ausencia de personal cualificado o capacitado.	1	10,0	10,0	60,0
Falta de apoyo (políticas públicas, incentivos).	4	40,0	40,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Según muestra la tabla 16, las empresas MiPymes de Ocaña destacan dos restricciones principales e igualmente importantes: la ausencia de conocimiento o de conciencia de la gerencia con hasta el 40,0 % y la falta de apoyo externo políticas públicas e incentivos también con el 40,0 %. La realidad de estas respuestas evidencia que la integración de inteligencia artificial y economía circular se ve frenada en la toma de decisión estratégica interna, donde la dirección no prioriza y/o conoce suficientemente el alcance de estas adopciones. Así mismo, en el entorno institucional que no aporta ningún estímulo ni acompañamiento para reducir la incertidumbre de implementación. En menor medida emergen el alto coste o las barreras económicas de inversión con un 10,0 % y la falta de personal capacitado (10,0 %), lo que sugiere que, aunque existen restricciones financieras y de capacidades técnicas, la principal limitante se ubica en la sensibilización directiva y en la disponibilidad

de instrumentos públicos que activen la demanda tecnológica y que apoyen la puesta en marcha de tales iniciativas.

Tabla 17

Costo percibido de las tecnologías sostenibles en las MiPymes

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Demasiado alto: Inversiones inalcanzables.	3	30,0	30,0	30,0
Alto: Requiere financiación y afecta la rentabilidad inicial.	2	20,0	20,0	50,0
Aceptable: Se puede asumir con planificación.	2	20,0	20,0	70,0
Bajo: Se compensa rápidamente con el ahorro/beneficio.	3	30,0	30,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Tal y como señala la tabla 17 las percepciones del coste de las tecnologías sostenibles guardan una distribución polarizada entre las MiPymes, ya que tres MiPymes lo valoran como “demasiado elevado” denotando inversiones inalcanzables y, por tanto, suponen el 30,0 % de las respuestas. Por su parte, dos MiPymes, lo estiman como “alto” ya que detectan la necesidad de financiación con el consiguiente impacto en la rentabilidad inicial y apuntan al 20,0 %; otras dos MiPymes lo consideran “aceptable”, siempre y cuando exista planificación y tienen el 20,0 % de las respuestas; y finalmente tres MiPymes responderían “bajo” al considerar que podría compensarse rápidamente con el ahorro o con el beneficio y sumarían el 30,0 %.

Estos valores muestran que la muestra perceptiva sobre las barreras económicas asociativas saca a relucir un patrón bimodal, el 50,0 % de las MiPymes perciben un coste del uso de tecnologías sostenibles como una barrera económica importante y, el 50,0 % estiman como importante la viabilidad

económica de las tecnologías sostenibles, siempre sujeta a la gestión interna. De forma que el grupo de respuestas corresponde a la situación inicial heterogénea para adoptar decisiones de adopción tecnológica situadas en el ámbito de las MiPymes.

Tabla 18

Nivel de disponibilidad percibida del personal técnico capacitado en Ocaña para el desarrollo de proyectos de IA/Digitalización sostenible

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Muy alta: Se cuenta con el talento interno o se encuentra fácilmente.	2	20,0	20,0	20,0
Baja: La escasez de talento es una barrera importante.	3	30,0	30,0	50,0
Nula: No existe personal con el perfil requerido.	5	50,0	50,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Conforme a la tabla 18, la disponibilidad de personal técnico especializado en Ocaña para proyectos de IA y digitalización sostenible se encuentra en niveles bajos: cinco MiPymes consideran que no existen perfiles adecuados y representan el 50,0 %, tres piensan que la escasez es una barrera importante y alcanzan el 30,0 %, mientras que tan solo dos opinan que la disponibilidad de talento es muy alta y suponen el 20,0 %. Estas cifras evidencian que el entorno local cuenta con una escasa base de especialización que se traduce en dificultades a la hora de tener equipos internos, en un mayor dependencia de proveedores externos y procesos de adopción más largos en proyectos de inteligencia artificial y economía circular. La combinación de consideraciones “nula” y “baja” como mayoría absoluta describe una situación de mercado laboral con una oferta restringida para competencias digitales

avanzadas y que interfiere en la capacidad de las MiPymes para implementar soluciones que requieren analítica de datos, integración de software y gestión técnica permanentemente.

Tabla 19

Percepción sobre el apoyo de políticas públicas locales y regionales para la transformación digital sostenible de las MiPymes

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Muy favorable: Hay suficientes incentivos y acompañamiento.	1	10,0	10,0	10,0
Desfavorable: La normativa es una barrera o no hay apoyo.	4	40,0	40,0	50,0
Se desconocen las políticas públicas vigentes.	5	50,0	50,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Según los datos expuestos en la tabla 19, la mitad de las MiPymes que fueron encuestadas manifiesta no conocer las políticas públicas vigentes para la transformación digital sostenible reflejando el 50,0 %, un 40,0 % de las MiPymes determina la percepción que el entorno normativo es desfavorable, lo que significa que lo considera como una barrera o un entorno carente de apoyo y sólo un 10,0 % de las MiPymes considera muy favorable la situación normativo-legal que determina que puede percibir incentivos y acompañamiento para las MiPymes. Los resultados manifiestan una realidad institucional que determina la configuración del entorno normativo en el que predomina la falta de información y una clara valoración negativa al entorno normativo para las MiPymes, posibilitado a través de la menor claridad para hacer accesibles y visibles los programas de apoyo y la baja visibilidad de instrumentos que pudieran ayudar en la integración de la IA y la economía circular en las MiPymes que se encuentran en el contexto local.

Tabla 20

Principal dificultad técnica para adaptar la tecnología a la realidad operativa e infraestructura de las MiPymes en Ocaña

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Falta de soluciones específicas para el tamaño y sector de la MiPyme.	5	50,0	50,0	50,0
Obsolescencia del equipo existente.	3	30,0	30,0	80,0
Ninguna, la adaptación técnica es viable.	2	20,0	20,0	100,0
Total	10	100,0	100,0	

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla 20, la principal dificultad técnica para poder adaptar la tecnología a la operativa concreta de las MiPymes en Ocaña está caracterizada por encontrarse con una oferta de soluciones que no son propias a su tamaño ni a su sector, presentando una incidencia del 50,0%. Estos resultados muestran cómo la unión de la inteligencia artificial y de la economía circular viene marcada, en primer lugar, por un desajuste entre la oferta y la demanda de tecnología que responde a los procesos ligeros, bajo volumen y bajo presupuesto de estas empresas. La obsolescencia de los equipos existentes se presenta como una segunda dificultad con el 30,0%, limitando la posibilidad de incorporar software de gestión, sensores y módulos de trazabilidad para poder capturar y analizar datos operativos. Así mismo, un 20,0% afirma que la adaptación técnica es viable, lo que denota la existencia de casos con infraestructuras mínimas adecuadas o con acompañamiento externo que lo viabilizan.

Bajo esa perspectiva, los hallazgos de la encuesta muestran un tejido empresarial donde impera el comercio y servicios, y donde los apoyos locales se concentran fundamentalmente en la Cámara de Comercio de Ocaña, como principal referencia para informarse y acompañarse en transformación, digitalización, sostenibilidad. La solución de la gestión de los residuos aprovechables se hace prácticamente mediante el servicio municipal de aseo, con muy escasa articulación a circuitos de

valorización o acuerdos estables con recicladores, lo que impide la trazabilidad y el aprendizaje operativo.

