



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Jurídica, Social y Administrativa

Carrera de Economía

Análisis de la innovación tecnológica sobre la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021

Trabajo de Integración Curricular previo a la
obtención del título de Economista

AUTORA:

Evelyn Patricia Patiño Coronel

DIRECTOR:

Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa. Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2025

Certificación

Loja, 25 de abril de 2025

Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **“Análisis de la innovación tecnológica sobre la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021”**, previo a la obtención del título de **Economista**, de la autoría de la estudiante **Evelyn Patricia Patiño Coronel**, con **cédula de identidad Nro. 1150603668**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Evelyn Patricia Patiño Coronel**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional- Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1150603668

Fecha: 25 de abril de 2025

Correo electrónico: evelyn.patino@unl.edu.ec

Teléfono: 0939165818

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo del Trabajo de Integración Curricular

Yo, **Evelyn Patricia Patiño Coronel**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Análisis de la innovación tecnológica sobre la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021**, como requisito para optar por el título de **Economista**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los **veinticinco** días del mes de **abril** de dos mil veinticinco.

Firma:

Autora: Evelyn Patricia Patiño Coronel

Cédula de Identidad: 1150603668

Dirección: Cantón Loja, provincia Loja

Correo electrónico: evelyn.patino@unl.edu.ec

Teléfono: 0939165818

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del Trabajo de Integración Curricular: Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa Mg. Sc.

Dedicatoria

Con todo mi cariño y gratitud, dedico este trabajo a mis padres, Johanna Coronel y Dimas Patiño, quienes han sido mi mayor fuente de apoyo, inspiración y amor incondicional. Su esfuerzo y confianza en mí han sido imprescindibles para alcanzar este logro.

A mis abuelos y a mi hermano, quienes, con su amor y aliento constante, me han acompañado en cada paso de este camino, brindándome siempre su apoyo incondicional.

A mis familiares y amigos, quienes me han demostrado su apoyo y confianza en mi proceso de formación personal y académica.

A mis amigas, con quienes he compartido innumerables momentos a lo largo de mi vida universitaria. Gracias por su compañía, motivación y por estar a mi lado en este desafío, haciendo que cada día sea más especial.

A Dios, fuente de fortaleza y guía en cada paso de mi vida. Sin su sabiduría y amor, este logro no habría sido posible.

Evelyn Patiño Coronel

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento al Econ. Pablo Ponce Ochoa, cuya guía y liderazgo fueron fundamentales en la elaboración de este Trabajo de Integración Curricular. Su apoyo, conocimientos y orientación han sido clave para el desarrollo de esta investigación.

Extiendo mi gratitud a toda la planta docente, de la cual tuve el honor de ser alumna. Su dedicación, compromiso y enseñanza no solo han enriquecido mi formación académica, sino que también han dejado una huella imborrable en mi desarrollo profesional y personal.

A la carrera de Economía, por brindarme las herramientas y el conocimiento necesario para afrontar los retos académicos y profesionales con una visión crítica y analítica. Ha sido un privilegio formar parte de esta comunidad.

Evelyn Patiño Coronel

Índice de contenidos

Portada	I
Certificación	ii
Autoría	iii
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	viii
Índice de figuras	viii
Índice de anexos	viii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	7
4.1 Antecedentes	7
4.2 Evidencia empírica.....	9
5. Metodología	14
5.1 Tratamiento de datos	14
5.2 Estrategia metodológica	20
6. Resultados	25
6.1 Objetivo específico 1	25
6.2 Objetivo específico 2	28
6.3 Objetivo específico 3	31
7. Discusión	37
7.1 Objetivo específico 1	37
7.2 Objetivo específico 2	39
7.3 Objetivo específico 3	40
8. Conclusiones	43
9. Recomendaciones	45
10. Bibliografía	48

11. Anexos	58
-------------------------	-----------

Índice de tablas

Tabla 1. Prácticas de EC	15
Tabla 2. Formas de medición de la variable dependiente EC	17
Tabla 3. Variable dependiente.....	18
Tabla 4. Variables: independiente y de control.....	19
Tabla 5. Estadísticos descriptivos	26
Tabla 6. Prueba de multicolinealidad	29
Tabla 7. Análisis marginal modelo probit multinomial	31
Tabla 8. Test de medias de grupo de tratamiento.....	32
Tabla 9. Resultados modelo de emparejamiento.....	36

Índice de figuras

Figura 1. Comparación de adopción de prácticas de EC entre empresas que invierten y no invierten en TIC	28
Figura 2. Estimado densidad de Kernel	33

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de correlación.....	58
Anexo 2. Observaciones emparejadas.....	58
Anexo 3. Certificado de traducción.....	60

1. Título

Análisis de la innovación tecnológica sobre la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021.

2. Resumen

El deterioro ambiental provocado por los modelos de economía lineal y la falta de adopción de prácticas sostenibles han generado graves problemas medioambientales en Ecuador. A pesar de los avances globales hacia la economía circular, en el país persisten barreras estructurales y económicas que dificultan su implementación. Este estudio analiza la relación entre la innovación tecnológica y la adopción de prácticas de economía circular en las empresas ecuatorianas durante 2021. Utilizando datos de la Encuesta Estructural Empresarial y métodos estadísticos como un modelo probabilístico y el método de emparejamiento, se evaluó el impacto de estas inversiones en prácticas sostenibles. Los resultados evidencian que las empresas que invierten en tecnología tienen mayores probabilidades de implementar prácticas de reducción, reciclaje y reutilización de recursos, aunque su impacto varía según características empresariales como tamaño, sector y ventas. Las empresas con mayores recursos financieros y humanos están mejor posicionadas para adoptar modelos sostenibles, mientras que las pequeñas y medianas enfrentan barreras significativas. Asimismo, sectores como minería presentan mayores retos debido a sus características operativas. Se concluye que fomentar la inversión en innovación tecnológica y diseñar políticas públicas que incluyan incentivos no monetarios y tributarios, así como programas de formación técnica es esencial para acelerar la transición hacia una economía circular. Estas estrategias deben considerar las características específicas de cada empresa y sector para garantizar un impacto efectivo.

Palabras clave: Economías circulares, América Latina, empresas, Tecnología, TIC, Propensity Score Matching

Código JEL: B23, O32, Q53, Q55, N16

2.1 Abstract

The environmental deterioration caused by linear economy models and the lack of adoption of sustainable practices have led to serious environmental issues in Ecuador. Despite global progress toward the circular economy, structural and economic barriers persist in the country, hindering its implementation. This study analyzes the relationship between technological innovation and the adoption of circular economy practices in Ecuadorian businesses during 2021. Using data from the Structural Business Survey and statistical methods such as a probabilistic model and the matching method, the impact of these investments on sustainable practices was evaluated. The results show that companies investing in technology are more likely to implement resource reduction, recycling, and reuse practices, although their impact varies depending on business characteristics such as size, sector, and sales. Companies with greater financial and human resources are better positioned to adopt sustainable models, whereas small and medium-sized enterprises face significant barriers. Additionally, sectors like mining encounter greater challenges due to their operational characteristics. The study concludes that promoting investment in technological innovation and designing public policies that include non-monetary and tax incentives, as well as technical training programs, is essential to accelerating the transition to a circular economy. These strategies should consider the specific characteristics of each company and sector to ensure an effective impact.

Key words: Circular economies, Latin America, Technology, ICT, Propensity Score Matching

Jel classification: B23, O32, Q53, Q55, N16

3. Introducción

En los últimos años, la sociedad ha sido testigo de un grave deterioro ambiental, el cual es ocasionado por las prácticas tradicionales de la economía lineal. Este modelo económico se fundamenta en métodos de producción que promueven el uso de materiales e insumos que son desechados al final de su vida útil, dejando de lado la reutilización y reciclaje de los mismos. Esta problemática, sumada a una inadecuada gestión de los recursos naturales han sido causantes de problemas medioambientales significativos, lo cual se refleja en una elevada preocupación por los efectos negativos en el clima, así como en los ecosistemas (Geissdoerfer et al., 2017). En este contexto, surge la economía circular (EC) como una posible solución a los problemas que aquejan a la sociedad actual, a través de la implementación de un sistema productivo más sostenible, en comparación con el modelo lineal actual. En un contexto real, estudios han demostrado que las empresas que adoptan modelos circulares logran reducir su impacto ambiental, mejorar su eficiencia, disminuir sus costos e incremental su nivel de competitividad (Fundación Ellen MacArthur, 2015). No obstante, la EC no ha sido fomentada en gran medida en países en vías de desarrollo, debido a la fuerte presencia de desafíos económicos, estructurales y tecnológicos, los cuales han obstaculizado su implementación (Medina y Freire, 2023).

En el panorama ecuatoriano, la EC no ha sido desarrollada en un nivel que sería esperado para un país que pretende enfrentar de manera efectiva los problemas ambientales y económicos ocasionados por las prácticas de economía lineal. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) (2022), en el año 2020, el 90% de las grandes y medianas empresas generaron desechos peligrosos, pero solo el 47,3% tenía un conocimiento preciso de la cantidad generada, alcanzando un total de 200 027,7 toneladas. Estas cifras relacionadas a un manejo de residuos ineficiente reflejan un nivel preocupante de inconciencia por parte del sector empresarial, así como la inexistencia de infraestructura que propicie la aplicación de prácticas de EC. De igual manera, existe preocupación por la notable disminución de inversiones en actividades de protección ambiental por parte del Estado, ya que, pasaron de 156,2 millones de dólares en 2019 a cifras aún menores en años posteriores. Así mismo, de este monto, solo el 45,5% se destinó a la gestión ambiental (Mora et al., 2022). Esto deja en evidencia que la falta de recursos, políticas públicas efectivas, así como incentivos para promover la EC en el sector empresarial, son factores que ocasionan una limitada adopción de prácticas de EC en el país.

Desde la perspectiva teórica, la innovación tecnológica (TIN) se ha posicionado como un factor clave para el incentivo de prácticas circulares. En este sentido, la teoría de innovación disruptiva (Christensen, 1997) indica que en el mercado, las innovaciones tecnológicas tienen la capacidad de transformar totalmente las industrias, a través de la utilización de modelos productivos más eficientes y sostenibles. La evidencia empírica ha afirmado esta relación, ya que, se ha comprobado que el uso de tecnologías avanzadas (como la automatización, cadenas de valor digitalizadas y análisis de datos empresariales BDA) es esencial para incentivar una correcta transición de un modelo lineal a modelos de EC (Ranta et al., 2018; Khan et al., 2021). No obstante, se ha demostrado también que en Latinoamérica, y particularmente en Ecuador, la transición hacia la EC se enfrenta a varias barreras, siendo la principal la limitada inversión en investigación y desarrollo tecnológico. Esto puede corroborarse por la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana- (RICYT) (2020), la cual mencionó que únicamente el 0,6% del PIB de Ecuador está destinado a la innovación, lo que es mucho menor en comparación al promedio de inversión de los países de la OCDE, el cual es de 2,4%.

Es esencial mencionar que a nivel internacional se ha detectado una brecha de literatura significativa, ya que la EC suele abordarse desde un enfoque meramente ambiental, donde la atención se centra en la gestión de residuos, y aspectos importantes como análisis económicos y rentabilidad de procesos no son tomados en consideración (Erazo-Rivera et al., 2024). A nivel nacional, la brecha de literatura es incluso más amplia, ya que la EC en la actualidad se relaciona estrecha y casi exclusivamente con las teorías de economía ecológica e industrial, pero no hay investigaciones que midan la relación de la EC con otros factores a través de enfoques económicos robustos. En este sentido, al no existir investigaciones que aporten a nivel económico y técnico a la problemática analizada, las empresas no tendrán las herramientas adecuadas para maximizar los beneficios de la aplicación de la EC.

Es por esto que la presente investigación aporta de manera significativa en distintos aspectos. En primera instancia, tomando en consideración las notables limitaciones de literatura existentes acerca de la problemática en Ecuador, es esencial mencionar que la EC ha sido relacionada con múltiples factores, no obstante, la mayoría no ha profundizado en la importancia de la TIN como factor clave en la transición hacia la circularidad dentro de las empresas (Barrionuevo et al., 2020; Medina y Freire, 2023; Cárdenas, 2023; Arroyo, 2018; Moreno-Miranda y Dries, 2024). En este mismo contexto, existen otras investigaciones que se han enfocado en sectores específicos, lo que no ha permitido tener una visión general de

la problemática (Khan, et al., 2021; Jones et al., 2023). Por esta razón, el alcance de la presente investigación se considera más amplia, ya que se utiliza una base de datos que incluye empresas de diversos tamaños y niveles de capital humano, pertenecientes a diferentes sectores de la economía.

En segunda instancia, la presente investigación aporta a la disminución de la brecha literaria, puesto que se proporciona evidencia que el sector empresarial puede utilizar para potenciar las prácticas de EC a través de estrategias que involucran la inversión en TIN. Cabe recalcar que los resultados del estudio también aportan a nivel estatal, ya que aportan al diseño de políticas públicas relacionadas con el fomento de la producción sostenible a nivel nacional. Asimismo, el presente trabajo examina la relación entre la TIN y la EC con un enfoque por sectores y multidimensional, ampliando el conocimiento existente y al mismo tiempo brindando recomendaciones concretas dirigidas al sector empresarial y al Estado para la elaboración de políticas. En tercera instancia, al aplicar el método Propensity Score Matching (PSM) en la investigación se asegura la obtención de resultados robustos y confiables, lo que permite una estimación más precisa del efecto que tiene la inversión en TIN sobre la adopción de prácticas de EC. En este sentido, el valor metodológico y empírico del presente estudio se ven ampliamente reforzados al aplicar métodos econométricos de evaluación.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la incidencia de la TIN sobre la EC en las empresas ecuatorianas durante el año 2021, utilizando un enfoque estadístico y econométrico. Para lograrlo, se emplearon métodos descriptivos y probabilísticos, partiendo de un análisis estadístico para comprender el comportamiento de las variables involucradas, seguido de la construcción de modelos de evaluación para determinar la magnitud del efecto de la relación estudiada. La fuente de datos principal fue la Encuesta Estructural Empresarial (ENESEM) de 2021, que proporciona información relevante sobre aspectos económicos, tecnológicos y ambientales de empresas medianas y grandes de sectores clave como minería, manufactura, comercio y construcción. El presente trabajo se estructura en las siguientes secciones: en la primera, se presenta el título y resumen de la investigación; en la segunda, el planteamiento del problema, que incluye el contexto, objetivos y justificación del estudio; en la tercera, el marco teórico, que desarrolla los antecedentes y evidencia empírica relevante; en la cuarta, la metodología utilizada; en la quinta, los resultados obtenidos; en la sexta, la discusión de estos resultados; y finalmente, las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos que complementan este análisis.