Respecto a las capacidades internas, el grado de conocimiento que se tiene sobre inteligencia artificial y su relación con la economía circular se sitúa, en general, entre básico e incipiente y la participación en los programas de formación es muy reducida. También es escasa la presencia de software de gestión que cuente con módulos de trazabilidad o impacto ambiental, la medición digital de los indicadores de sostenibilidad es casi inexistente y las inversiones recientes en tecnología para optimizar recursos son poco frecuentes; además, persiste la falta de evaluación formal y periódica que permita establecer líneas bases, comparar avances y sustentar decisiones para la mejora.

En cuanto a la dimensión estratégica, la tecnología suele verse como un elemento más bien secundario que como un pilar diferenciales de primer orden, lo que la lleva a tener menor urgencia en la ordenación de los recursos y a ralentizar la integración de las soluciones IA-EC, lo que llevó a que las principales barreras que citan fueran una combinación de las internas y las externas; como el liderazgo o sensibilización directiva, debilidades en el talento técnico disponible e incluso percepciones encontradas en relación con los costes adoptados; a esto hay que añadir un entorno que describe unas políticas públicas poco visibles o incluso desfavorables para una buena parte de las empresas. En el plano técnico, la dificultad que aparece con más frecuencia es la desajuste entre la oferta de tecnología y las necesidades de las MiPymes, sobre todo a soluciones poco adaptadas por tamaño y sector, y la obsolescencia de los equipos que pone en dificultades la interconexión.

CAPÍTULO VI. Discusión

Según Peretó (2023) , la IA está transformando el paradigma productivo, ya que la IA está cambiando el mismo a través de lo que él llama automatización inteligente, así como la toma de decisiones en función de los datos. Advertimos que este último conseguiría un impacto positivo, si se sabe gestionar la IA de manera ética y socialmente responsable por parte de la empresa y las instituciones. Este planteamiento se puede correlacionar con la situación de las MiPymes ocañeras, en donde la mayoría de los empresarios reconocen que la tecnología es importante, pero no la ven como un pilar estratégico y evidencia la distancia entre cómo se percibe el cambio y cómo se aplica en la práctica.

Según Rue, Villa, Cardona, Valencia y Velásquez (2025), uno de los mayores problemas tiene que ver con la falta de sistemas de medición homogéneos que permitan medir cómo se avanza hacia la circularidad, cosa que se da en las empresas locales donde la mayoría no lleva un seguimiento de residuos en digital ni utilizan las TIC en la trazabilidad de los procesos. Este hallazgo está en línea con la alarma de los autores, porque estos mismos advierten también que sin medidas para poder ser comparable es difícil demostrar el valor competitivo de la circularidad que es provocada por IA.

En lo relativo a las aplicaciones de negocio, Pathan, Richardson, Galvan y Money (2023) describen experiencias de éxito en países desarrollados que han mejorado la eficiencia, por medio de analítica de datos, visión computacional y previsiones de la demanda, en negocios de restauración y una industria sísmica como la del sector elaborador de alimentos. Y es que, cuando contrastamos estas experiencias con el caso Ocaña, las MiPymes o pequeñas y medianas empresas no presentan tecnología que les permita replicar esta experiencia o falta de talento. Eso está mostrando que existe una brecha no sólo entre las experiencias más avanzadas y las que podemos observar en Ocaña sino también con la

variación inusitada de la falta de inversión que mantenga esta actividad y la poca articulación con elementos de la empresa, la universidad y el gobierno.

Además, el caso Awad, Nuseibeh y Amro (2025) encuentran que las barreras para la adopción de inteligencia artificial en pequeñas empresas también responden a la falta de cultura organizativa contextualizada en los principios de la innovación apropiada al uso de la tecnología en organizaciones del tipo. De este modo, los resultados del estudio evidencian que buena parte de las empresas ocañeras asocian la tecnología con un costo y no con una oportunidad, evidenciando una mentalidad de corto plazo que dificulta la posibilidad de desarrollar ventajas competitivas sostenibles. Esta tendencia confirma el hecho de que el cambio tecnológico no se basa únicamente en recursos, sino en liderazgo gerencial y en una visión estratégica.

En lo que respecta a la formación, Chakraborty, De y Dey (2025) muestran que la consolidación de ecosistemas de innovación debe poner el foco al fortalecer las competencias digitales y el pensamiento analítico del personal del trabajo. En la muestra analizada, la mayoría de las MiPymes son conscientes de la ausencia de personal formado en IA o sostenibilidad, impidiendo un aprovechamiento integral de las herramientas digitales. La falta de talento especializado limita la capacidad de las empresas para convertir los datos en conocimiento útil lo que, a su vez, limita también su competitividad frente a economías más digitalizadas.

Desde el aspecto institucional, Padilla Rivera, Morales Brizard, Merveille y Güereca (2024) inciden en que la carencia de políticas públicas coherentes y de incentivos económicos es la principal barrera para lograr la transición hacia la economía circular. Los resultados del estudio así lo indican: más de la mitad de las MiPymes declara desconocer la existencia de programas o normativas de respaldo, y las que sí conocen consideran que son escasas y/o complejas a la hora de gestionarlas. Esta carencia entre la política y la práctica empresarial deja en evidencia la necesidad de reforzar la gobernanza del territorio y la interinstitucionalidad para que los instrumentos normativos se plasmen en una tutela real.

En el plano técnico, Gabellini, Fornasiero y Zangiacomi (2025) advierten de que la interoperabilidad de datos, la calidad de la información y la falta de estándares en común son los escollos principales para la integración de la IA y la EC en los sistemas productivos. La evidencia empírica local avala este discurso, dado que las empresas entrevistadas también indicaron que tenían problemas para acceder a plataformas o softwares que fuesen acordes a su tamaño y sector. Este obstáculo se acentúa por el envejecimiento tecnológico del equipo, también indicado por Griffiths (2025), que defienden que los elevados costes de actualización y las disfunciones provenientes de la obsolescencia tecnológica hacen que la implementación de proyectos circulares en empresas pequeñas sea poco rentable.

En la misma línea, Li, Kuppusamy, Barman y colaboradores (2023) advierten sobre el consumo energético y la huella de carbono de estos sistemas de IA, y reconocen que la creación de modelos más eficientes debe ir acompañada de estrategias de compensación medioambiental. En cambio, las MiPymes locales han comenzado a tener conciencia de la importancia de la digitalización en términos de sostenibilidad, por lo que la incorporación de la IA comienza a vincularse más con la productividad que no con el cuidado ambiental. Una falta de conexión conceptual que pone de manifiesto la necesidad de trabajar por una forma de ver el mundo más holística en la cual la tecnología y la sostenibilidad no supondrán compartimentos estancos.

Con respecto a lo que se refiere a los indicadores de rendimiento, la escasez de métricas comparativas y de metodologías robustas para evaluar la circularidad genera incertidumbres sobre los beneficios reales de la IA aplicada a la sostenibilidad, como también señalan Shevchenko et al., 2024; en la muestra ocañera, esto se manifiesta en la falta de seguimiento de algunos indicadores, como la generación de residuos o la eficiencia energética. Del mismo modo, Schultz, Purnell y colaboradores (2024) y Lowe et al. (2024) incitan con respecto al efecto rebote que se puede dar en situaciones donde los avances tecnológicos en eficiencia implican un aumento neto del consumo de recursos; el hecho de

que no exista medición en las organizaciones empresariales locales hace que no sea posible anticipar ciertas situaciones difíciles que limitan el aprendizaje y la mejora de esta situación.

Desde la óptica de la competitividad, Mamash, Iyiola y Aljuhmani (2025) afirman que el éxito empresarial en economías de tipo emergente depende de la adopción de modelos sustentables que incorporen la innovación tecnológica y la gestión ambiental, y este planteamiento va de la mano con el realizar una observación de que las MiPymes ocañeras que han realizado una pequeña inversión en eficiencia energética o en digitalización del negocio, benefician los resultados de productividad de las empresas. En cambio, ya desde la aceptación de la condición de postpandemia, Méndez y Medina (2024) toman la postura desde donde ese tipo de competitividad exige repensar los indicadores que marcan los requerimientos de las empresas a partir de su práctica empresarial, priorizando la resiliencia, la sustentabilidad y la inteligencia estratégica, y en este sentido los resultados del estudio expresan que la voluntad de ir hacia esos nuevos indicadores de competitividad es poco a poco muy lenta o desigual.

Por otro lado, el enfoque protegido de la Teoría de Recursos y Capacidades de Barney (1991) nos ofrece una interpretación importante en torno a los hallazgos. Según este autor, la ventaja competitiva sostenible se da cuando las organizaciones desarrollan recursos que son valiosos, raros, inimitables y no sustituibles. Las MiPymes objeto de este análisis no han alcanzado a transformar las tecnologías digitales en recursos estratégicos y sostenidos, pues la incapacidad de convertirlas en capacidades organizativas y culturales que los sostuviesen es un hecho. En esta dirección, la Teoría Institucional de DiMaggio y Powell (1983) también nos ayuda a entender que muchas organizaciones adoptan discursos en torno a la sostenibilidad y la innovación sociales a partir de la imitación o del poro social, no tanto por un convencimiento exteriormente adquirido, fenómeno al que también apuntan los datos obtenidos.

CAPÍTULO VII. Conclusiones

El estudio integral de los hallazgos llevó a identificar que la confluencia de inteligencia artificial (IA) y economía circular (EC) no solo supone una definición nueva sobre nuevas maneras de producción y de consumo sino que introduce la posibilidad de nuevos modelos de competitividad empresarial fundamentados en la gestión inteligente de los recursos. En la vertiente teórica, la revisión documental evidenció que los avances tecnológicos y las prácticas sostenibles no deben ser dimensiones separadas sino que deben ser interdependientes de una misma estrategia de desarrollo. Autores como Peretó (2023) y Helfat, Karim y Murmann (2023) detallan que la inteligencia artificial puede hacer también de catalizador de la innovación sostenible para la automatización de la toma de decisiones y la optimización del ciclo de vida de los productos siempre que exista una cultura organizacional orientada hacia la transformación digital ético-ambiental.

De esa forma, la evidencia obtenida de las MiPymes de Ocaña indica un marcado rezago: no cuentan con métricas de sostenibilidad, tienen escasa inversión en infraestructura digital y desconocen el potencial de la IA, lo que deja clara la distancia entre el discurso y la práctica de la sostenibilidad en estas organizaciones. A partir de este punto, la investigación corroboró que la competitividad empresarial en contextos incipientes depende de la escasez de talento técnico; de la carencia de una estandarización en la forma de manejar los datos y de la escasa articulación institucional. Esta situación corrobora las declaraciones de Rue et al. (2025) y de Gabellini et al. (2025) que, sin marcos normativos firmes y plataformas interdependientes, la circularidad ajena a la IA no se puede trazar y sustentar de una manera técnica.

Las empresas locales se encuentran en una fase de adopción parcial, en la que predomina la dependencia de la tecnología y la improvisación, situándose en un contexto que favorece la disminución de su capacidad de aprendizaje organizacional. Igualmente, la revisión de experiencias internacionales

aportadas por Pathan et al. (2023) y Mamash et al. (2025) evidencia que los casos de integración IA–EC de éxito están basados en ecosistemas colaborativos con respaldo financiero, infraestructura de datos y políticas de innovación, pero que en Ocaña las MiPymes están mostrando un aislamiento operacional y baja conexión con redes de conocimiento.

Por su parte, la comparación entre contextos nota que la digitalización sostenible no es un proceso tecnológico, sino un fenómeno socioeconómico que requiere gobernanza multinivel, visión estratégica y liderazgo empresarial comprometido. La investigación igualmente permitió llegar a la conclusión acerca de que los problemas de la IA y la EC no se limitan solo a la cuestión económica. A ese respecto, Li et al. (2023) advierten que la IA presenta un alto consumo energético y una importante huella de carbono, como bien señala el dilema de utilizar tecnología para mitigar impactos sin generar otros. Las MiPymes ocañeras todavía no asumen estos riesgos, aunque introducirlos inicialmente en la agenda empresarial podría significar adelantarse a las exigencias futuras de sostenibilidad mundial.

Por último, la evidencia empírica muestra cómo la IA y la EC pueden ser vectores de desarrollo local siempre y cuando se entiendan y asuman en una lógica de aprendizaje colectivo y cooperación territorial. Los resultados del estudio no solo añaden una mirada crítica sobre la distancia teórica y práctica, sino que constituyen un punto de partida para la formulación de las políticas y modelos de formación que articulen lo técnico, lo ambiental y lo competitivo; desde los espacios académicos, este trabajo enriquece las miradas sobre la transición hacia la sostenibilidad digital en regiones periféricas, ofreciendo una mirada empírica nunca antes vista sobre cómo las MiPymes podrían construir ventajas competitivas desde la inteligencia ecológica y el conocimiento digital aplicado.

CAPÍTULO VIII. Recomendaciones

En primera instancia, se aconseja crear un laboratorio territorial operado bajo condiciones de innovación sostenible, que integre universidades, cámaras de comercio y empresas locales, que sirva como laboratorio de experimentación y transferencia tecnológica. Esto permitiría adaptar las herramientas de IA a las necesidades reales de las MiPymes, desarrollar prototipos de trazabilidad circular y validar indicadores de eficiencia energética en tiempo real.

En segundo lugar, se sugiere crear una plataforma de gobernanza digital de los datos de las empresas en sus distintas dimensiones, donde las MiPymes puedan compartir datos de producción, residuos y consumo energético respetando estándares de seguridad e interoperabilidad. Dicho mecanismo, denominado de esa forma porque toma como base los modelos europeos de los pasaportes de producto digitales, permitiría llegar a la creación de algoritmos locales para predecir la demanda, la reutilización de materiales o la gestión inteligente de residuos y hacer que sean los agentes económicos los que movilicen economías colaborativas entre sectores.

Una tercera recomendación se refiere a la creación de programas de inteligencia ecológica aplicada entroncados con la formación universitaria y para la formación técnica cuyo objetivo principal sería la creación de competencias híbridas que combinaran pero no se limitaran a los análisis de datos, al pensamiento circular o la ética medioambiental. Este tipo de formación consolidaría el capital humano en la región y permitiría reducir la distancia entre el conocimiento académico y la práctica empresarial, activando así la aparición de perfiles profesionales que hayan sido preparados para liderar proyectos de transición digital sostenible.