4. Marco teórico

4.1 Antecedentes

4.1.1 Evolución de la innovación tecnológica

La innovación ha ganado importancia social y económica gracias al progreso tecnológico. Desde 1776, Adam Smith estableció que la introducción de nueva maquinaria mejora la división del trabajo e incrementa la productividad (Smith, 1996). Malthus (1798) también señaló que las mejoras tecnológicas reducen precios y aumentan la demanda. Ricardo (1817) coincidió, indicando que la tecnología avanzada aumenta la producción con menos mano de obra. Karl Marx (1867) aceptaba que la constante revolución de medios de producción mejoraba la comprensión de las dinámicas económicas. Estas diversas percepciones sobre la innovación en la producción y el mercado se vieron reforzadas por Joseph Schumpeter (1911), quien afirmó que los emprendedores impulsan el progreso tecnológico mediante innovaciones para capturar mayor mercado.

En este contexto, Schumpeter (1911) también identificó diferentes formas de innovación, las cuales se pueden clasificar en: nuevas fuentes de materias primas, nuevos productos, nuevos servicios, nuevos métodos de producción, métodos de comercialización, nuevos mercados y nuevas estructuras de mercado. Más recientemente, Gianetti (1994) propuso dos enfoques sobre la innovación. El primero considera que la innovación posee un trasfondo económico, motivada por la obtención de beneficios. Por su parte, el segundo enfoque la considera una construcción social, influida por la evolución de ideas en la sociedad. De acuerdo con esta perspectiva, la innovación es un proceso gradual dependiente de factores sociales y organizacionales.

4.1.2 Teoría de la innovación disruptiva

La teoría de la innovación disruptiva, desarrollada por Clayton Christensen (1997), explica cómo nuevos productos o servicios reemplazan a los existentes, creando nuevos mercados y dejando obsoletos los modelos de negocio tradicionales. Difundida tras la publicación de “El dilema de los innovadores”; en 1997, esta teoría se distingue de las mejoras incrementales, proponiendo que las innovaciones disruptivas transforman radicalmente los mercados establecidos. Christensen (1997) argumenta que estas innovaciones emergen en nichos de mercado desatendidos, donde pequeñas empresas

desafían a grandes corporaciones con propuestas de valor más asequibles o tecnologías emergentes, redefiniendo eventualmente el mercado.

Christensen (1997) también subraya que las empresas consolidadas, aunque eficientes y enfocadas en satisfacer a sus clientes más exigentes, suelen ignorar segmentos menos rentables. Esto crea oportunidades para que nuevas empresas capturen estos mercados periféricos con tecnologías o modelos de negocio disruptivos. Estas pequeñas empresas, al madurar y mejorar sus ofertas, pueden competir directamente con las empresas establecidas, reestructurando el mercado y desplazando a los líderes tradicionales. Christensen (1997) clasifica las innovaciones en dos tipos; las de bajo nivel, la cual se enfoca en un mercado ya existente y en sus demandantes de menor exigencia; y las de nuevo mercado, en la que se busca dirigir la atención a los que no son consumidores.

4.1.3 Economía circular

Para dar origen a la Economía Circular, se recorrió un largo camino que tiene su inicio con Adam Smith (1776), quien expuso que los factores de tierra y trabajo, a pesar de ser extensos, no poseen la característica de inagotables. Tiempo después, Ricardo (1821) estableció que era inevitable un agotamiento de las tierras cultivables, mientras que, Malthus (1798) aporta con su argumento de que la especie humana podría llegar a su extinción debido al consumo total de los medios de subsistencia. Dentro de este contexto, en los años 1960 aparece una cultura con una conciencia ambiental, donde destaca McHarg (1969) quien expuso acerca de su idea de “diseño natural”, cuyo pilar fundamental se encontraba en la creación y el diseño, basándose en la naturaleza.

Posteriormente, surgió la economía de circuito o lazo, cuyos autores Stahel y Reday (1976) proponen mecanismos industriales para evitar el desperdicio y aumentar la eficiencia de los recursos. Este concepto incluye la “simbiosis industrial”, donde los materiales desechados se reintegran en los procesos de producción. En este sentido, tomando en cuenta la visión de los conceptos anteriores, la Economía Circular aparece por primera vez con Pearce y Turner (1990), en su obra titulada “Economía de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente”. Dentro de la misma, los autores destacaron que solo los sistemas naturales reciclan sus residuos, haciendo referencia a la primera ley de la termodinámica, que establece que la materia no puede ser creada ni destruida. De este modo, la conceptualización de la EC, por parte de estos autores, refleja que el planeta se considera

como un sistema cerrado, cuyas relaciones son circulares, por lo tanto, todos los insumos sirven en la producción o existencia de algo más.

4.2 Evidencia empírica

La preocupación por el medio ambiente y los ciclos productivos ha dado paso a distintas investigaciones que abordan el tema de la EC como propuesta para la mejora de las condiciones ambientales y socioeconómicas en distintas regiones del mundo. En este sentido, para llevar a cabo la presente investigación, este apartado se abordará de la siguiente manera; en las tres primeras secciones se expondrán artículos que establezcan la relación principal entre la TIN y la EC a nivel mundial; regional, en América Latina; y nacional. Finalmente, en la cuarta sección se analizarán trabajos de investigación que incluyan otras variables en la relación principal antes expuesta.

Con relación a la primera sección, se analiza la relación existente entre la TIN y la EC en las empresas a nivel mundial. En este sentido, autores como Zhou et al. (2020) y Tavera et al. (2021) han establecido la relación principal a través del análisis de la industria 4.0 como variable referente a la TIN, y sus efectos sobre la EC. Estos autores encontraron que el progreso tecnológico enfocado en la reducción de la contaminación es esencial para el crecimiento económico sostenible, y que es esencial la aplicación de políticas de innovación para promover el progreso tecnológico orientado hacia una EC.

Así mismo, otras investigaciones apuntan a un análisis de los procesos de producción, en los cuales fue esencial instaurar un proceso constante de investigación e innovación que los dote de la capacidad de valoración de residuos generados durante su producción. Esto provoca una reducción en los flujos lineales de producción y una mayor conservación de recursos (Gruhler et al., 2024; López y Villajos, 2020). Por su parte, en un estudio más direccionado a la circularidad a través de la implementación de paneles solares, se encontró que es esencial implementar innovaciones tecnológicas eficientes que ayuden a las empresas a disminuir el desperdicio y pérdidas (Matsuoka et al., 2024). Estas innovaciones podrían enfocarse en mejorar la eficiencia de la maquinaria y equipos, así como extender la vida útil de los mismos reduciendo sus averías.

En esencia, el análisis recurre a la exploración de medidas en las cuales exista la reintroducción del ciclo productivo. En este sentido, es esencial implementar los procesos correctos y las tecnologías más avanzadas dentro de un sistema de fabricación mejorado e

integrado, utilizando técnicas de vanguardia como la planificación de recursos empresariales (ERP) y el equilibrado, modernización y reemplazo (BMR) (Belhadi et al., 2021; Palkovits y Delidovich, 2017; Wang et al. 2021). La mayoría de estas tecnologías pueden ser empleadas para asegurar la fabricación a través de procesos ecológicos y limpios de conversión de energía, aprovechando recursos renovables y logrando una mayor eficiencia en las síntesis catalíticas (Sheldon, 2016; Zhang et al., 2018).

De igual manera, en un estudio enfocado en su mayor parte en el ámbito empresarial, se encontró que la digitalización y la TIN juegan un papel esencial dentro del camino hacia la circularidad, pues permite a los actores un manejo de datos más automatizado y óptimo (Fatimah et al., 2024). Así mismo, se sostiene que métodos más sofisticados, tales como la industria 4.0, así como las TIC, permiten una mejor recuperación de materiales, de tal manera que los recursos empresariales llegan a ser más rentables (Fatimah et al., 2024; Auerbach et al., 2019). En este contexto, estudios de ámbito internacional confirman la existencia de la relación planteada en un ámbito empresarial.

Con relación a la segunda sección planteada, se puede remitir a estudios realizados en países como Brasil, en los que se ha encontrado que la tecnología es una herramienta fundamental para una transición efectiva hacia la EC, debido a que, esto genera que bienes y servicios de larga vida útil puedan introducirse al mercado mediante el uso de pocos recursos y un método de producción moderno (Consejo Empresarial Brasileño para el Desarrollo Sustentable, 2018). En este sentido, De Andrade Monteiro et al. (2024) apoyan esta afirmación, puesto que, tras elaborar un índice de circularidad que implementa aspectos como; consumo energético, generación de residuos y emisiones de CO₂; pudo medir su evolución en el paso del tiempo, y concluyó que la elaboración de políticas públicas que fomenten las inversiones e innovaciones tecnológicas son fundamentales para una transición hacia la EC en Brasil.

Dentro de la misma sección, se puede resaltar la investigación realizada por Gallego-Schimid et al. (2024), quienes realizaron su investigación en un contexto más extenso, puesto que tomaron como espacio a la región de América Latina y el Caribe. En su estudio, dentro de los resultados, identificaron que uno de los principales desafíos que sostiene la región para la implementación de la EC es el factor tecnológico, puesto que al no tener dotaciones adecuadas de tecnología dentro de las empresas, no es posible implementar métodos de producción más circulares. De igual manera, se establece que en la región las innovaciones

tecnológicas que más han contribuido a la EC, son el reciclaje de neumáticos, el cloruro de polivinilo, reutilización de residuos de biomasa, entre otros.

Para reforzar esta afirmación, estudios realizados por Samaniego, et al. (2022) establecen que en América Latina, de manera específica, uno de los principales obstáculos para conseguir una EC es el alto costo de replicar tecnologías desarrolladas en otras regiones, lo que limita la transferencia de conocimientos y el efecto spillover de empresas extranjeras. Además, la dependencia de ciertos sectores tradicionales dificulta la adopción de modelos circulares innovadores, mientras que la baja productividad interna y la brecha tecnológica externa agravan estas limitaciones. Sin embargo, los clústeres empresariales en ciudades como São Paulo, Buenos Aires, Santiago de Chile y Ciudad de México representan un espacio de oportunidad, ya que promueven la innovación mediante la colaboración y el liderazgo del sector privado (Freire-Gibb y Gregson, 2019).

En cuanto a la tercera sección, en Ecuador, también se ha examinado la relación entre TIN y la EC. En el contexto de la pandemia Covid-19, autores como Barrionuevo et al. (2020) y Khan et al. (2021) estudiaron el tema de EC en relación con la TIN. En primer lugar, se encontró que, para asegurar una mejor transición hacia la EC, es esencial que las empresas implementen sistemas de eficiencia energética, ecodiseño en sus plantas de producción y métodos de ahorro de agua (Barrionuevo et al., 2020). En segundo lugar, también se encontró que los mecanismos de análisis de datos empresariales (B.D.A.) influyen positivamente sobre la adopción de prácticas de EC (Khan et al., 2021). Por tanto, los autores proponen una alta dotación tecnológica de innovación e investigación, así como el aprovechamiento de un nicho de mercado disponible; lo cual en el futuro promoverán el desarrollo y la generación de empleo.

Investigadores como Medina y Freire (2023) han encontrado en la literatura diferentes tipos de barreras que no permiten que países en desarrollo como Ecuador, puedan implementar adecuadamente la EC. En este sentido, los autores señalan que la principal barrera encontrada fue la falta de TIN, puesto que consideran que al tener una infraestructura tecnológica adecuada, las empresas ecuatorianas serán capaces de reintroducir los recursos en el proceso productivo y así evitar el desperdicio. Cárdenas (2023) concuerda con esta afirmación, pues considera que es esencial que se aborde el aumento de tecnología para conseguir la disminución de un manejo inadecuado de desechos electrónicos. El autor sugiere que el abordaje no debe darse únicamente en el campo empresarial, sino también a

nivel social, para enfrentar la resistencia al cambio identificada tanto en empresas como en familias.

Arroyo (2018) realizó un análisis nacional en el cual implementó una metodología de categorización de las prácticas de EC en las 3R; reciclar, reducir y reutilizar. En su investigación, concluyó que la inversión en tecnología e innovación es un factor fundamental para el sector productivo, puesto que, al llevar a la práctica procesos innovadores que mejoren la eficiencia, se puede alcanzar un desarrollo sustentable a través de la EC. No obstante, estudios realizados por Moreno-Miranda y Dries (2024) consideran que existen otros factores más importantes que inciden sobre la transición hacia la circularidad, tales como percepciones, control conductual, presión social y actitudes. Es decir, de acuerdo con los autores, en el caso específico de nuestro país la barrera hacia una EC no es tecnológica, sino conductual.

Como parte de la cuarta sección, se puede reportar que, en investigaciones como la realizada por UNACEM (2023) como parte de la iniciativa “Líderes por los ODS”, se ha establecido otro tipo de relación. En este contexto, se encontró que, en Ecuador, la implementación de prácticas de EC difiere en las empresas, respondiendo a factores como tipo, sector y tamaño de la empresa. Pues, empresas más grandes tienen mayor inclinación a realizar prácticas como la investigación, el desarrollo y la innovación. Esto ha llevado a que este tipo de empresas presenten avances significativos en cuanto a la mejora de eficiencia energética, reducción de sus residuos y uso de tecnologías más eficientes (UNACEM, 2023; González-Moreno et al., 2024).

Los autores también decidieron analizar la edad de la empresa, y encontraron que esta variable no tiene un efecto significativo sobre la EC en las empresas. Sus resultados fueron coincidentes con los de Ghisetti y Montresor (2020) y Horbach (2008), quienes también encontraron una relación positiva entre el tamaño de la empresa y su inversión en I+D; sobre la EC; así como su relación negativa con la antigüedad de la empresa. Por su parte, en otras investigaciones se ha encontrado una relación existente entre la producción final y su efecto sobre la circularidad, cuya variable representativa es el capital renovable (Basu, et al., 2024; Zhou, et al., 2020). En este sentido, al crecer la producción, una empresa podría acercarse a un crecimiento equilibrado, causando que el uso de recursos tanto renovables como no renovables, disminuyera (Basu, et al. 2024).