Asimismo, se propone crear sistemas de financiamiento verde inteligentes, que se apoyen en sistemas de evaluación automática en donde intervenga la inteligencia artificial para medir el impacto de los proyectos empresariales en términos sociales y medioambientales. Estos instrumentos

permitirían orientar los recursos hacia aquellas iniciativas que demuestren resultados comprobables en cuanto a reducción de emisiones, eficiencia en el uso de recursos o circularidad, al tiempo que se reduce la carga de subjetividad en la distribución de los incentivos públicos.

Desde la política pública, se sugiere la construcción de una política local de digitalización circular impulsada por la legislación a partir de incentivos fiscales en el proceso de adopción de tecnologías limpias, de certificación de la trazabilidad medioambiental, de ayuda técnica de acompañamiento a la adopción de la tecnología, etc.; dicha política pública tenía que incluir criterio de economía del conocimiento y aprendizaje organizacional para conseguir que las prácticas de producción negocien para la transformación hacia modelos de producción adaptativos e inteligentes.

Finalmente, desde el ámbito académico, se requiere seguir investigando en tres líneas complementarias: la medición del impacto real de la IA en la reducción de generación de residuos y de emisiones; el diseño de metodologías de evaluación integradas que midan la circularidad en MiPymes; la identificación de los factores sociotécnicos que condicionan la adopción de la tecnología en contextos rurales y urbanos intermedios. Tales líneas de investigación sirvieron para consolidar un cuerpo de conocimiento intersectorial que orientara la construcción de las políticas públicas y la reconfiguración de las estrategias empresariales.

Referencias

- Agrawal, R., Wankhede, V. A., Kumar, A., Luthra, S., Majumdar, A., & Kazancoglu, Y. (2022). An exploratory state-of-the-art review of artificial intelligence applications in circular economy using structural topic modeling. *Operations Management Research*, 15(3–4), 609–626.
<https://doi.org/10.1007/s12063-021-00212-0>
- Ahmed M, Mubarik MS, Shahbaz M. Factors affecting the outcome of corporate sustainability policy: A review paper. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28(9):10335–10356. doi:
<https://10.1007/s11356-020-12143-7>
- AMP (2022). *Napa Recycling & Waste Services. MRF now diverting polypropylene, along with PET, HDPE and cartons, thanks to technology investments.* <https://ampsortation.com/case-studies/how-napa-recycling-expanded-material-capture-and-i>
- Awad, I. M., Nuseibeh, H., & Amro, A. A. (2025). Competitiveness in the Era of Circular Economy and Digital Innovations: An Integrative Literature Review. *Sustainability*, 17 (10), 4599.
<https://doi.org/10.3390/su17104599>
- Awad, I. M., Nuseibeh, H., & Amro, A. A. (2025). Competitiveness in the era of circular economy and digital innovations: An integrative literature review. *Sustainability*, 17(10), 4599.
<https://www.mdpi.com/2071-1050/17/10/4599>
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Boulding, K. E. (1966). *The Economics of the Coming Spaceship Earth*. Resources for the Future/Johns Hopkins University Press.
- Carayannis, E. G., & Campbell, D. F. J. (2012). *Mode 3 knowledge production in quadruple helix innovation systems*. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2062-0>

Castillo, D., y Reyes, J. (2021). *Economía Circular: Análisis del papel e importancia del Consumidor*.

https://idear.espol.edu.ec/sites/default/files/posters/edicion_x/Econom%C3%ADa_Castillo%20Denisse_Reyes%20Jennifer_ECONOM%C3%8DA%20Circular%20%28consumidor%29.pdf

Castro Cedeño, D. P., Bowen Cruzatty, M. L., & Telleria Polanco, M. de J. (2025). Tecnologías emergentes y sostenibilidad empresarial: Innovación digital aplicada a modelos económicos circulares.

Revista Pulso Científico,3(3), 167–180. <https://doi.org/10.70577/rps.v3i3>.

Castro-Quelal, L. R., Herrera-Tapia, E. H., & Castro-Quelal, D. A. (2024). Modelos de Negocios

Circulares: Hacia una Economía Sostenible en el Sector Emprendedor. *Journal of Economic and Social Science Research*,4(1), 122–148. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v4/n1/84>

Cerdá, E., & Khalilova, A. (2016). Economía circular. *Economía industrial*, 401(3), 11-20.

Chakraborty, A., De, D. Dey, P. K. (2025). Circular Economy in Small and Medium-Sized Enterprises—

Current Trends, Practical Challenges and Future Research Agenda. *Systems*, 13 (3), 200.

<https://doi.org/10.3390/systems13030200>

Chang TW, Wang KH, Lin YH. Corporate sustainability: It's mine! effect of green product psychological ownership on the environmental behavior and performance of employees. *Sustainability*.

2020;12(24):10514. doi: <https://10.3390/su122410514>.

Cockburn, I. M., Henderson, R., & Stern, S. (2018). The impact of artificial intelligence on innovation: An exploratory analysis. In *The economics of artificial intelligence: An agenda* (pp. 115-146).

University of Chicago Press.

Crisóstomo VL, Freire FDS, Freitas MRDO. Determinants of corporate sustainability performance—

Evidence from Brazilian panel data. *Social Responsibility Journal*. 2020;16(8):1053–1072. doi:

<https://10.1108/SRJ-04-2018-0102>.

- Crook, T. R., Ketchen, D. J., Combs, J. G., & Todd, S. Y. (2008). Strategic resources and performance: A meta-analysis. *Strategic Management Journal*, 29(11), 1141–1154.
<https://doi.org/10.1002/smj.703>
- Díaz Muñoz, G. A., Quintana Lombeida, M. D., & Fierro Mosquera, D. G. (2021). La competitividad como factor de crecimiento para las organizaciones. *Innova Reseach Journal*, 6 (1), 145-161.
<https://doi.org/10.33890/innova.v6.n1.2021.1465>
- DiMaggio, P. J. (1988). Interest and agency in institutional theory. In L. G. Zucker (Ed.), *Institutional patterns and organizations: Culture and environment* (pp. 3–21). Cambridge, MA: Ballinger.
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147–160.
<https://doi.org/10.2307/2095101>
- Dyer, J. H., & Singh, H. (1998). The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. *Academy of Management Review*, 23(4), 660–679.
<https://doi.org/10.5465/amr.1998.1255632>
- Ellen MacArthur Foundation & Danish Business Authority. (2021). *Looping on data: Best practices and barriers for sharing data in circular business models*.
<https://content.ellenmacarthurfoundation.org/m/b9dda900dd7c171c/original/Looping-on-data-Best-practices-and-barriers-for-sharing-data-in-circular-business-models.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation. (2021). *The Butterfly Diagram: Visualising the Circular Economy*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2023). *Schools of thought that inspired the circular economy*.
- Endiana I, Dicriyani NLGM, Adiyadnya MSP, Putra IPMJS. The effect of green accounting on corporate sustainability and financial performance. *The Journal of Asian Finance, Economics, and Business*. 2020;7(12):731–738. doi: <https://10.13106/jafeb.2020.vol7.no12.731>.

Espina Romero, L., Noroño Sánchez, J. G., Vilvhez Pirela, R. A., & Ochoa Díaz, A. (2025). Digitalización y gestión de datos en la economía circular. *Revista Venezolana De Gerencia*, 30(110), 269-286.

<https://doi.org/10.52080/rvgluz.30.110.26>

Etzkowitz, H. (2003). Innovation in innovation: The Triple Helix of university–industry–government relations. *Social Science Information*, 42(3), 293–337.