En el ámbito meramente empresarial, en una investigación se tomaron en cuenta diferentes variables que tuvieron impacto sobre la EC de las empresas. Entre estas se encuentra la creación de empleo, generación de ingresos, tasa de recuperación de recursos, capital humano, salud y seguridad de trabajadores, paridad de género, equipos de seguridad, entre otros (Fatimah et al., 2024; Scarpellini, 2021). Por su parte, en otros trabajos de investigación, se considera al género, edad y los conocimientos acerca de las amenazas ambientales, juegan un papel fundamental hacia la transformación sostenible (Ali et al., 2022). De acuerdo con los autores, estas variables tienen un efecto significativo positivo en la EC, puesto que influyen directamente sobre las creencias sobre los problemas ambientales y la adopción de la EC. De manera más específica, estos factores inciden sobre la manera de pensar de los directivos empresariales, lo cual da paso a un cambio organizacional desde los cimientos dentro de las empresas (Ali et al., 2022; Kohle et al. 2023).

Otras variables que los autores toman en cuenta para analizar la EC en el sector empresarial son las relacionadas a políticas públicas e inversión del Estado. Dentro de este contexto, se analiza cómo las políticas regulatorias afectan a una transición empresarial hacia la circularidad (Fatimah et al. 2024; Basu et al. 2024). Además, los investigadores González-Moreno et al. (2024) encontraron que existe una relación positiva entre el financiamiento público, en relación con la EC, y la implementación de las prácticas de circularidad en las pequeñas y medianas empresas. Estos resultados fueron coincidentes con los de Fang et al. (2020) quienes también encontraron que distintos tipos de iniciativas estatales, como subsidios a tecnologías limpias y control de contaminación inciden sobre la disminución de restricciones presupuestales para transicionar hacia una EC. Los autores incluso concluyen que es el factor más importante para la adopción de prácticas de circularidad.

5. Metodología

5.1 Tratamiento de datos

Tomando en cuenta que la investigación tiene como objetivo principal evaluar la incidencia de la TIN sobre la EC en las empresas ecuatorianas, se utilizaron datos extraídos de la encuesta ENESEM del año 2021, en la cual constan distintos aspectos de las empresas analizadas, tales como datos económicos, financieros, ambientales, entre otros. Dentro de la encuesta se encuentran datos de medianas y grandes empresas pertenecientes a los sectores económicos de manufactura, minería, comercio, construcción y servicios; en las 24 provincias del Ecuador. Las variables tomadas en consideración para la presente investigación se pueden observar en las Tablas 3 y 4, donde se plasmaron las variables: dependiente, independiente y de control.

Con el fin de evaluar la relación propuesta, se tomó como variable dependiente la EC, la cual se mide a partir de distintas prácticas de EC que las empresas realizan con el fin de contribuir a la EC. Las prácticas de EC establecidas se encuentran en la Tabla 1. Para elegir las prácticas expuestas, se tomó toda la información disponible dentro de la encuesta, es decir, no se tomaron en cuenta criterios de inclusión ni de exclusión debido a la limitada información que se tuvo al alcance. En este sentido, la variable de EC posee una distribución continua, debido a que la medición de cada una de las prácticas, como se observa en la Tabla 2, es dicótoma. Por otra parte, la variable independiente para medir la TIN, será la decisión de inversión en Tecnologías de Información y Comunicación (TIC), la cual constituye una variable dicótoma.

Tabla 1. *Prácticas de EC*

Clasificación	Variable	Descripción	Nomenclatura	Medición
Reducir	Generación de energía eléctrica alternativa o complementaria	Indica si la empresa generó energía eléctrica alternativa o complementaria a la energía de la red pública (energía renovable y/o generador): solar, eólica, biomasa, hidráulica, generador termoeléctrico, otros.	generación de energía renovable	
	Ahorro en el uso de combustibles fósiles y/o lubricantes	Indica si la empresa no utilizó combustibles y/o lubricantes utilizados en diferentes procesos (generación de energía, funcionamiento de maquinaria y de transporte): gasolina super, gasolina extra, jet fuel, diesel, gas licuado, gas natural, residuo fuel oil, crudo residual, carbon, gasolina ecopais, aceites, otros	combustibles fósiles	
	Registro generador de residuos	Indica si la empresa posee el registro de generador de residuos otorgada por el Ministerio del Ambiente	registro	
Reciclar	Gestión de residuos	Indica si la empresa gestionó alguno de los siguientes residuos: neumáticos usados, aceites vegetales usados, equipos eléctricos en desuso, envases vacíos de agroquímicos, envases vacíos de químicos tóxicos, plásticos de invernadero, fundas biflex, escorias de acería.	GR	Dicótoma 0=No cumple 1=Sí cumple
	Clasificación de residuos	Indica si la empresa clasificó alguno de los siguientes residuos: neumáticos usados, aceites vegetales usados, equipos eléctricos en desuso, envases vacíos de agroquímicos, envases vacíos de químicos tóxicos, plásticos de invernadero, fundas biflex, escorias de acería.	CR	
Reutilizar	Agua tratada	Indica si la empresa trató aguas residuales generadas en el proceso productivo de la misma	agua tratada	
	Reutilización de residuos	Indica si la empresa reutilizó alguno de los siguientes residuos: neumáticos usados, aceites	RR	

vegetales usados, equipos eléctricos en desuso, envases vacíos de agroquímicos, envases vacíos de químicos tóxicos, plásticos de invernadero, fundas biflex, escorias de acería.

Para la generación de la variable dependiente EC, se procedió a clasificar las actividades en tres prácticas: Reducir, Reciclar y Reutilizar (3R). Seguidamente, se propusieron tres diferentes formas de medir la variable dependiente, las cuales se pueden observar en la Tabla 2. En este sentido, en la primera forma se generaron ocho categorías (del 0 al 7) a través de combinaciones de prácticas de EC. En la segunda, se creó una variable dicótoma, en la cual cada categoría indica si la empresa aplicó alguna de las prácticas de EC explicado por las 3R, o si no aplicó ninguna. Finalmente, en la tercera, se generó otra variable categórica, en la cual se fue indicando el número de prácticas utilizadas en las empresas.

Tabla 2. *Formas de medición de la variable dependiente EC*

Forma	Categoría	Nombre	Descripción
Primera forma	0	Ninguna	La empresa no aplica ningún tipo de práctica
	1	Reduce	La empresa aplica prácticas de reducción
	2	Recicla	La empresa aplica prácticas de reciclaje
	3	Reutiliza	La empresa aplica prácticas de reutilización
	4	Reduce y recicla	La empresa aplica prácticas de reducción y reciclaje
	5	Reduce y reutiliza	La empresa aplica prácticas de reducción y reutilización
	6	Recicla y reutiliza	La empresa aplica prácticas de reciclaje y reutilización
	7	Todas	La empresa aplica prácticas de reducción, reciclaje y reutilización
Segunda forma	0	No cumple	La empresa no aplica ninguna práctica explicada por las 3R
	1	Sí cumple	La empresa aplica al menos 1 de las prácticas explicadas por las 3R
Tercera forma	0	Ninguna	La empresa no aplica ninguna práctica explicada por las 3R
	1	Cumple con 1 práctica	La empresa cumple con 1R
	2	Cumple con 2 prácticas	La empresa cumple con 2R
	3	Cumple con 3 prácticas	La empresa cumple con 3R

En cuanto a la elección de variables de control (Tabla 4), se tomaron en consideración investigaciones previas. En primera instancia, investigaciones de UNACEM (2023) y González-Moreno et al. (2024) utilizaron las variables tamaño, sector y antigüedad de la empresa. Además, Fatimah et al. (2024) establecieron dentro de su investigación variables relacionadas a la educación, por lo que se ha considerado adecuado agregar el personal y capital humano de las empresas, en este caso, medido por la cualificación en TIC del

personal. Por su parte, Basu, et al. (2024); Zhou, et al. (2020) añadieron a su investigación la producción final como factor que incide sobre la adopción de prácticas de EC en las empresas; en este sentido, se decidió agregar la variable de ventas, la cual es adecuada para medir el volumen de ingresos de las empresas.

En esta investigación, se incluyeron únicamente empresas de los sectores de manufactura, minería y construcción. Para clasificar el tamaño de las empresas, se utilizó el criterio establecido por la Cámara de Comercio de Quito (2017), que define el tamaño empresarial en función de los activos. Según este criterio, las empresas medianas son aquellas con activos menores a 4 millones de dólares, mientras que las grandes poseen activos superiores a dicha cifra. Por otro lado, para medir los impuestos, se consideró la presión fiscal de 2021, calculada en un 19,06% de los ingresos empresariales (Sistema de Rentas Internas [SRI], 2023). En este contexto, se clasificó como alta presión fiscal a las empresas que superaron ese umbral, y como baja presión fiscal, a las que no lo hicieron.

Tabla 3. *Variable dependiente*

Tipo de variable	Variable	Notación	Unidad de medida	Descripción	Medición
Dependiente	Economía circular	EC	Categórica	Prácticas de EC explicadas por las 3R que la empresa realiza	0=Ninguna 1=Reduce 2=Recicla 3=Reutiliza 4= Reduce y recicla 5= Reduce y reutiliza 6= Recicla y reutiliza 7= Todas
		EC1	Dicótoma		0=Ninguna 1=Al menos 1 práctica
		EC2	Categórica		0=Ninguna 1=1R 2=2R 3=3R

Tabla 4. Variables: independiente y de control

Tipo de variable	Variable	Notación	Unidad de medida	Descripción	Medición
Independiente	Innovación tecnológica	TIN	Dicótoma	Indica si la empresa ha invertido en TIC	0=No 1=Sí
	Ventas	ventas	Continua	Se define como el valor total de ventas realizadas en el año.	Dólares
	Trabajadores	trabajadores	Continua	Número de trabajadores hombres y mujeres que laboran en la empresa.	Unidades
	Capital humano	cualificación en TIC	Dicótoma	Trabajadores capacitados en TIC	0=No 1=Sí
Control	Tamaño	tamaño	Catagórica	Categorización de la empresa según el valor de sus activos	0=Medianas 1=Grandes
	Sector	sector	Catagórica	Sector económico al que pertenece la empresa	1=Manufactura 2=Minería 3=Construcción
	Años de funcionamiento	años de funcionamiento	Continua	Años que la empresa ha tenido RUC	Años
	Impuestos	impuestos	Dicótoma	Impuestos, contribuciones y otros pagados durante el año, en relación con los ingresos	0=Baja presión fiscal 1=Alta presión fiscal

5.2 Estrategia metodológica

Para dar cumplimiento a los tres objetivos específicos planteados en el presente trabajo de investigación, se utilizó la siguiente metodología estadística, gráfica y econométrica:

5.2.1 Objetivo específico 1

Analizar la innovación tecnológica y la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021, mediante estadística descriptiva para conocer el comportamiento de las variables examinadas.

Para analizar la TIN y las prácticas de EC de las empresas en Ecuador en el año 2021, se propuso una metodología que contemple estadística descriptiva para obtener una comprensión completa del contexto de estudio, así como un reconocimiento de cómo se distribuyen las variables en las empresas estudiadas. Se comenzó recopilando datos relevantes sobre la TIN, lo cual se hizo a través de la variable inversión en TIC y, para medir las prácticas de EC, se utilizaron variables que se relacionen con este tema, que estén disponibles en la Encuesta Estructural Empresarial (ENESEM) 2021, tal como lo es la generación de energías renovables en Ecuador durante el año 2021, ahorro de combustibles, gestión de residuos, entre otros.

Posteriormente, se realizó un análisis estadístico descriptivo para examinar el comportamiento de estas variables, permitiendo una comprensión detallada del estado de la inversión en TIN y las prácticas de EC en las empresas ecuatorianas. Dentro de la estadística descriptiva propuesta se analizaron las distintas prácticas de EC: generación de energía eléctrica alternativa o complementaria, ahorro de combustibles fósiles y/o lubricantes, registros como generadoras de residuos, agua tratada, gestión, clasificación y reutilización de distintos tipos de residuos. De igual forma, se plasmó estadísticamente la variable independiente TIN, así como las variables de control: ventas, trabajadores, capital humano, tamaño, sector, años de funcionamiento e impuestos.

5.2.2 Objetivo específico 2

Analizar la relación entre la innovación tecnológica y la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021, mediante un modelo probabilístico para conocer la relación entre estas variables.

Para estimar la relación entre la TIN y la EC en las empresas de Ecuador en el año 2021 para conocer la relación entre las variables, se utilizó un modelo probabilístico. En primer lugar, se recopilaron datos detallados sobre la inversión en TIN, y las prácticas de EC del modelo en las empresas de Ecuador durante el año 2021. Además, se incluyeron datos relevantes sobre otras variables que pudieron influir en la adopción de prácticas de EC, como capital humano, ventas, sector, entre otros.

En este sentido, se utilizó el modelo probit multinomial, el cual fue útil para analizar la relación entre la inversión en TINC y la probabilidad de adoptar prácticas de EC. Este modelo permitió estimar la probabilidad de que una empresa, entidad u organización adopte prácticas de EC en función de su decisión de inversión en TIN y otras variables relevantes. Además, se pudieron identificar los factores que más influyen en la adopción de estas prácticas, lo que proporcionó información valiosa para fomentar la EC en el país. De forma simplificada, el modelo es el siguiente:

$$EC_i = \beta_0 + x_1 \text{Inversión en TIN}_i + x_2 \text{Ventas}_i + x_3 \text{Trabajadores}_i + x_4 \text{Capital humano}_i + x_5 \text{Tamaño}_i + x_6 \text{Sector}_i + x_7 \text{Años de funcionamiento}_i + x_8 \text{Impuestos}_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

Se utilizó un modelo probit multinomial para comprobar la probabilidad de que las prácticas de EC se vean influenciadas por la inversión en TIN. La teoría de la elección discreta introducida por McFadden (1973) presupone que las empresas toman decisiones racionales para maximizar su utilidad seleccionando varias alternativas. En este sentido, basado en la inversión en TIN y otras características observables, el modelo puede estimar la probabilidad de que una empresa adopte prácticas de EC. Cada uno depende de un sistema que depende de estas propiedades y de un término que se asigna aleatoriamente para reflejar factores no observables (Rodríguez y Cáceres, 2007). Puede captar las diferencias entre empresas y tomar la mejor decisión en función de las diferencias en los rasgos de cada una. La aleatoriedad significa que, a pesar de las similitudes observables entre dos empresas, pueden tomar decisiones diferentes debido a otros factores. Esta relación se expresa de la siguiente manera:

$$P(Y_i = j) = P(\tilde{\varepsilon}_{i,j,k} + \tilde{V}_{i,j,k} < 0, \forall j \neq k) \quad (3)$$

Donde $\tilde{V}_{i,j,k} = \tilde{V}_{i,k} - \tilde{V}_{i,j}$,

$$k=0, \dots, J, k \neq j$$

En términos más específicos:

$P(Y_i=j)$: es la probabilidad de que la empresa i elija la alternativa j . En este contexto, significa la probabilidad de que una empresa adopte una práctica específica de EC (una alternativa entre varias posibles).