<https://doi.org/10.1177/05390184030423002>

Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: From National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109–

123. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(99\)00055-4](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(99)00055-4)

European Commission. (2015). *Closing the Loop—An EU Action Plan for the Circular Economy*.

European Commission. (2020). *Circular Economy Action Plan (CEAP 2020)*.

European Commission. (2025). *European approach to Artificial Intelligence (AI Act — marco regulatorio y cronograma)*. <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>

European Parliament. (2024a). *Digital product passport for the textile sector (Study PE 757.808)*.

European Parliamentary Research Service.

https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2024/757808/EPRS_STU%282024%29757808_EN.pdf

European Parliament. (2024b). *The impact of EU legislation in the area of digital and green transition on SMEs (Study PE 754.213)*. Committee on Internal Market and Consumer Protection.

https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2024/754213/IPOL_STU%282024%29754213_EN.pdf

Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). *Strategies for Manufacturing*. Scientific American.

- Gabellini, M., Civolani, L., Ronchi, M., Naldi, L. D., & Regattieri, A. (2025). Data spaces in manufacturing and supply chains: A review and insights from European initiatives. *Applied Sciences*, 15(11), 5802. <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/11/5802>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). The Circular Economy—A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- Ghardallou, W. (2022). Corporate Sustainability and Firm Performance: The Moderating Role of CEO Education and Tenure. *Sustainability*, 14 (6), 3513. <https://doi.org/10.3390/su14063513>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32.
- Gómez Blamco, S., Rodríguez González, A., & Herrero Latour, R. (2025). Potencialidades de la Inteligencia Artificial en la aplicación de estrategias circulares en el marco de la logística inversa. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, 13 (24), 115-135. DOI: 10.5380/relainep.v13i24
- González Arencibia, M., & Cervantes Rosas, M. D. A. (2024). *Convergencia de la Economía Circular y la Digitalización: Caminos para un Futuro Sostenible*. Editorial RILCO. https://www.rilco.org/wp-content/uploads/2024/12/Libro_Innovación_digital_20241105.pdf
- González, M. S., Román, C. B., Robles Lagos, C., & Vaca Lombana, G. (2025). Gestión empresarial de la sostenibilidad, RSE e Inteligencia Artificial. Una nueva frontera en las decisiones. *Región Científica*, 4 (1), 2025382. <https://doi.org/10.58763/rc2025382>
- Government of Japan. (2000). *Basic Act for Establishing a Sound Material-Cycle Society*. Ministry of the Environment (MOE).
- Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation. *California Management Review*, 33(3), 114–135. <https://doi.org/10.2307/41166664>

- Greenwood, R., Oliver, C., Lawrence, T. B., & Meyer, R. E. (2017). *The Sage handbook of organizational institutionalism* (2nd ed.). London: Sage.
- Griffiths, P., Itanola, M., Andabaka, A., & Atstāja, D. (2025). Hurdles to a Circular Built Environment: A Look at the Economic and Market Barriers. *Building*, 15 (8), 1332.
<https://doi.org/10.3390/buildings15081332>
- Haenlein, M., & Kaplan, A. (2019). A brief history of artificial intelligence: On the past, present, and future of artificial intelligence. *California management review*, 61(4), 5-14.
- Helfat, C. E., Kaul, A., Ketchen, D. J., Barney, J. B., Chatain, O., & Singh, H. (2023). Renewing the resource-based view: New contexts, new concepts, and new methods. *Strategic Management Journal*, 44(1), 1–24. <https://doi.org/10.1002/smj.3450>
- Hill, R. (2021). *Wynn Macau cuts food waste by 70% with Winnow Vision*. Winnow Solutions.
<https://blog.winnowsolutions.com/wynn-macau-cuts-food-waste-by-70-with-winnow-vision>
- Hübner, N., Caspers, J., Constantil Coroamă, & Finkbeiner, M. (2024). Machine-learning-based demand forecasting against food waste: Life cycle environmental impacts and benefits of a bakery case study. *Journal of Industrial Ecology*, 28 (5), 1117-1131. <https://doi.org/10.1111/jiec.13528>
- Hubspot (2020). *How Wynn Macau slashed food waste by 70% with Winnow Vision*.
https://650776.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/650776/2024/Case%20Studies/Wynn%20Macau%2070%25_ALL.pdf
- INGKA (2022). *IKEA halves food waste and saves +20M meals in four years*.
<https://www.ingka.com/newsroom/ikea-stores-halve-production-food-waste-saving-more-than-20-million-meals-over-four-years>
- International Organization for Standardization (ISO). (2024a). *ISO 59004:2024 — Circular economy: Vocabulary, principles and guidance for implementation*.
<https://www.iso.org/standard/80648.html>

- International Organization for Standardization (ISO). (2024b). *ISO 59020:2024 — Circular economy: Measuring and assessing circularity performance*. <https://www.iso.org/standard/80650.html>
- Jacobsen, N. B. (2006). Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark: A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects. *Journal of Industrial Ecology*.
- Kantabutra S, Punnakitikashem P. Exploring the process toward corporate sustainability at a Thai SME. *Sustainability*. 2020;12(21):9204. doi: <https://10.3390/su12219204>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221–232.
- Kolev, A., Hart, R., & Arafailova, E. (2023). Tesco: Reduced to Clear. *Impact*, 1, 7–10. <https://doi.org/10.1080/2058802X.2023.2202575>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppala, J. (2018). Circular Economy: The concept and its limitations, *Ecological Economics*.
- Kraatz, M. S., & Block, E. S. (2008). Organizational implications of institutional pluralism. In R. Greenwood, C. Oliver, K. Sahlin, & R. Suddaby (Eds.), *The Sage handbook of organizational institutionalism* (pp. 243–275). London: Sage.
- Krstić, M., Agnusdei, G. P., Miglietta, P. P., & Tadić, S. (2022). Evaluation of the smart reverse logistics development scenarios using a novel MCDM model. *Cleaner Environmental Systems*, 7, 100099. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2022.100099>
- Laville, S. (2025, 7 de febrero). *Call to make tech firms report data center energy use as AI booms*. The Guardian. <https://www.theguardian.com/technology/2025/feb/07/call-to-make-tech-firms-report-data-centre-energy-use-as-ai-booms>
- Lee MKK. Effective green alliances: An analysis of how environmental nongovernmental organizations affect corporate sustainability programs. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 2019;26(1):227–237. doi: <https://10.1002/csr.1674>

- Leydesdorff, L. (2012). The Triple Helix, Quadruple Helix, ..., and an N-tuple of helices: Explanatory models for analyzing the knowledge-based economy? *Journal of the Knowledge Economy*, 3(1), 25–35. <https://doi.org/10.1007/s13132-011-0049-4>
- Li, P., Yang, J., Islam, M. A., & Ren, S. (2023/2025). *Making AI Less “Thirsty”: Uncovering and Addressing the Secret Water Footprint of AI Models*. arXiv:2304.03271. <https://arxiv.org/pdf/2304.03271>
- Lowe, B. H., Bimpizas-Pinis, M., Zerbino, P., & Genovese, A. (2024). Methods to estimate the circular economy rebound effect: A review. *Journal of Cleaner Production*, 443, 141063. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624005109>
- Lux, J., Hoong, J.D., Mahieux, P. Y., & Tucry, P. (2023). Classification and estimation of the mass composition of recycled aggregates by deep neural networks. *Comput. Ind*, 148, 103889. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103889>
- Madanaguli, A., Sjödin, D., Parida, V., & Mikalef, P. (2024). Artificial intelligence capabilities for circular business models: Research synthesis and future agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 200, 123189. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.123189>
- Makridakis, S. (1995). The forthcoming information revolution: Its impact on society and firms. *Futures*, 27(8), 799-821.
- Mamash, A., Iyiola, K., & Aljuhmani, H. Y. (2025). The Role of Circular Economy Entrepreneurship, Cleaner Production, and Green Government Subsidy for Achieving Sustainability Goals in Business Performance. *Sustainability*, 17 (9), 3990. <https://doi.org/10.3390/su17093990>
- Mazur B, Walczyna A. Bridging sustainable human resource management and corporate sustainability. *Sustainability*. 2020;12(21):8987. doi: <https://10.3390/su12218987>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. North Point Press.

- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. (1972). *The Limits to Growth*. Club of Rome/Universe Books.
- Medina Romero, M. A., Hurtado Tiza, D. R., Muñoz Murillo, J. P., Ochoa Cervantez, D. O., & Izundegui Ordóñez, G. (2015). *Método mixto de investigación: Cuantitativo y cualitativo*. Editorial INUDI Perú. Instituto Universitario de Innovación Científica y Tecnología.
<https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/download/118/160/189?inline=1>
- Mejía, F. J., Rosas, M., y Hernández, G. (2024). Economía circular en países con economías emergentes: Un estudio comparativo artículo de divulgación científica. *Tendencias en energías renovables y sustentabilidad*, 3(1), 1-5: DOI: <https://10.56845/terys.v3i1.183>
- Méndez, G. G. R., & Medina, D. E. M. (2024). 7. Análisis teórico de la competitividad empresarial, modelos e indicadores, estrategias alternas para la sobrevivencia post COVID-19. In *Miradas transversales y reflexiones desde la educación, la empresa y el ambiente* (pp. 87-104). Comunicación Científica.
- Meyer, J. W., & Rowan, B. (1977). Institutionalized organizations: Formal structure as myth and ceremony. *American Journal of Sociology*, 83(2), 340–363. <https://doi.org/10.1086/226550>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio*.
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Estrategia-Nacional-de-Economia-Circular-2019-Final.pdf>
- National People's Congress of China. (2008/2009). *Circular Economy Promotion Law of the People's Republic of China*.
- Novoa, C. G., Búa, M. V., Torres, M. R., y Sestayo, C. R. (2021). *Digitalización, inteligencia artificial y economía circular*. Thomson Reuters Aranzadi.

- Nu, Y., Belavina, E., & Girotra, K. (2024). Using Artificial Intelligence To Reduce Food Waste. *Cornell SC Johnson College of Business – SSRN*, 1-56. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4826777>
- Oladapo, B. I., Olawumi, M. A., & Omigbodun, F. T. (2024). AI-Drive Circular Economy of enhancing sustainability and efficiency in industrial operations. *Sustainability*, 16 (23), 10358. <https://doi.org/10.3390/su162310358>
- Oliver, C. (1991). Strategic responses to institutional processes. *Academy of Management Review*, 16(1), 145–179. <https://doi.org/10.5465/amr.1991.4279002>
- Onyeaka, H., Tamasiga, P., Nwauzoma, U. M., Miri, T., Juliet, U. C., Nwaiwu, O., & Akinsemolu, A. A. (2023). Using artificial intelligence to tackle food waste and enhance the circular economy: Maximising resource efficiency and minimising environmental impact: A review. *Sustainability*, 15(13), 10482. <https://doi.org/10.3390/su151310482>
- Padilla Rivera, A., Morales Brizard, M., Merveille, N., & Güereca Hernández, L. P. (2024). Barriers, Challenges, and Opportunities in the Adoption of the Circular Economy in Mexico: An Analysis through Social Perception. *Recycling*, 9 (5), 71. <https://doi.org/10.3390/recycling9050071>
- Pathan, M. S., Richardson, E., Galvan, E., & Mooney, P. (2023). The Role of Artificial Intelligence within Circular Economy Activities—A View from Ireland. *Sustainability*, 15 (12), 9451. <https://doi.org/10.3390/su15129451>
- Pathan, M. S., Richardson, E., Galvan, E., & Mooney, P. (2023). The role of artificial intelligence within circular economy activities—A view from Ireland. *Sustainability*, 15(12), 9451. <https://doi.org/10.3390/su15129451>
- Pauli, G. (2010). *The Blue Economy: 10 Years, 100 Innovations, 100 Million Jobs*. Japan Economic Foundation.
- Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1989/1990). *Economics of Natural Resources and the Environment*. Johns Hopkins University Press.

- Peretó Rovira, A. (2023). *Evolución e impacto de la Inteligencia Artificial desde una perspectiva económica: una mirada global, europea y regional*. [Tesis Doctoral, Universitat d'Alacant].
Repositorio Institucional.
- Peteraf, M. A., & Barney, J. B. (2003). Unraveling the resource-based tangle. *Managerial and Decision Economics*, 24(4), 309–323. <https://doi.org/10.1002/mde.1126>
- Popenici, S. A., & Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12(1), 1-13.
- Priem, R. L., & Butler, J. E. (2001). Is the resource-based “view” a useful perspective for strategic management research? *Academy of Management Review*, 26(1), 22–40.
<https://doi.org/10.5465/amr.2001.4011928>
- Ranga, M., & Etzkowitz, H. (2013). Triple Helix systems: An analytical framework for innovation policy and practice in the Knowledge Society. *Industry and Higher Education*, 27(3), 237–262.
<https://doi.org/10.5367/ihe.2013.0165>
- Raut, S., Ibne Hossain, N. U., Kouhizadeh, M., & Fazo, S. A. (2025). Application of artificial intelligence in circular economy: A critical analysis of the current research. *Sustainable Futures*, 9, 100784.
<https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100784>
- Rébula de Oliveira, U., Pombo Menezes, R., & Aprigliano Fernandes, V. (2023). A systematic literature review on corporate sustainability: contributions, barriers, innovations and future possibilities. *Environ Dev Sustain*. 1-35. doi: 10.1007/s10668-023-02933-7.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9839962/#CR171>
- RecyclingInside (2025). *Maximizing LDPE recovery | TOMRA Success Story | AUTOSORT™ SPEEDAIR*.
<https://recyclinginside.com/recycling-technology/separation-and-sorting-technology/maximizing-ldpe-recovery-tomra-success-story-autosort-speedair/>