$P(\tilde{\varepsilon}_{i,j,k} + \tilde{V}_{i,j,k} < 0, \forall j \neq k)$: expresa la probabilidad de elegir la alternativa j sobre cualquier otra alternativa k en el conjunto de opciones.

$\tilde{V}_{i,j,k}$: expresa la diferencia en la utilidad sistemática entre las alternativas j y k para la empresa i .

$\tilde{\varepsilon}_{i,j,k}$: expresa la diferencia entre los términos de error aleatorio de las alternativas j y k para la empresa i . Permite que empresas con características similares puedan hacer elecciones diferentes, introduciendo variabilidad en la elección de alternativas.

$k=0, \dots, J, k \neq j$: indica que k es cualquier alternativa diferente de j dentro del conjunto total de $J+1$ alternativas.

El modelo probit multinomial se ha utilizado en distintos contextos, por ejemplo, tiene aplicaciones en decisiones empresariales o comportamientos sociales, como lo mostrado por Shah y Alharti (2024), quienes utilizaron este modelo para estudiar la probabilidad de que los agricultores adopten estrategias de gestión de riesgos en un contexto de incertidumbre en Pakistán. De igual forma, Zhang, et al. (2017) utilizaron este modelo para analizar la decisión de las personas en China, al tomar una ruta de metro. En este contexto, se puede observar que el modelo probit multinomial tiene una amplia gama de usos prácticos para analizar decisiones realizadas por empresas y personas.

5.2.3 *Objetivo específico 3*

Evaluar el efecto de la innovación tecnológica sobre la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021, mediante un modelo econométrico de evaluación, para comprender la magnitud del efecto de la relación examinada.

Los métodos de evaluación econométrica son técnicas estadísticas que identifican relaciones causales basadas en datos observacionales. La investigación microeconómica aplicada ha avanzado mucho con análisis de causalidad más rigurosos y precisos. Dentro de estos métodos, destaca el matching o pareo, puesto que, a diferencia de métodos como el diseño de regresión discontinua, en el que los grupos tratados y no tratados se separan completamente según una variable de corte, el pareo permite la comparabilidad entre grupos que comparten características, mejorando la confiabilidad de los resultados (García, 2011).

La técnica econométrica de evaluación que se utilizó para la presente investigación fue el método de emparejamiento a través del comando `kmatch`. Jann (2017) creó el paquete `kmatch` en Stata, en el cual estima efectos de grupos tratados en el número de observaciones planteadas, así mismo, ofrece la opción de corrección de sesgo. Esta técnica permite emparejar observaciones tratadas y no tratadas considerando las covariables. Además, si se incluyen variables de resultado, se pueden estimar los efectos del tratamiento basados en dichas observaciones emparejadas. Este proceso puede incorporar la corrección del sesgo utilizando ajuste de regresión.

En el contexto de estudio, se aplicó el método de Propensity Score Matching (Rosebaum & Rubin, 1983) a través del comando `kmatch` (Jann, 2017) para construir un grupo de comparación adecuado. Este enfoque permitió corregir posibles sesgos de selección al emparejar empresas que, aunque son similares en sus características observadas, difieren en su decisión de invertir en TIN. Una vez formado este grupo comparativo, se empleó un modelo econométrico basado en las observaciones emparejadas para estimar el efecto causal de la inversión en TIN sobre las prácticas de EC. Este análisis permitió determinar si existe una relación significativa entre ambas variables y cuantificar el impacto que la inversión en TIN tiene en la adopción de prácticas de EC en el país.

Así, el efecto de un tratamiento δ_i sobre una empresa i , en términos de la variable relevante y sobre la cual se espera que la inversión tenga un impacto significativo es:

$$\delta_i = y_{1i} - y_{0i} \quad (4)$$

Donde:

y_{1i} : Variable de resultado si la empresa i invierte en TIN.

y_{0i} : Variable de resultado si la empresa i no invierte en TIN.

Los impactos y su evaluación se determinan utilizando el estadístico de efectos promedio del tratamiento sobre los tratados (ATT, por sus siglas en inglés). Específicamente, cuando se lleva a cabo un experimento en poblaciones específicas, el ATT representa el efecto anticipado en las empresas que participan ($D = 1$) en el modelo (Carreño, et al. 2011). En este contexto, el ATT se define como:

$$ATT \equiv E\{\delta_i | t = 1\} \quad ATT = E\{y_{1i} - y_{0i} | t = 1\} \quad (5)$$

En donde t es la variable binaria indicadora de tratamiento:

$t = 1$: Si i invierte en TIN

$t = 0$: Si i no invierte en TIN

Además, i describe a la i -ésima empresa; **y_{1i}** y **y_{0i}** representan la aplicación de prácticas de EC los dos escenarios descritos por invertir y no invertir en TIN, respectivamente. Lo que define al impacto como la diferencia entre la aplicación de prácticas de EC en los dos casos.

Esta técnica ha sido utilizada anteriormente en estudios relacionados a la salud, pues, se empleó el comando `kmatch` para evaluar el efecto de la vacuna contra el rotavirus en la incidencia de enfermedades diarreicas en niños de 12 a 35 meses de edad. Para llevar a cabo este análisis, el comando utilizó técnicas de emparejamiento por puntaje de propensión, específicamente el emparejamiento kernel y el emparejamiento por vecino más cercano, con el objetivo de ajustar las observaciones y controlar posibles sesgos de selección entre los niños vacunados y no vacunados (Dhalaria et al., 2023).

6. Resultados

6.1 Objetivo específico 1

Analizar la innovación tecnológica y la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021, mediante estadística descriptiva para conocer el comportamiento de las variables examinadas.

En la Tabla 5 se puede observar las estadísticas descriptivas de las variables utilizadas en el modelo, en la que se muestran las características clave de las empresas incluidas en el estudio. Se evidencia que, en cuanto a la generación de energía renovable, solo el 9,6% de las empresas utilizan esta fuente de energía, mientras que el 90,4% no lo hace, lo que evidencia que la transición hacia fuentes más sostenibles aún es limitada. En relación con el ahorro de combustibles fósiles, el 5,6% de las empresas reportan este tipo de prácticas, lo que indica un esfuerzo moderado hacia la reducción del uso de recursos no renovables, aunque todavía prevalece un alto porcentaje (94,4%) de empresas que no implementan esta acción. Asimismo, el registro de generación de residuos es observado en el 43,9% de las empresas, mientras que el 56,1% no lo poseen, reflejando la necesidad de una mayor formalización y control en la gestión de residuos.

Además, respecto a las prácticas de reciclaje, se nota una mayor implementación. La gestión de residuos es realizada por el 82,6% de las empresas, mientras que la clasificación de residuos alcanza el 86,4%, lo que indica que estas prácticas están más consolidadas en comparación con otras dimensiones de la EC. Sin embargo, en términos de reutilización, el tratamiento de agua es ampliamente implementado por el 93,7% de las empresas, pero la reutilización de residuos sigue siendo poco frecuente, con solo el 4,2% de las empresas llevándola a cabo. Por su parte, la inversión en TIN es reportada por el 66% de las empresas, lo que muestra una inclinación considerable hacia la modernización tecnológica, aunque aún hay un 34% que no realiza inversiones en este ámbito. En cuanto a la cualificación en TIC, el 42,4% de los trabajadores han recibido capacitación, mientras que el 57,6% no, lo que evidencia la necesidad de fortalecer el capital humano empresarial.

Con relación al ámbito económico, las ventas promedio de las empresas ascienden a 42 millones de dólares, con una gran dispersión reflejada en una desviación estándar de 279 millones y un rango entre 0 y 6 320 mil millones. La mayoría de las empresas posee una presión fiscal baja (98,9%), tomando en consideración que la presión fiscal del año 2021 es de 19,06%

del total de los ingresos de las empresas. El número de trabajadores promedio es de 260, con empresas que oscilan entre pequeñas unidades y grandes corporaciones con hasta 7 538 empleados. Por último, la antigüedad promedio de las empresas es de 27,7 años, con un rango que va desde los 4 hasta los 103 años, lo que evidencia que se trata de un grupo en el que conviven empresas tanto nuevas como consolidadas. En cuanto al sector, se observa que el sector con mayor representación es el de manufactura (70,7%), construcción (18%), y el sector minería con el 11,3% de participación. Respecto al tamaño, medido en activos, el 77,2% son grandes empresas, mientras que el 22,8% son medianas.

Tabla 5. Estadísticos descriptivos

	Variable	Observaciones	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Reducir	Generación energía renovable					
	No	1026	0,904	0,294	0	1
	Sí	1026	0,096	0,294	0	1
	Ahorro de combustibles fósiles					
	No	1027	0,944	0,231	0	1
	Sí	1027	0,056	0,231	0	1
Reciclar	Registro de generación de residuos					
	No	1029	0,561	0,497	0	1
	Sí	1029	0,439	0,497	0	1
	Gestión de residuos					
	No	1029	0,174	0,379	0	1
	Sí	1029	0,826	0,379	0	1
Reutilizar	Clasificación de residuos					
	No	1029	0,136	0,343	0	1
	Sí	1029	0,864	0,343	0	1
	Agua tratada					
	No	1029	0,063	0,243	0	1
	Sí	1029	0,937	0,243	0	1
Reutilizar	Reutilización de residuos					
	No	1029	0,958	0,2	0	1
	Sí	1029	0,042	0,2	0	1
	Inversión en TIN					
	No	1027	0,34	0,474	0	1

Sí	1027	0,66	0,474	0	1
Ventas (logaritmo)	883	16,262	1,609	8,19	22,567
Trabajadores (logaritmo)	1007	4,633	1,439	0	8,928
Cualificación en TIC					
No	1023	0,576	0,494	0	1
Sí	1023	0,424	0,494	0	1
Tamaño					
Mediana	1029	0,228	0,42	0	1
Grande	1029	0,772	0,42	0	1
Sector					
Manufactura	1029	0,707	0,455	0	1
Minería	1029	0,113	0,316	0	1
Construcción	1029	0,18	0,384	0	1
Años de funcionamiento	1029	27,704	16,835	4	103
Impuestos					
Baja presión	1029	0,989	0,103	0	1
Alta presión	1029	0,011	0,103	0	1

En la Figura 1 se compara la adopción de las prácticas de EC entre empresas que han invertido en TIN con las que no lo han hecho. Se observa que las empresas que invierten en TIN están más inclinadas a las prácticas de EC en comparación con aquellas que no realizan dichas inversiones. Esto logra observarse claramente en las 3R en las cuales se encuentran clasificadas las prácticas de EC, aunque con variaciones según la práctica específica analizada. En primera instancia, en la dimensión de reducción, las empresas que invierten en TIN destacan por una mayor adopción de energía renovable, con un 6,31% en comparación con el 2,02% de las empresas que no invierten en tecnología. Además, en cuanto al ahorro de combustibles fósiles, las empresas que invierten en TIN muestran una proporción significativamente mayor de empresas que no los utilizan en su producción (93,12% frente a 86,38%).

Este dato refuerza la idea de que la TIN contribuye a una transición más rápida hacia procesos productivos menos dependientes de fuentes de energía no renovables. Por último, en esta dimensión, las empresas que invierten en TIN también se destacan en la tenencia de registros como generadores de residuos, con un 31,86% frente al 14,63% de las que no invierten. En la dimensión de reciclaje, las empresas que invierten en TIN tienen un porcentaje más alto en la gestión de residuos (83,41% frente a 75,44%) y en la clasificación de residuos (86,81% frente a 75,16%). Estas cifras reflejan que la TIN juegan un papel clave en la implementación de sistemas más avanzados para separar y manejar materiales reciclables.

Finalmente, en la dimensión de reutilización, la relación entre la inversión en TIN y la adopción de prácticas es más sutil. En la reutilización de residuos, las empresas que invierten en TIN reportan un porcentaje ligeramente mayor (3,59% frente a 2,76%). Aunque esta diferencia es menos marcada que en otras dimensiones, sigue indicando un impacto positivo de la TIN. Por otro lado, en el uso de agua tratada, las empresas que no invierten en TIN muestran una proporción marginalmente superior (96,87% frente a 95,77%). Este dato podría indicar que, en ciertas prácticas específicas, el impacto de la TIN no es tan evidente, posiblemente debido a la alta adopción generalizada de esta práctica en ambos grupos.

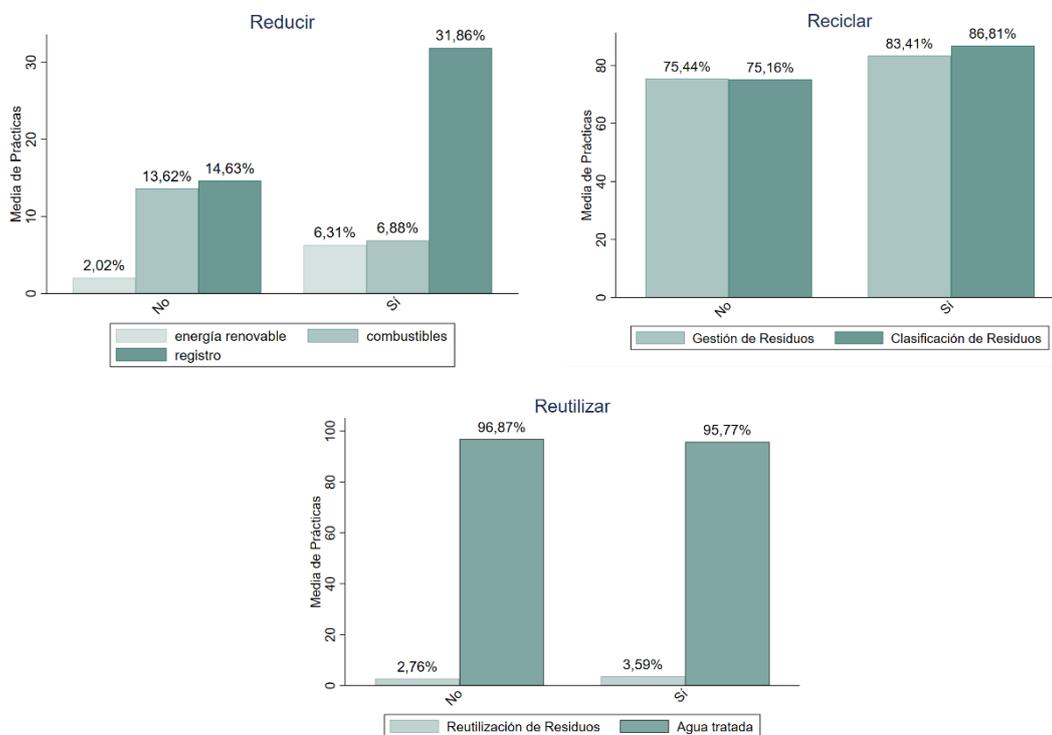


Figura 1. Comparación de adopción de prácticas de EC entre empresas que invierten y no invierten en TIC

6.2 Objetivo específico 2

Analizar la relación entre la innovación tecnológica y la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021, mediante un modelo probabilístico para conocer la relación entre estas variables.

Para analizar la relación entre la TIN y la EC, se realizó un modelo probit multinomial, cuyos resultados se pueden observar más adelante. No obstante, antes de realizar este modelo, fue necesario realizar pruebas de multicolinealidad, correlación y heteroscedasticidad para evitar problemas en las estimaciones. En esta instancia, en la Tabla 6 puede observarse que no existe multicolinealidad entre las variables dependientes, puesto que, el valor VIF es de 1,37. De igual manera, no existen problemas de correlación alta, tal como se observa en el Anexo 1. Estos valores son menores al mínimo de 10, requerido para los análisis en ciencias sociales. Por su parte, al realizar la prueba de heteroscedasticidad se obtuvo una probabilidad menor a 0,05; por lo que se rechaza la hipótesis nula de homoscedasticidad. Con lo cual, se evidencia la presencia de heteroscedasticidad en el modelo estimado, sin embargo, este inconveniente fue solventado a través de la inclusión del factor de robustez en las estimaciones del modelo probit.

Tabla 6. Prueba de multicolinealidad

Variable	VIF	1/VIF
Trabajadores	2,01	0,498
Ventas	1,95	0,513
Impuestos	1,01	0,994
Tamaño	1,33	0,751
Años de funcionamiento	1,18	0,845
TIC	1,18	0,848
Sector	1,18	0,846
Cualificación en TIC	1,13	0,888
Media VIF	1,37	

Los efectos marginales estimados mediante el modelo probit multinomial robusto permiten interpretar directamente las relaciones entre las variables de interés, cuantificando las probabilidades asociadas a la adopción de diferentes combinaciones de prácticas de EC. En la Tabla 7 se presentan los resultados de este análisis, que incluye tanto las variables principales, como EC y TIN, así como las variables de control relevantes. Este análisis facilita una mejor comprensión de las asociaciones entre la inversión en TIN y la adopción de prácticas de EC en las empresas.

En el modelo inicial (M1), la variable TIN muestra un coeficiente positivo y altamente significativo (0,231^{***}), evidenciando una fuerte relación entre la inversión en TIN y una mayor probabilidad de que las empresas adopten prácticas de EC representadas por la aplicación conjunta de las 3R. A medida que se incorporan más variables explicativas en los modelos subsiguientes, esta asociación se mantiene estadísticamente significativa en todos los casos, lo que subraya su robustez. No obstante, es importante tomar en cuenta que, además de la relación principal, deben examinarse otras características empresariales y de contexto, las cuales también presentan incidencia sobre la EC.

En los modelos subsiguientes (M2-M8), se incorporan variables de control como ventas, trabajadores y cualificación en TIC. En M2, la variable "ventas" presenta un efecto positivo y significativo (0,093^{***}), lo que sugiere que, a diferencia de las empresas con bajos ingresos, las que tienen altas ventas están asociadas con una mayor propensión a adoptar prácticas de EC, sin modificar la relación principal con la inversión en TIN. En M3, la variable "trabajadores" muestra un coeficiente positivo y significativo (0,085^{***}), indicando que un mayor número de empleados también está relacionado con una implementación más favorable de prácticas de EC.

El modelo M4 introduce la variable que examina la cualificación del personal en TIC, la cual tiene un efecto positivo y significativo (0,052^{*}), sugiriendo que la capacitación en TIC está asociada con una mayor probabilidad de que las empresas implementen prácticas de EC. De manera similar, el tamaño de la empresa, introducido en M5, presenta un efecto positivo y significativo (0,067^{*}), lo que indica que las empresas medianas enfrentan mayores dificultades para adoptar estas prácticas, en comparación con las empresas grandes. En contraste, la variable "sector" registra un efecto negativo y significativo (-0,019^{*}), mostrando que sectores como minería y construcción enfrentan mayores barreras para implementar prácticas de EC en comparación con el sector manufactura.

Por otro lado, los "años de funcionamiento", incluidos en M6, muestran un efecto positivo y significativo (0,002^{**}), lo que sugiere que las empresas con mayor antigüedad tienen una mayor probabilidad de adoptar prácticas de EC, en comparación con las nuevas, posiblemente debido a su experiencia acumulada y su capacidad para adaptarse a regulaciones o demandas de sostenibilidad. Finalmente, en M8, la variable "impuestos" presenta un efecto positivo y significativo (0,048^{***}), lo que indica que los incentivos fiscales podrían desempeñar

un papel importante en fomentar la adopción de prácticas de EC, actuando como un mecanismo adicional para impulsar la sostenibilidad empresarial.

Tabla 7. Análisis marginal modelo probit multinomial

		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
TIN									
	Sí	0,231***	0,141***	0,76**	0,076**	0,069*	0,063*	0,061*	0,059*
Ventas			0,093***	0,044***	0,041***	0,035**	0,026*	0,027*	0,035*
Trabajadores				0,085***	0,087***	0,084***	0,083***	0,077***	0,072***
Cualificación	en								
TIC									
	Sí				0,052*	0,054*	0,058*	0,058*	0,057*
Tamaño									
	Grandes					0,067*	0,073	0,059	0,059
Sector							-0,019*	-0,014	-0,026
Años	de								
funcionamiento								0,002**	0,002**
Impuestos									0,048***
Observaciones		2672	2521	2472	2468	2468	2468	2468	2334

6.3 Objetivo específico 3

Evaluar el efecto de la innovación tecnológica sobre la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021, mediante un modelo econométrico de evaluación, para comprender la magnitud del efecto de la relación examinada.

En la Tabla 8 se puede observar el análisis de las diferencias en las medias de las variables entre empresas que han invertido en TIN y aquellas que no lo han hecho. Se evidencia que existen diferencias estadísticamente significativas en todas las variables propuestas, como ventas, trabajadores, tamaño, sector, años de funcionamiento e impuestos, con valores de probabilidad menores a 0,05. Esto indica que, las empresas que invierten en TIN tienden a ser significativamente diferentes en estas características respecto a las que no lo hacen. Estas diferencias son de gran importancia para entender el impacto de la inversión en TIN, ya que variables tamaño de la empresa y sector económico podrían influir en su capacidad para adoptar prácticas de EC.

Tabla 8. *Test de medias de grupo de tratamiento*

VARIABLES	Probabilidad
Ventas (logaritmo)	0,000
Trabajadores (logaritmo)	0,000
Cualificación en TIC	0,000
Tamaño	0,000
Sector	0,000
Años de funcionamiento	0,000
Impuestos (logaritmo)	0,000

Por otra parte, en la Figura 2 se presentan las características observables entre las empresas que invierten en TIN y aquellas que no lo hacen. Se muestra que ambos grupos son comparables en términos de factores como el tamaño de la empresa, el sector, la antigüedad y la cualificación en TIN. Esto indica que las diferencias estructurales entre los grupos permiten proceder con la aplicación de métodos de emparejamiento. Con base en esta comparabilidad, se puede emplear el emparejamiento exacto propuesto por Iacus et al. (2012), el cual es un balanceo de algoritmo a estimar, que garantiza que las covariables especificadas coincidan exactamente entre las empresas tratadas y de control. Así mismo, se puede implementar un emparejamiento por puntaje de propensión utilizando el criterio del vecino más cercano, lo que asegura que las empresas seleccionadas para la comparación tengan características similares, lo cual robustece el análisis, donde las diferencias identificadas en los resultados pueden atribuirse directamente a la inversión en TIN.

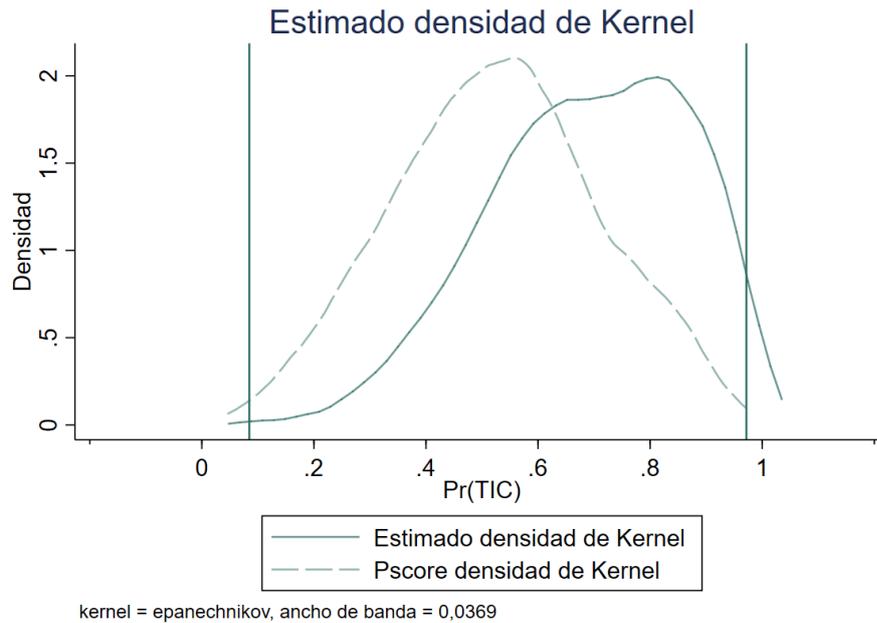


Figura 2. *Estimado densidad de Kernel*

Con la finalidad de estandarizar las variables, se aplicaron criterios basados en el diseño muestral de la encuesta ENESEM (INEC, 2021) para clasificar las empresas según ventas y número de empleados. Las empresas se clasificaron según ventas (hasta 5 millones de dólares o superiores) y número de empleados (menos de 200 o 200 o más). Asimismo, las categorías del sector de las empresas se dividieron en sector primario y secundario. Por último, se consideraron longevas a las empresas con más de 25 años de funcionamiento, según Rivera-Rodríguez y Malaver (2008).

En la Tabla 9 se presentan los resultados del modelo PSM, implementado mediante el código desarrollado por Jann (2017) y utilizando el criterio del vecino más cercano. Este enfoque permite evaluar de manera sólida el impacto de la inversión en TIN sobre diferentes medidas de la EC. La metodología de emparejamiento minimiza los sesgos originados por diferencias iniciales en las características observables entre los grupos de tratamiento y control, garantizando que las diferencias en las variables dependientes puedan atribuirse al tratamiento (inversión en TIN). De igual manera, se puede observar los resultados de datos emparejados en el Anexo 2.

En este caso, el criterio del vecino más cercano fue aplicado mediante estimaciones del balanceo del algoritmo propuesto por Iacus et al. (2012), considerando variables como el

tamaño de la empresa, el sector, la antigüedad y otras características relevantes. Este procedimiento asegura que ambos grupos sean comparables y que las estimaciones obtenidas reflejen una relación causal, en lugar de una simple correlación. Además, en una etapa inicial del análisis, la variable de tratamiento (TIN) se utilizó como variable dependiente para identificar cómo factores estructurales y contextuales influyen en su adopción, antes de evaluar su efecto sobre la EC.

Los resultados obtenidos muestran que la variable EC, que representa una combinación de prácticas relacionadas con las 3R, registra un efecto positivo y altamente significativo (0,211**), lo que evidencia que las empresas que invierten en TIN tienen una mayor probabilidad de adoptar prácticas conjuntas de EC en comparación con aquellas que no realizan esta inversión. La significatividad estadística refuerza la solidez del resultado, y el uso del emparejamiento exacto asegura que estas diferencias no se deban a factores estructurales preexistentes. Por otro lado, la variable EC1, que mide de manera dicotómica si una empresa implementa al menos una práctica de EC, no muestra un efecto significativo (-0,002). Este resultado sugiere que la decisión de adoptar al menos una práctica de EC puede estar influenciada principalmente por factores distintos a la inversión en TIN.

En cuanto a la variable EC2, que captura el número de prácticas relacionadas con las 3R implementadas por una empresa, la inversión en TIN tiene un efecto positivo y significativo (0,144**). Esto refleja que las empresas que invierten en TIN no solo promueven la adopción de prácticas sostenibles, sino que también son capaces de diversificar y profundizar dichas prácticas en comparación con aquellas que no invierten en tecnología. Este hallazgo refuerza la relevancia de la TIN como un elemento impulsor para ampliar las capacidades de las empresas en la transición hacia modelos más sostenibles.

Respecto a las variables de control, el nivel de ventas presenta coeficientes positivos y significativos (0,025* y 0,183**), lo que indica que las empresas con mayores ingresos tienen una mayor propensión a adoptar prácticas de EC en comparación con aquellas con ingresos más bajos. Este resultado puede explicarse porque un mayor flujo de ingresos facilita la capacidad de las empresas para implementar procesos productivos más eficientes. De manera similar, el número de trabajadores también muestra un efecto positivo y significativo (0,269** y 0,187**), lo que sugiere que las empresas con una mayor plantilla tienen más probabilidades de aplicar prácticas de EC que aquellas con menos personal.

La capacitación en TIC también desempeña un papel relevante, ya que presenta un efecto positivo y significativo en sus coeficientes (0,108* y 0,086**). Esto indica que las empresas que cuentan con trabajadores capacitados en TIC son más propensas a adoptar prácticas de EC, lo que resalta la importancia del capital humano cualificado como un complemento fundamental para maximizar el impacto de la inversión tecnológica. Adicionalmente, el tamaño de la empresa presenta un efecto positivo y significativo en sus coeficientes (0,411* y 0,230**), indicando que las empresas grandes, se encuentran con una mejor estructura para la adopción de EC, en comparación con aquellas empresas medianas.