- Roberts, H., Zhang, J., Bariach, B., Cowls, J., Gilbert, B., Juneja, P., Tsamados, A., Ziosi, M., Taddeo, M., & Floridi, L. (2024). Artificial intelligence in support of the circular economy: Ethical considerations and a path forward. *AI & Society*, 39(3), 1451–1464. <https://doi.org/10.1007/s00146-022-01596-8>
- Rodrigues da Costa, M. (2024). *Inteligencia Artificial Verde*. [Tesis de Pregrado, Universitat Oberta de Catalunya] Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/10609/151151>
- Rua Hernández, J. C., Villa Enciso, E., Cardona Acevedo, S., Valencia, J., & Velasquez Salas, S. (2025). Smart Innovation for a Circular Economy: A Systematic Review of Emerging Trends and the Future of AI in the Sustainable Economy. *Sustainability*, 17 (13), 5793. <https://doi.org/10.3390/su17135793>
- Ruismäki, W., Nuortimo, K., & Pan, S. (2025). Stakeholder perspectives on digital product passports for construction products. *Circular Economy and Sustainability*, 5, 100745. https://www.researchgate.net/publication/396604142_Stakeholder_perspectives_on_digital_product_passports_for_construction_products
- Rustam A, Wang Y, Zameer H. Does foreign ownership affect corporate sustainability disclosure in Pakistan? A sequential mixed methods approach. *Environmental Science and Pollution Research*. 2019;26(30):31178–31197. doi: <https://10.1007/s11356-019-06250-3>
- Salinas, L. J. (2022). *Modelo de economía circular en Ecuador: análisis descriptivo*. [Tesis, Universidad Técnica de Machala]: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/20914>
- Sánchez García, E., Martínez Falcó, J., Marco Lajara, B., & Manresa Marhuenda, E. (2024). Revolutionizing the circular economy through new technologies: A new era of sustainable progress. *Environmental Technology & Innovation*, 33, 103509. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103509>

Schultz, F. C., Valentinov, V., Reinhardt, R. J., & Pies, I. (2024). The circular economy rebound effect: Reconceptualizing rebound approaches and mitigation opportunities from an ordonomic perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 28(3), 374–385.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.13485>

Scott, W. R. (2014). *Institutions and organizations: Ideas, interests, and identities* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Sempértégui, B. (2023). *La economía circular: pieza clave del desarrollo sostenible*.

<https://conexion.puce.edu.ec/la-economia-circular-pieza-clave-del-desarrollo-sostenible/#:~:text=El%20modelo%20de%20econom%C3%ADa%20circular,econom%C3%ADa%20m%C3%A1s%20verde%20y%20competitiva>

Serafeim G. Public sentiment and the price of corporate sustainability. *Financial Analysts Journal*.

2020;76(2):26–46. doi: <https://10.1080/0015198X.2020.1723390>

Shabanpour H, Yousefi S, Farzipoor Saen R (2025), Forecasting sustainability of supply chains in the circular economy context: a dynamic network data envelopment analysis and artificial neural network approach. *Journal of Enterprise Information Management*, 38 (1), 68–93, doi:

<https://doi.org/10.1108/JEIM-12-2020-0494>

Shevchenko, T., Shmeleva, N., & coautores. (2024). Metrics in the circular economy: An inclusive research landscape of the thematic trends and future research agenda. *Technological Forecasting & Social Change*, 205, 123245.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X24006393>

Sjödin, D., Parida, V., & Kohtamäki, M. (2023). Artificial intelligence enabling circular business model innovation in digital servitization: Conceptualizing dynamic capabilities, AI capacities, business models and effects. *Technological Forecasting and Social Change*, 197, 122903.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122903>

- Stahel, W. R. (1982). *The Product-Life Factor*. Mitchell Prize Paper.
- Steiner, B., & Münch, C. (2024). Leveraging digital data spaces in purchasing and supply management: Paving the way to the circular economy exemplified by Catena-X. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 30(4), 100951. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2024.100951>
- Steventon, M. (2025). *From manual sampling to real-time insight: how Greentech Baltic increased PET recovery revenue by 10%*. Greyparrot. <https://www.greyparrot.ai/resources/blog/greentech-baltic-increased-pet-recovery-revenue-by-10>
- Tamarisca Petrisia, N., & Kularatne, I. (2024). A waste reduction journey: data-driven and machine learning on perishable food waste optimization in New Zealand retail supermarkets. *Rere Āwhio – Journal of Applied Research & Practice*, 4, 22-31. <https://doi.org/10.34074/rere.00403>
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0266\(199708\)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0266(199708)18:7<509::AID-SMJ882>3.0.CO;2-Z)
- Thornton, P. H., Ocasio, W., & Lounsbury, M. (2012). *The institutional logics perspective: A new approach to culture, structure, and process*. Oxford: Oxford University Press.
- Turcan, I., Turcan, R. & Stratila, A. (2023). *Digitalization and its role in the development of Circular Economy Business Models*. Conference Proceedings “Competitiveness and Sustainable Development”. <https://doi.org/10.52326/csd2023.16>
- Tutore, I., Parmentola, A., Costagliola di Fiore, M., & Calza, F. (2024). A conceptual model of artificial intelligence effects on circular economy actions. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 31(5), 4772–4782. <https://doi.org/10.1002/csr.2827>
- Tyagi, A. K., & Chahal, P. (2022). Artificial intelligence and machine learning algorithms. *Research Anthology on Machine Learning Techniques, Methods, and Applications* (421-446). IGI Global.

Vardari L, Gashi R, Ahmeti G. The impact of corporate sustainability index on BIST sustainability index.

European Journal of Sustainable Development. 2020;9(2):375–390. doi:

<https://10.14207/ejsd.2020.v9n2p375>

Weber O, Chowdury RK. Corporate sustainability in Bangladeshi Banks: Proactive or reactive ethical

behavior? *Sustainability*. 2020;12(19):7999. doi: <https://10.3390/su12197999>

Wernerfelt, B. (1984). A resource-based view of the firm. *Strategic Management Journal*, 5(2), 171–180.

<https://doi.org/10.1002/smj.4250050207>

Xia L, Wei J, Gao S, Ma B. Promoting corporate sustainability through sustainable resource management:

A hybrid decision-making approach incorporating social media data. *Environmental Impact*

Assessment Review. 2020;85:106459. doi: <https://10.1016/j.eiar.2020.106459>

Zahid M, Rahman HU, Ali W, Khan M, Alharthi M, Qureshi MI, Jan A. Boardroom gender diversity:

Implications for corporate sustainability disclosures in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*.

2020 doi: <https://10.1016/j.jclepro.2019.118683>

Zhang J, Djajadikerta HG, Trireksani T. Corporate sustainability disclosure's importance in China:

Financial analysts' perception. *Social Responsibility Journal*. 2020;16(8):1169–1189. doi:

<https://10.1108/SRJ-10-2018-0272>

Zhou, Y. (2025). AI-driven digital circular economy with material and energy sustainability for industry

4.0. *Energy and AI*, 20, 100508. <https://doi.org/10.1016/j.egyai.2025.100508>

Zoka, M., & Korez Vide, R. (2025). Circular Economy Implementation in the Electric and Electronic

Equipment Industry: Challenges and Opportunities. *Sustainability*, 17 (17), 7700.

<https://doi.org/10.3390/su17177700>

Anexos

Cuestionario estructurado para empresarios de MiPymes

Fundación Universitaria Minuto de Dios

La interacción entre la inteligencia artificial, sostenibilidad y economía circular en la búsqueda de la competitividad empresarial

Objetivo: Examinar la interacción entre la inteligencia artificial, sostenibilidad y economía circular como factores de competitividad empresarial.

Instrucciones: Estimado empresario, a continuación usted encontrará una serie de afirmaciones que buscan determinar su percepción con respecto a la interacción existente entre inteligencia artificial, sostenibilidad y economía circular como elementos influyentes en la competitividad de su negocio; las cuales debe responder de forma objetiva.