De manera similar, el sector al que pertenece la empresa muestra un efecto positivo y altamente significativo en sus coeficientes (0,701* y 0,477***), evidenciando que las empresas del sector secundario de la economía (manufactura y construcción) son más propensas a implementar prácticas de EC en comparación con aquellas pertenecientes al sector primario, como la minería. Esto se debe a que, dentro del sector secundario se implementan más procesos de producción que contribuyen a la transformación de materia prima en productos finales, por lo que presentan mayores incentivos para adoptar dichas prácticas.

Por otro lado, la antigüedad de la empresa también tiene un impacto positivo y significativo (0,118** y 0,058*), lo que demuestra que las empresas con más de 25 años de operación tienen una mayor probabilidad de implementar prácticas de EC en comparación con empresas más jóvenes. Finalmente, la variable relacionada con impuestos muestra un efecto positivo y significativo en uno de los modelos (0,088*), indicando que las empresas que pagan mayores impuestos son más propensas a aplicar prácticas de EC, posiblemente debido a la necesidad de optimizar recursos y mejorar la eficiencia para cumplir con las obligaciones fiscales.

En resumen, los resultados evidencian que las empresas que invierten en TIC, con mayores ingresos, mayor cantidad de trabajadores y mayores pagos de impuestos; con personal capacitado en TIC, mayor antigüedad en el mercado y que pertenecen al sector industrial, están mejor posicionadas y presentan mejores condiciones para invertir en procesos productivos más eficientes que les permitan implementar prácticas relacionadas con las 3R.

Tabla 9.*Resultados modelo de emparejamiento*

VARIABLES	(1) EC	(2) EC1	(3) EC3
TIN	0,211**	-0,002	0,144**
Ventas	0,025*	-0,008	0,183**
Trabajadores	0,269**	0,001	0,187**
Cualificación en TIC	0,108*	0,001	0,086**
Tamaño	0,411*	0,004	0,230**
Sector	0,701***	0,001	0,477***
Años de funcionamiento	0,134	-0,002	0,114**
Impuestos	0,763**	0,001	0,563***

7. Discusión

7.1 Objetivo específico 1

Analizar la innovación tecnológica y la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021, mediante estadística descriptiva para conocer el comportamiento de las variables examinadas.

En el objetivo 1, los resultados evidenciaron las diferencias en los niveles de adopción de prácticas de EC entre las empresas ecuatorianas durante 2021 según su decisión de inversión en TIN. Se observó que las empresas que sí invierten en TIN registran mayores niveles de implementación de las prácticas de EC en comparación con aquellas que no realizan dicha inversión. Este resultado coincide con estudios previos, los cuales señalan que la TIN facilitan la digitalización de procesos y el acceso a tecnologías limpias, permitiendo optimizar el uso de recursos y reducir el impacto ambiental (Ghisellini et al., 2016; Geissdoerfer et al., 2017). Por ejemplo, el mayor uso de energía renovable y el ahorro de combustibles fósiles en empresas con inversión en TIN fortalece el argumento de que estas tecnologías promueven una transición hacia fuentes de energía más sostenibles (Parida et al., 2019). Además, la inversión en TIN desempeña un papel relevante en la formalización y gestión de residuos, como lo evidencia el porcentaje más alto de empresas con registros de generación de residuos.

Por otra parte, las diferencias observadas en las prácticas de EC adoptadas por las empresas, distinguidas según la decisión de inversión en TIN, son evidencia del potencial que tiene el uso de las tecnologías de acuerdo con las distintas dimensiones de sostenibilidad establecidas, el cual no es similar el cada una de ellas. Esto es más notable en variables como gestión y clasificación de residuos, donde la TIN muestra una mayor relación con éstas, en comparación con el tratamiento de agua residual, donde la posible relación con la inversión en TIN es menos probable. Esto podría explicarse por la adopción generalizada de esta práctica a causa de normativas ambientales, así como una mayor disponibilidad de recursos para su implementación, mas no por la inversión en TIN. Además, se evidenció que las empresas con mayores ingresos tienen una mayor capacidad para implementar prácticas sostenibles. Este resultado coincide con estudios que indican que los recursos financieros son un factor determinante para la adopción de la EC, ya que permiten cubrir los costos iniciales de tecnologías más avanzadas (Govindan y Hasanagic, 2018).

Así mismo, se observó que variables como número de trabajadores y la cualificación en TIC también posee una relación aparente con la capacidad de las empresas para adoptar prácticas de EC. Esto se explica debido a la facilidad que las empresas con más trabajadores tienen para implementar iniciativas sostenibles, pues se relaciona con una mayor disponibilidad de recursos humanos. De igual manera, una mayor capacitación en TIC de los trabajadores provoca una mejora de competencias esenciales para el manejo de tecnologías asociadas con la EC. En este contexto, estos resultados se corroboran por Chiappetta Jabbour et al. (2020) quienes corroboran la importancia que tiene el capital humano como mediador en la relación entre la TIN y sostenibilidad empresarial. Por otro lado, en referencia al sector, se demostró que el sector manufacturero es el más representativo, lo cual indica su rol clave en la transición hacia la circularidad en el país. Este resultado se alinea con evidencia empírica que señala que el sector mencionado es uno de alto potencial para que las estrategias circulares puedan ser implementadas, debido al mayor uso de materiales y energía (Bocken et al., 2016). No obstante, es importante mencionar que sectores con menor representación como la minería y construcción también pueden presentar oportunidades significativas al fomentarse la inversión en TIN.

Por otro lado, se evidenció que las empresas grandes suelen adoptar un mayor número de prácticas de EC, lo que se debe a la disponibilidad de mayores recursos y capacidades de organización en comparación con las empresas pequeñas. Esto también da evidencia de que las empresas medianas deben ser incentivadas a través de políticas adecuadas que las ayuden a participar activamente en la transición hacia la circularidad. Además, si se considera la variable antigüedad, el promedio de años de las empresas oscila en 24,7, lo que indica que las empresas consolidadas tienen mayor probabilidad de relacionarse con la adopción de prácticas de sostenibilidad por efecto de la antigüedad, pero también existe la posibilidad de que las empresas más jóvenes tengan un enfoque de la sostenibilidad innovador. Por otro lado, los impuestos que pagan las empresas reflejan una relación indirecta con la adopción de prácticas de EC, dado que los impuestos pueden influir y condicionar el círculo de la disponibilidad de recursos para las inversiones en tecnología y en sostenibilidad. Este aspecto podría ser un elemento de futuras investigaciones a fin de poder tratar de profundizar en él.

7.2 Objetivo específico 2

Analizar la relación entre la innovación tecnológica y la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021, mediante un modelo probabilístico para conocer la relación entre estas variables.

Los resultados del análisis probabilístico reflejan una relación importante entre la inversión en TIN y la adopción de prácticas de EC. Las empresas que invierten en TIN muestran una mayor probabilidad de implementar prácticas de EC, como la aplicación conjunta de las 3R, en comparación con aquellas que no lo hacen. Esto se enmarca en la teoría de Christensen (1997), la cual establece la relación encontrada dentro de este objetivo de investigación. Esto podría explicarse porque las TIN potencian y mejoran los procesos productivos y generan condiciones óptimas para aplicar estrategias sostenibles (Ghisellini et al., 2016). Sin embargo, a esta relación inicial se le incorporaron otras variables empresariales al modelo, de tal manera que se analice la relación de la EC con factores adicionales, como el tamaño, el sector y las características organizacionales (Andersen, 2006).

El análisis marginal muestra que la inversión en TIN tiene una relación positiva y significativa en el modelo inicial, lo que refuerza la asociación sólida entre TIN y EC. De manera similar, se evidencia que, al incluir otras variables como ventas y trabajadores, la relación de la inversión en TIN con la EC continúa demostrando significancia estadística. En cuanto a las ventas, se demostró la existencia de una relación positiva y significativa, sugiriendo que las empresas que tienen más ingresos tienen mayor capacidad para la adopción de prácticas circulares. Este resultado es coincidente con estudios previos, los cuales indican que los recursos financieros constituyen un factor importante para la adquisición e implementación de tecnologías sostenibles y limpias (Govindan y Hasanagic, 2018; Kirchherr et al., 2017). De manera similar, el número de trabajadores también se asocia positivamente con la EC, puesto que un mayor capital humano facilita la implementación de iniciativas sostenibles (Chiappetta Jabbour et al., 2020; Horbach, 2014).

Por el contrario, la variable tamaño muestra una relación negativa y significativa con la EC, lo que es evidencia de que las empresas más grandes se ven relacionadas con una menor probabilidad de adoptar prácticas de EC. Este resultado coincide con el estudio de Del Río et al. (2016), en el cual se menciona que las empresas grandes deben superar estas barreras a través de innovaciones estructurales para cambiar su modelo de producción a uno circular. Por

otro lado, se observó que el sector de la empresa juega un rol fundamental en la adopción de prácticas de EC, ya que, la minería y construcción tienen mayores problemas al momento de implementar modelos circulares. Esto se debe principalmente a limitaciones relacionadas con la naturaleza de sus procesos productivos, así como la inexistencia de incentivos adecuados. Esto es consistente con la literatura, ya que Bocken et al. (2016) y Geissdoerfer et al. (2017) enfatiza la importancia de las diferencias entre sectores al momento de una transición hacia una producción circular dentro de las empresas.

Además, se evidenció que los años de funcionamiento de la empresa tienen una relación positiva y significativa con la adopción de la EC, es decir, que aquellas empresas con mayor trayectoria poseen una mayor probabilidad de adoptar prácticas circulares. Esto puede ser el resultado de un incremento en la capacidad de adaptación que tienen las empresas a las normas regulatorias o a las preferencias del mercado que favorecen la sostenibilidad, de acuerdo con lo expuesto por Montiel y Delgado-Ceballos (2014). Por otro lado, la variable impuestos constata la importancia de contar con incentivos fiscales para adoptar la EC, ya que se reafirma la importancia de la política pública para ayudar a las instituciones en esta tarea, siguiendo el camino que han tomado otros estudios en los que destaca el impacto positivo que tienen los incentivos fiscales en la adopción de prácticas sostenibles (Domenech y Davies, 2011; Geng et al., 2012).

En conclusión, la inversión en TIN muestra una asociación fuerte con la adopción de prácticas de EC, a la que se le ha incrementado el análisis de múltiples factores empresariales y contextuales. Al añadir otras variables se refleja cómo la relación principal mantiene solidez, así como significancia estadística. Además, se evidenció que las ventas, los trabajadores y el tamaño empresarial explican parte de la variación en la adopción de la EC, destacando la necesidad de un enfoque que considere la interacción de diversos factores para impulsar la sostenibilidad empresarial. Esto es consistente con estudios previos que destacan la importancia de abordar la sostenibilidad desde una perspectiva multidimensional (Ghisellini et al., 2016; Kirchherr et al., 2017).

7.3 Objetivo específico 3

Evaluar el efecto de la innovación tecnológica sobre la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021, mediante un modelo econométrico de evaluación, para comprender la magnitud del efecto de la relación examinada.

En el tercer objetivo se identificó que las empresas que sí invierten en TIN no solo tienen mayor capacidad de optimización de los procesos productivos, sino que también son más propensas a la incorporación de prácticas sostenibles, en este caso, prácticas de EC. Previamente se presentó un análisis probabilístico, el cual examinó las relaciones basadas solamente en las categorías de cada variable, no obstante, en este caso, tomó lugar un análisis más robusto y comparativo. En este sentido, al realizar este análisis se permitió profundizar en las dinámicas entre las distintas variables, puesto que, el método utilizado de emparejamiento permitió que las empresas con características observables similares puedan ser comparadas, lo que permitió evaluar con precisión los efectos de la inversión en TIN sobre la EC. De este modo, se logró comprobar, a través de la medición de efectos, que la teoría de la innovación disruptiva (Christensen, 1997) se cumplió en este caso.

En este análisis, la inversión en TIN muestra un efecto positivo y significativo sobre la adopción de prácticas circulares, respaldando la literatura que señala que estas tecnologías actúan como catalizadores para la transición hacia modelos empresariales sostenibles. Estudios previos, que también analizan efectos, han destacado que la TIN facilita la implementación de tecnologías limpias, la optimización de recursos y la monitorización de procesos, lo que permite a las empresas adoptar estrategias de EC de manera más eficiente (Ghisellini et al., 2016; Bocken et al., 2016). Este resultado concuerda con el argumento de que la TIN contribuye a la sostenibilidad empresarial al promover prácticas que reducen el impacto ambiental y mejoran la eficiencia operativa (Govindan y Hasanagic, 2018).

En cuanto a las variables independientes, se pudo observar que las empresas que presentan niveles altos de ventas son más propensas a adoptar prácticas de EC, en comparación con aquellas que tienen bajas ventas. Este resultado coincide con otras investigaciones realizadas anteriormente, ya que las mismas aseguran que la disponibilidad de recursos financieros permite una mayor adquisición de tecnología, así como un mejor desarrollo de capacidades internas, las cuales son esenciales para la implementación de prácticas circulares.

El número de trabajadores también se asocia positivamente con la adopción de prácticas de EC, lo que sugiere que empresas con mayor capital humano tienen más probabilidades de adoptar estas iniciativas. Esto se alinea con estudios que destacan la importancia del tamaño organizacional en la implementación de prácticas sostenibles, ya que empresas más grandes tienden a contar con estructuras organizativas y recursos especializados que facilitan la integración de estrategias de sostenibilidad (Montiel y Delgado-Ceballos, 2014; Geissdoerfer

et al., 2017). La cualificación del personal en el uso de nuevas tecnologías también juega un papel esencial, ya que el capital humano especializado en TIC puede obtener el máximo rendimiento de la inversión tecnológica dedicada a los procesos de sostenibilidad empresarial.

Por otro lado, los resultados mostraron que la antigüedad de la empresa y su tamaño también tienen efectos positivos en la adopción de prácticas de EC. Es decir, las empresas más antiguas poseen mayor experiencia en el mercado y suelen estar mejor posicionadas para la adopción de estrategias circulares debido a la acumulación de conocimiento y a su estabilidad operativa (Kirchherr et al., 2017). Así mismo, en cuanto al tamaño, las empresas grandes suelen tener acceso a economías de escala y mayores recursos técnicos y financieros, lo que les permite superar barreras asociadas con la implementación de estas prácticas (Ghisellini et al., 2016).

De igual manera, los resultados evidencian que el sector económico en el que se constituye la empresa tiene un efecto positivo y significativo sobre la EC, lo que sugiere que el sector primario tiene mayores problemas tecnológicos o culturales que dificultan la adopción de prácticas de EC, en comparación con las empresas del sector secundario. Esto es consistente con estudios que indican que las características específicas de cada industria pueden influir de manera significativa en la capacidad de las empresas para adoptar estrategias circulares, particularmente en sectores intensivos en recursos o con marcos regulatorios menos estrictos (Horbach, 2014; Bocken et al., 2016).

En resumen, invertir en TIN es fundamental para adoptar prácticas de economía circular, ya que actúa como un motor clave para la innovación sostenible. No obstante, es crucial tener en cuenta que factores como las ventas, el número de empleados y la antigüedad de las empresas también juegan un papel importante en esta transición. Cabe recalcar que hay limitaciones sectoriales que pueden limitar la manifestación de ciertas potencialidades. Estos hallazgos subrayan la necesidad de promover la inversión en TIN y el desarrollo de capacidades internas como estrategias complementarias para impulsar la economía circular, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los principios de sostenibilidad empresarial (Govindan y Hasanagic, 2018; Chiappetta Jabbour et al., 2020).

8. Conclusiones

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo evaluar la relación entre la TIN y la adopción de prácticas de EC en las empresas ecuatorianas en 2021, destacando la importancia de las TIN como un elemento clave para la sostenibilidad empresarial. Desde una perspectiva teórica, los hallazgos respaldan la aplicabilidad de la Teoría de la Innovación Disruptiva (Christensen, 1997) para comprender su impacto en la transición hacia un modelo económico más sostenible. De acuerdo con esta teoría, la innovación tecnológica desempeña un papel transformador en los mercados, impulsando la evolución del actual esquema lineal de producción y consumo hacia un enfoque circular, donde los recursos se gestionan de manera más eficiente y sostenible. Los resultados empíricos del estudio confirman que la inversión en TIN favorece la adopción de prácticas circulares en las empresas, lo que sugiere que el impulso a la innovación tecnológica es un mecanismo clave para redefinir la estructura productiva y avanzar hacia un modelo económico más resiliente y competitivo.

En cuanto al primer objetivo, los resultados de los estadísticos descriptivos permitieron observar que las empresas ecuatorianas aún presentan limitaciones significativas en la adopción de prácticas de EC, como la generación de energías renovables y el ahorro de combustibles fósiles. Sin embargo, se evidencia una tendencia positiva hacia la implementación de prácticas relacionadas con la gestión y clasificación de residuos, particularmente en empresas que invierten en TIN. Esto sugiere que la tecnología desempeña un papel importante en la formalización y optimización de procesos empresariales orientados a la sostenibilidad. Además, se identificó que factores como el capital humano, las ventas y el tamaño de las empresas son determinantes para la adopción de dichas prácticas, destacando la necesidad de fortalecer las capacidades internas de las empresas para mejorar sus estrategias de sostenibilidad. En este contexto, es esencial que las empresas pequeñas y medianas sean incentivadas a invertir en tecnologías que les permitan adoptar prácticas de EC de manera eficiente y a largo plazo.

Respecto al segundo objetivo, el análisis comparativo entre categorías permitió evidenciar que la inversión en TIN tiene una relación positiva y significativa con la adopción de prácticas de EC, la cual presentó solidez luego de incorporar otros factores. Posteriormente, al incorporar las variables de control, como ventas, número de trabajadores, tamaño y sector, se pudo comprobar que el análisis debe considerar también los factores contextuales y organizativos, lo que refuerza la idea de que la sostenibilidad empresarial es un fenómeno

heterogéneo. Las empresas con mayores recursos financieros y humanos parecen estar mejor posicionadas para implementar prácticas de EC, mientras que las empresas más grandes enfrentan barreras estructurales que dificultan su flexibilidad para adoptar estrategias sostenibles. Además, se destaca que ciertos sectores, como la minería y la construcción, presentan desafíos adicionales para implementar la EC, lo que resalta la necesidad de enfoques sectoriales diferenciados en la promoción de prácticas sostenibles.

El análisis desarrollado en relación con el objetivo tres se orientó a afirmar los efectos que ejerce la inversión en TIN sobre la EC, transitando de las relaciones exploradas en el objetivo que le precede hasta la evaluación de las variables empresariales para poder diseñar políticas y estrategias empresariales para su implementación. Para este análisis, la metodología de emparejamiento con la que se elaboraron las comparaciones de las empresas con características observables similares sirvió para capturar los efectos que ejercían las variables sobre la EC hasta poder fijar cómo influye la TIN en procesos de adopción y diversificación de prácticas sostenibles, un factor clave en el tránsito a otro tipo de modelos más sostenibles en las empresas ecuatorianas. De este modo, los resultados indicaron que la inversión en TIN no solo inciden positivamente sobre las prácticas de EC, sino que también promueve la diversificación de las mismas, especialmente en aquellas empresas que incorporaban otras características estructurales, con mayor ingreso, un mayor número de trabajadores y personal capacitado.

Sin embargo, las restricciones observadas en las empresas más pequeñas, de menor antigüedad o que no forman a su personal en TIC ponen de manifiesto que los esfuerzos deben concentrarse en este tipo de organizaciones, dado que son las que se encuentran más limitadas para implementar prácticas sostenibles. Así mismo, el sector primario, menos afin a incorporar procesos circulares de producción debido a su operatividad, deben ser objeto de estrategias para su contexto. Por último, la formación en TIC emerge como un elemento a considerar para maximizar el impacto de las inversiones en TIN, ya que las empresas que tienen personal formado en TIC muestran mayores probabilidades de implementar y diversificar prácticas sostenibles, lo que vuelven a poner de manifiesto la necesidad de fomentar iniciativas formativas que desarrollen el capital humano en esta materia, lo que evidencia la necesidad de generar políticas públicas y privadas que favorezcan la adopción de TIN y la formación en capital humano, acentuando el foco en empresas con mayores limitaciones para facilitar la transición hacia la sostenibilidad.

9. Recomendaciones

Los resultados de este estudio evidencian que la inversión en TIN es un factor determinante para impulsar prácticas de EC, las cuales se categorizan dentro de Reducción, Reciclaje y Reutilización. Sin embargo, en el caso de Ecuador, las limitaciones estructurales y económicas que enfrentan las empresas, particularmente las pequeñas y medianas, requieren soluciones innovadoras que permitan superar estas barreras y maximizar el impacto de la TIN en la sostenibilidad empresarial. En este contexto, se proponen las siguientes recomendaciones basadas en los resultados obtenidos.

Primero, se ha evidenciado cómo las empresas que forman a sus trabajadores en el uso de TIN suelen adoptar más prácticas de EC que aquellas que no lo hacen. Seguir creando programas de formación de este tipo en el corto plazo es muy recomendable y podría enfocarse en aquellas tecnologías que ayuden a las empresas avanzar la Sostenibilidad. También se puede proponer que las capacitaciones se enfoquen en la optimización de procesos internos, como la reducción de residuos, la reutilización y reciclaje; por ello habrá que tener en cuenta el tamaño de la empresa y el sector al que pertenezca para que pueda aplicarse lo aprendido. El sector empresarial debería promover la creación de talleres de tipo práctico y de actualización que fortalezcan el capital humano en su conocimiento de temas importantes de la EC. Este tipo de acciones no solo repercutirán en la adopción de prácticas circulares sino que también mejorarán la competitividad empresarial en un entorno que tiende a mostrar su aprecio por los modelos sostenibles.

La investigación realizada también indica que las empresas grandes se encuentran en una mejor posición frente a las medianas empresas porque tienen mayores recursos humanos y/o financieros, en especial si se considera que las empresas medianas tienen ventas o el número de trabajadores limitadas. Por eso, se aconseja introducir mecanismos que permitan acceder a tecnologías para las empresas con tales limitaciones. Un ejemplo sería el desarrollo de redes empresariales y clústeres sectoriales para compartir recursos y conocimientos entre empresas grandes y medianas, de modo que el coste de aplicar la TIN se reduzca. Las redes también pueden ser plataformas donde las empresas medianas puedan detectar soluciones tecnológicas comunes para atender sus requerimientos, contribuyendo al propio funcionamiento de la EC. También desde el punto de vista del financiamiento, se aconseja ampliar los esquemas existentes para brindar apoyo a las empresas medianas interesadas en adoptar modelos

circulares, permitiéndoles acceder a fondos de innovación y, en su caso, a asistencia técnica especializada.

Asimismo, considerando que sectores como la minería y la construcción enfrentan desafíos adicionales para implementar la EC debido a la naturaleza de sus actividades, se recomienda desarrollar enfoques sectoriales mediante la focalización de políticas. Esto implica incentivar la adopción de TIN mediante la creación de normas técnicas y guías sectoriales que orienten a las empresas hacia prácticas sostenibles viables dentro de sus contextos operativos. El gobierno debería trabajar con asociaciones sectoriales y el sector empresarial para diseñar estas herramientas, asegurándose de que sean accesibles para empresas de todos los tamaños y capacidades. Desde una perspectiva financiera, se recomienda establecer mecanismos que faciliten la inversión en TIN, tales como créditos preferenciales para la modernización de procesos industriales con enfoque circular y la integración de soluciones tecnológicas avanzadas en la gestión de residuos y reutilización de materiales. Paralelamente, se recomienda la normativa debería impulsar implementación de modelos circulares, promoviendo una regulación adaptada a la innovación tecnológica.

Finalmente, debido a que las empresas que invierten en TIN tienden a formalizar y optimizar sus procesos empresariales hacia la sostenibilidad, se recomienda fomentar dicha inversión mediante incentivos no financieros que favorezcan el entorno empresarial. Por ejemplo, el reconocimiento público a través de certificaciones, sellos de sostenibilidad o premios nacionales puede motivar a las empresas a priorizar la tecnología como un medio para alcanzar la sostenibilidad. Estos reconocimientos no solo servirían como un distintivo de compromiso con la sostenibilidad, sino que también podrían vincularse con beneficios adicionales, como el establecimiento de condiciones especiales en acuerdos comerciales. Además, la simplificación de trámites administrativos para empresas que adopten TIN y prácticas circulares puede ser un incentivo efectivo, especialmente para las pymes que suelen enfrentarse a mayores barreras burocráticas. Para ello, se podría implementar un régimen especial de facilitación empresarial, dirigido especialmente a las empresas medianas y pequeñas, que reduzca la carga burocrática en la obtención de permisos ambientales, patentes tecnológicas y registros de productos innovadores.

Por otro lado, es fundamental complementar estas medidas con incentivos tributarios que promuevan la inversión en TIN y la adopción de EC. En este sentido, se recomienda la implementación de beneficios fiscales como la reducción o exoneración de aranceles para la

importación de maquinaria, equipos y materiales destinados a la investigación, desarrollo e implementación de tecnologías que fomenten la circularidad en los procesos productivos. A mediano y largo plazo, Ecuador podría implementar un sistema de bonos de carbono, permitiendo a las empresas que inviertan en tecnologías limpias y sostenibles generar créditos de carbono que puedan comercializar en mercados nacionales e internacionales. Este mecanismo no solo incentivaría la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también representaría una nueva fuente de financiamiento para las empresas comprometidas con la transición ecológica. Para garantizar su efectividad, este sistema debería estar respaldado por una regulación clara y un mercado transparente que asegure la correcta medición y certificación de las reducciones de emisiones.

Dado que la TIN incide directamente en la EC, es fundamental que el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica asuma un rol más activo en la promoción y consolidación de estas áreas, ya que es el principal organismo encargado de facilitar la transición de un modelo lineal de producción y consumo hacia un modelo circular. A través de estrategias que fomenten la inversión en tecnologías limpias, incentiven la adopción de prácticas sostenibles y fortalezcan la regulación ambiental, este ministerio puede convertirse en el eje articulador del cambio estructural que el país requiere para avanzar hacia una economía más eficiente en el uso de recursos y alineada con los principios de sostenibilidad. En este contexto, el rol articulador del gobierno es fundamental para incentivar estas dinámicas sin comprometer los recursos fiscales limitados del país. Mediante esfuerzos de política focalizadas por parte del sector empresarial junto a organismos como las cámaras de comercio, se pueden canalizar recursos hacia programas que impulsen la adopción de TIN y EC en el sector empresarial ecuatoriano. De esta manera, se podrá construir un entorno más favorable para la sostenibilidad empresarial en un país donde la inversión estatal en tecnología enfrenta restricciones significativas.

10. Bibliografía

- Ali, Q., Parveen, S., Yaacob, H., Rani, A. N., y Zaini, Z. (2022). Environmental beliefs and the adoption of circular economy among bank managers: Do gender, age and knowledge act as the moderators? *Journal Of Cleaner Production*, 361. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132276>
- Andersen, M. (2006). An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, 2(1), 133-140. <https://doi.org/10.1007/s11625-006-0013-6>
- Arroyo, F. (2018). La economía circular como factor de desarrollo sustentable del sector productivo. *Innova Research Journal*, 3(12), 78-98. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n12.2018.786>
- Auerbach, R., Bokelmann, K., Stauber, R., Gutfleisch, O., Schnell, S., y Ratering, S. (2019). Critical raw materials – Advanced recycling technologies and processes: Recycling of rare earth metals out of end of life magnets by bioleaching with various bacteria as an example of an intelligent recycling strategy. *Minerals Engineering*, 134, 104-117. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.12.022>
- Babitt, C., Gaustad, G., Fischer, A., Chen, W. y Liu, G. (2018). Cerrando el círculo de la investigación sobre economía circular: de la teoría a la práctica y viceversa. *Resour Conserv Recycl.* <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.012>
- Barrionuevo, M., Cordero, V. y Jurado, D. (2020). Economía Circular: ¿una alternativa en la gestión de desechos sanitarios y del agua en el contexto de COVID-19? *Economía Circular y Bioeconomía*
- Basu, P., Jamasb, T., y Sen, A. (2024). Trilemma or Trinity? The nexus of economic growth, circular economy and net zero. *Energy Economics*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107844>
- Belhadi, A., Kamble, K., Jabbour, C., Gunasekaran, A., Ndubisi, N. y Venkatesh, M. (2021). Resiliencia de la cadena de suministro de manufactura y servicios ante el brote de COVID-19: lecciones aprendidas de las industrias automotriz y aérea. *Technol Forecast Soc Chang*