Contexto Empresarial y Dinámica Local

1. ¿Cuál es el sector económico al que pertenece su empresa?
 - a. Comercio (minorista o mayorista).
 - b. Servicios.
 - c. Agroindustria/Agropecuaria.
 - d. Manufactura/Industria.
2. ¿Cuál es la principal fuente de información o apoyo que podría consultar la empresa en temas de innovación, digitalización o sostenibilidad en el ámbito local?
 - a. Cámara de Comercio de Ocaña.
 - b. Instituciones de Educación Superior.
 - c. Gremios empresariales o asociaciones locales.
 - d. Consultores/Proveedores externos a la ciudad.
3. ¿De qué manera gestiona la empresa los residuos sólidos aprovechables generados (práctica de Economía Circular)?
 - a. Se venden o entregan a recicladores de oficio formales.
 - b. Se contrata un gestor especializado para su aprovechamiento o disposición final.
 - c. Únicamente son recogidos por el servicio municipal de aseo.
 - d. Se reutiliza internamente la mayoría de los residuos (logística inversa).
4. ¿Se considera que el uso de tecnologías inteligentes o sostenibles genera una ventaja competitiva significativa en el mercado local de Ocaña?
 - a. Sí, es un factor clave de diferenciación.
 - b. Sí, pero la ventaja es limitada.
 - c. No, el mercado local no lo valora suficientemente.
 - d. No, representa un costo que no se compensa localmente.

Conocimiento y Apropiación Conceptual

5. ¿Cuál es el nivel de conocimiento sobre Inteligencia Artificial (IA) y su aplicación en procesos empresariales sostenibles como la Economía Circular?
 - a. Alto: Se conoce el concepto, sus tipos y se identifican aplicaciones sostenibles.
 - b. Medio: Se conoce el concepto básico de IA y se ha oído sobre su uso en sostenibilidad, pero no sabe que es Economía Circular.
 - c. Bajo: Se conoce el término IA, pero se desconocen sus aplicaciones en sostenibilidad y no se conoce el término Economía Circular.
 - d. Nulo: No se conoce el concepto de Inteligencia Artificial ni Economía Circular o sus aplicaciones.
6. ¿Cuál se considera que es la principal ventaja de aplicar IA en la MiPyme para la innovación?
 - a. Optimización de procesos/recursos (reducción de costos, eficiencia).
 - b. Diferenciación de producto/servicio (mejora de calidad, nuevas ofertas).
 - c. Toma de decisiones estratégica (ej.: análisis predictivo).
 - d. No se identifican ventajas relevantes para la empresa.
7. ¿En qué medida se está de acuerdo con que una empresa sea competitiva por integrar prácticas sostenibles con apoyo tecnológico (IA/digitalización)?
 - a. Totalmente de acuerdo: Es indispensable para la competitividad actual.
 - b. De acuerdo: Aporta una ventaja, pero no es el único factor.
 - c. Ni de acuerdo ni en desacuerdo: Es deseable, pero el costo supera el beneficio.
 - d. En desacuerdo: La competitividad se basa en precio y calidad, no en tecnología sostenible.
8. ¿Se ha participado en programas de formación/capacitación específicos sobre IA y/o sostenibilidad empresarial?
 - a. Sí, sobre IA y sostenibilidad.
 - b. Sí, solo sobre IA.
 - c. Sí, solo sobre sostenibilidad.
 - d. No, no se ha recibido formación o consultado información técnica formal.
9. ¿En qué área de la empresa se utiliza o podría utilizar herramientas con datos para tomar decisiones más responsables y eficientes?
 - a. Gestión de inventario/cadena de suministro (ej: predecir demanda).
 - b. Eficiencia energética/recursos (ej: monitoreo de consumo).
 - c. Relación con el cliente (ej: hábitos de consumo sostenible).
 - d. No se usan o no se identifica el potencial en estas áreas.
 - e. Se desconoce sus beneficios y aplicaciones.

Aplicaciones Reales en el Entorno Empresarial

10. ¿Cuál de estas herramientas digitales o prácticas se ha implementado en la empresa con enfoque ambiental?
 - a. Sensores/IoT para medir consumo de energía/agua/materiales.
 - b. Software de gestión (ERP) con módulo de impacto ambiental/trazabilidad.

- c. Plataformas de Economía Circular (ej: Marketplace de residuos/excedentes).
 - d. No se ha implementado ninguna de las anteriores.
11. ¿Se han realizado inversiones en tecnologías para optimizar el uso de recursos (energía, agua, materias primas) en la MiPyme?
- a. Sí, en los últimos 2 años.
 - b. Sí, hace más de 3 años.
 - c. Está planificado para el próximo año.
 - d. No, no se han realizado inversiones con ese propósito.
12. ¿Con qué frecuencia se evalúan en la empresa oportunidades de mejora en eficiencia y sostenibilidad usando tecnologías avanzadas (IA, automatización)?
- a. Anualmente o más.
 - b. Cada 2-3 años.
 - c. De manera esporádica/ante una necesidad urgente.
 - d. Nunca se ha realizado una evaluación formal.
13. ¿Mide en la empresa algunos de los siguientes aspectos utilizando herramientas tecnológicas o software?
- a. Huella de carbono / Consumo energético.
 - b. Generación / Gestión de residuos.
 - c. Trazabilidad de materiales / Uso de materias primas secundarias.
 - d. No se miden.
14. ¿Cómo percibe el papel de la tecnología (IA, digitalización) en la estrategia de competitividad sostenible de su empresa?
- a. Pilar estratégico y diferenciador.
 - b. Herramienta de soporte operativo.
 - c. Costo operativo necesario.
 - d. Factor irrelevante o secundario.

Desafíos en la Implementación de IA y Economía Circular

15. ¿Cuál se considera que es la principal limitación para la adopción de IA y Economía Circular en las MiPymes de Ocaña?
- a. Falta de conocimiento / Conciencia de la Gerencia.
 - b. Alto costo / Barreras económicas de inversión.
 - c. Ausencia de personal cualificado o capacitado.
 - d. Falta de apoyo (políticas públicas, incentivos).
16. ¿Cuál es el costo percibido de las tecnologías sostenibles (incluida IA) para la MiPyme?
- a. Demasiado alto: Inversiones inalcanzables.
 - b. Alto: Requiere financiación y afecta la rentabilidad inicial.
 - c. Aceptable: Se puede asumir con planificación.
 - d. Bajo: Se compensa rápidamente con el ahorro/beneficio.
17. ¿Cuál es el nivel de disponibilidad de personal técnico capacitado localmente (Ocaña) para desarrollar proyectos de IA/digitalización sostenible?

- a. Muy alta: Se cuenta con el talento interno o se encuentra fácilmente.
- b. Media: Hay que buscar personal fuera de la ciudad o capacitarlo intensivamente.
- c. Baja: La escasez de talento es una barrera importante.
- d. Nula: No existe personal con el perfil requerido.

18. ¿Cómo se evalúa el apoyo de las políticas públicas locales/regionales (Norte de Santander) a la transformación digital y sostenible de las MiPymes?

- a. Muy favorable: Hay suficientes incentivos y acompañamiento.
- b. Regular: Existen programas, pero son de difícil acceso.
- c. Desfavorable: La normativa es una barrera o no hay apoyo.
- d. Se desconocen las políticas públicas vigentes.

19. ¿Cuál es la principal dificultad técnica para adaptar la tecnología (IA, IoT) a la realidad operativa y de infraestructura de la MiPyme?

- a. Falta de infraestructura de datos.
- b. Falta de soluciones específicas para el tamaño y sector de la MiPyme.
- c. Obsolescencia del equipo existente.
- d. Ninguna, la adaptación técnica es viable.