- Bocken, N., De Pauw, I., Bakker, C., y Van Der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal Of Industrial And Production Engineering*, 33(5), 308-320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>
- Cámara de Comercio de Quito. (2017). *Boletín Jurídico*. [https://www.ccq.ec/wp-content/uploads/2017/06/Consulta Societaria Junio 2017.pdf](https://www.ccq.ec/wp-content/uploads/2017/06/Consulta_Societaria_Junio_2017.pdf)
- Cárdenas, J. (2023). *Reciclaje electrónico, una alternativa de economía circular en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo* [Trabajo de Integración Curricular, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio PUCE
- Carreño, N., Hernández, H., y Méndez, J. (2011). Microcrédito y bienestar: una evaluación empírica. *Sociedad Y Economía*, 21(1), 195–200.
- Catlow, R., Davidson, M., Hutchings, G. y Mulholland, A. (2020). La ciencia como herramienta para la economía circular. *Philos Trans*. <https://doi.org/10.1098/rsta.2020.0060>
- Chiapetta Jabbour, C., De Camargo Fiorini, P., Ndubisi, N., Queiroz, M., y Piato, É. (2020). Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century: A review and a research agenda. *The Science Of The Total Environment*, 725, 138177. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138177>
- Christensen, C. (1997). *The innovator's dilemma*. Harvard Business School
- circularity*. Gallego-Schimid, A., López, C., Muñoz, E., Salvador, R., Cano-Londoño, N., Barros, M., Choconta, D., Mendoza, J., Nadal, A. y Guerrero, A. (2024). Circular economy in Latin America and the Caribbean: Drivers, opportunities, barriers and strategies. *Sustainable Production and Consumption*, 51, 118-136. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.09.006>
- Consejo Empresarial Brasileño para el Desarrollo Sustentable. (2018). *5 Preguntas Para Entender la Economía Circular*. <https://cebds.org/publicacoes/5-perguntas-para-voce-entender-economiacircular/#.X2iYIGhKjIU>

- De Andrade Monteiro, A., Scur, G., Mattos, C. y De Oliveira, M. (2024). Circular economy in the Brazilian chemical industry: A proposal for a circularity index. *Cleaner Engineering And Technology*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100730>
- Del Río, P., Carrillo-Hermosilla, J., Könnölä, T., y Bleda, M. (2016). RESOURCES, CAPABILITIES AND COMPETENCES FOR ECO-INNOVATION. *Technological And Economic Development Of Economy*, 22(2), 274-292. <https://doi.org/10.3846/20294913.2015.1070301>
- Dhalaria, P., Kapur, S., Singh, A. K., Verma, A., Priyadarshini, P., y Taneja, G. (2023). Potential impact of rotavirus vaccination on reduction of childhood diarrheal disease in India: An analysis of National Family Health Survey-5. *Vaccine X*, 14, 100319. <https://doi.org/10.1016/j.jvacx.2023.100319>
- Domenech, T., y Davies, M. (2011). Structure and morphology of industrial symbiosis networks: The case of Kalundborg. *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 10, 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.01.011>
- Erazo-Rivera, R., Pancorbo-Sandoval, J., Leyva-Ricardo, S., y Barba-Mosquera, A. (2024). Mapa de Investigaciones Científicas sobre Economía Circular con Origen en Ecuador. *Economía y Negocios*, 15(1), 86-100. <https://doi.org/10.29019/eyn.v15i1.1260>
- Espinoza, H. (2023). Economía circular: una aproximación a su origen, evolución e importancia como modelo de desarrollo sostenible. *Revista de Economía Institucional*, 25(49), 109-134. <https://doi.org/10.18601/01245996.v25n49.06>
- Fabrigar, L., Wegener, D., MacCallum, R., y Strahan, E. (1999). Evaluating the use of exploratory factor analysis in psychological research. *Psychological Methods*, 4(3), 272–299.
- Fang, J., Gao, C., y Lai, M. (2020). Environmental regulation and firm innovation: Evidence from National Specially Monitored Firms program in China. *Journal Of Cleaner Production*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122599>
- Fatimah, Y. A., Govindan, K., Sasongko, N. A., y Hasibuan, Z. A. (2024). The Critical Success Factors for Sustainable Resource Management in Circular Economy: Assessment of

- Urban Mining Maturity Level. *Journal Of Cleaner Production*, 469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143084>
- Freire-Gibb, L. y Gregson, G. (2019). Innovation systems and entrepreneurial ecosystems: Implications for policy and practice in Latin America. *Local Economy: The Journal of the Local Economy Policy Unit*, 34(8), 787–806. <https://doi.org/10.1177/0269094219896096>.
- Fundación Ellen MacArthur. (2015). *Circularity indicators: An approach to measuring*
- García, L. (2011). Econometría de evaluación de impacto. *Economía*, 34(67), 81-135.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., y Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768.
- Geng, Y., Fu, J., Sarkis, J., y Xue, B. (2012). Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis. *Journal Of Cleaner Production*, 23(1), 216-224. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.005>
- Ghisellini, P., Cialani, C., y Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal Of Cleaner Production*, 114, 11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Ghisetti, C. y Montresor, S. (2020). On the adoption of circular economy practices by small and medium-size enterprises (SMEs): does “financing-as-usual” still matter? *Journal of Evolutionary Economics*, 30, 559–586. <https://doi.org/10.1007/s00191-019-00651-w>
- Giannetti, R. (1994). Las representaciones de la innovación tecnológica en perspectiva histórica. *Revista de historia industrial*, 6.
- González-Moreno, Á., Triguero, Á., Díaz-García, C., y Sáez-Martínez, F. J. (2024). Circular Economy and Entrepreneurship in Europe: an analysis of the impact of cultural factors, regulatory framework and rate of entrepreneurship. *Environmental Technology y Innovation*, 35. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103656>
- Govindan, K., y Hasanagic, M. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal Of*

Production Research, 56(1-2), 278-311.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402141>

Greene, W. (2018). *Econometric Analysis* (8va ed.). Pearson

Gruhler, K., Zhang, M. y Schiller, G. (2024). Assessing the impact of technical innovation on circular economy in the built environment by using cMFA-based system dynamics approach. *Journal of Building Engineering*, 93.
<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109782>

Hamilton, J. D. (2009). *Time Series Analysis*. Princeton University Press

Horbach, J. (2008). Determinants of environmental innovation—New evidence from German panel data sources. *Research Policy*, 37(1), 163-173.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.08.006>

Horbach, J. (2014). Determinants of Eco-innovation from a European-wide Perspective - an Analysis based on the Community Innovation Survey (CIS). *Sustainability Environmental Economics and Dynamics Studies*

Iacus, S., King, G. Porro, G. (2012). Causal Inference without Balance Checking: Coarsened Exact Matching. *Political Analysis*, 20(1), 1–24. DOI: 10.1093/pan/mpr013

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2021). *Diseño Muestral de la Encuesta Estructural Empresarial (ENESEM)*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Estructural_Empresarial/2021/2021_ENESE_M_Disenio_Muestral.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2022). *Módulo de Información Económica Ambiental en Empresas*.
https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/EMPRESAS/Empresas%1F_2020/PRES_MOD_AMB_EMP_2020_Vf.pdf

Jann, B. (2017). *KMATCH: Stata module module for multivariate-distance and propensity-score matching, including entropy balancing, inverse probability weighting,*

(coarsened) exact matching, and regression adjustment. [ideas.repec.org.
https://ideas.repec.org/c/boc/bocode/s458346.html](https://ideas.repec.org/c/boc/bocode/s458346.html)

Johnston, J. (1972). *Econometric Methods* (2da ed.). McGraw-Hill

Jolliffe, I. T. (2002). *Principal Component Analysis* (2da ed.). Springer

Jones, J., Howard, J., Galloway, T., Crespo, L., y Aspinosa, S. (2023). Island Innovation: Transitioning Towards a Circular Economy for Plastics in Galápagos, Ecuador. *Social and ecological interactions in the Galapagos Islands*, 469-478.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-28089-4_30

Khan, S., Ponce, P., Tanveer, M., Aguirre, N., Mahmood, H. y Ali, S. (2021). Technological Innovation and Circular Economy Practices: Business Strategies to Mitigate the Effects of COVID-19. *Sustainability*, 13, 8479.

Kirchherr, J., Reike, D., y Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources Conservation And Recycling*, 127, 221-232.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

Kohle, N., Dhote, K. y Deori, G. (2023). Gender and Waste Utilization and Reuse: A Case of Youth Population. En Srivastava, P., Ramteke, D., Bedyal, A., Gupta, M. y Sandhu, J. (Eds.), *Handbook of Research on Safe Disposal Methods of Municipal Solid Wastes for a Sustainable Environment* (pp. 249-269). IGI Global.

Kümmerer, K., Clark, J. (2016). *Química verde y sostenible. Ciencia de la sostenibilidad: una introducción*. Springer

Long, J. S., y Freese, J. (2014). *Regression Models for Categorical Dependent Variables Using Stata* (3ra ed.). Stata Press

López, A. y Villajos, E. (2020). La economía circular como modelo para un sistema económico sostenible. Caso de estudio de España. *Economía Circular y Bioeconomía*

Malthus, T. (1846). *Ensayo sobre el principio de la población*. Establecimiento Literario y Litográfico de D. Lucas González y Co.

Malthus, T. (1973). *Principios de Economía Política*. Fondo de Cultura Económica.

- Marx, K. (1978). *El capital: Crítica de la economía política. Vol. I* (2ª ed., 13ª reimpresión). Fondo de Cultura Económica.
- Matsuoka, K., Fujii, Y., Shinojima, N., Kojima, T., Koide, R., y Murakami, S. (2024). Seeking a better path for the circular economy of solar panels: Global sensitivity analysis focused on socioeconomic and physical factors. *Sustainable Production And Consumption*. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.08.027>
- McFadden, D. (1973). Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Behavior. *Frontiers in Econometrics*, 105-142.
- McHarg, I. (1969). *Design with nature*. Natural History Press
- Medina, J., y Freire, A. (2023). Barreras para la implementación de la economía circular en países en vías de desarrollo. *Estudios de la Gestión Revista Internacional de Administración*, 14, 99-121. <https://doi.org/10.32719/25506641.2023.14.6>
- Ministerio del Ambiente (MAE). (2013). *Ecuador es el tercer país en contar con un Sistema de Contabilidad Ambiental Nacional*. <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-es-el-tercer-pais-en-contar-con-un-sistema-de-contabilidad-ambiental-nacional/>
- Montiel, I., y Delgado-Ceballos, J. (2014). Defining and Measuring Corporate Sustainability. *Organization & Environment*, 27(2), 113-139. <https://doi.org/10.1177/1086026614526413>
- Mora, W., Manrique, R. y Villamar, W. (2022). Economía circular como estrategias para el desarrollo sostenible en Ecuador. *RECIAMUC*, 6(3), 635-645. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.\(3\).julio.2022.635-645](https://doi.org/10.26820/reciamuc/6.(3).julio.2022.635-645)
- Moreno-Miranda, C. y Dries, L. (2024). Circular economy intentions in the fruit and vegetable sector of Central Ecuador. *Ecological Economics*, 219. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108056>
- Navarro, J. y Olivari, J. (2016). *Innovación, actividades basadas en recursos naturales y cambio estructural: la emergencia de empresas de servicios intensivos en conocimiento. La política de innovación en América Latina y el Caribe: nuevos caminos*. Banco Interamericano de Desarrollo

- Palkovits, R. y Delidovich, I. (2017). Utilización eficiente de materias primas renovables: el papel de la catálisis y el diseño de procesos. *Philos Trans.* <https://doi.org/10.1098/rsta.2017.0064>
- Parida, V., Sjödin, D., y Reim, W. (2019). Reviewing Literature on Digitalization, Business Model Innovation, and Sustainable Industry: Past Achievements and Future Promises. *Sustainability*, 11(2), 391. <https://doi.org/10.3390/su11020391>
- Pearce, D. y Turner, R. (1990). *Economics of Natural Resources and the Environment*. John Hopkins University Press
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., y Mäkinen, S. J. (2018). Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A cross-regional comparison of China, the US, and Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 70-82.
- Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología -Iberoamericana e Interamericana (RICYT). (2020). El Estado De La Ciencia. Principales Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericanos/ Interamericanos 2020. *RICYT*.
- Ricardo, D. (1821). *On the Principles of Political Economy and Taxation*. John Murray
- Ricardo, D. (1973). *Principios de Economía Política y Tributación*. Fondo de Cultura Económica
- Rivera-Rodríguez, H. y Malaver, M. (2008). Longevidad Empresarial (Business Longevity). *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1839452>
- Rodríguez, M. y Cáceres, J. (2007). Modelos de elección discreta y especificaciones ordenadas: una reflexión metodológica. *Estadística española*, 49(166), 451-471.
- Rosenbaum, P. R., y Rubin, D. B. (1983). The central role of the propensity score in observational studies for causal effects. *Biometrika*, 70(1), 41-55
- Salinas, L., Gamboa, J. Vega, F. y Salcedo, V. (2023). Modelo de Economía Circular en Ecuador: análisis descriptivo. *Pacha. Revista de Estudios Contemporáneos del Sur Global*, 4(10). <https://doi.org/10.46652/pacha.v4i10.175>

- Samaniego, J., Rondón, E., Herrera, J. y Santori, S. (2022). *Panorama de las hojas de ruta de economía circular en América Latina y el Caribe*. CEPAL
- Scarpellini, S. (2021). Social indicators for businesses' circular economy: multi-faceted analysis of employment as an indicator for sustainability reporting. *European Journal of Social Impact and Circular Economy*. DOI:10.13135/2704-9906/5282
- Schumpeter, J. (1934). *The Theory of Economic Development*. Harvard University Press
- Schumpeter, J. (1942). *Capitalismo, Socialismo y Democracia* 3ra. Edición. Harvard University Press
- Shah, J. y Alharti, M. (2024). Factors affecting farmers' choice to adopt risk management strategies: The application of multivariate and multinomial probit models. *Journal of Integrative Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2024.10.004>
- Sheldon, R. (2016). Química verde, catálisis y valorización de biomasa residual. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2016.01.013>
- Sistema de Rentas Internas (SRI). (2023). *Información de la contribución que realizan las empresas y las personas naturales (físicas) al Estado como porcentaje del PIB*. <https://datosabiertos.gob.ec/dataset/serie-presion-fiscal/resource/cb18d0b2-22ae-4eeb-9ae3-14c4b984f435>
- Smith, A. (1776). *La riqueza de las naciones*.
- Smith, A. (1996). *La riqueza de las naciones (Vol. 2188)*. NoBooks Editorial.
- Stahel, W. y Reday, G. (1976). *The Potential for Substituting Manpower for Energy*. Report to the Commission of the European Communities
- StataCorp. (2023). *Stata 18 Base Reference Manual*. Stata Press. <https://www.stata.com/manuals/r.pdf>
- Tavera, C., Castro, D., Ortiz, J., Khalaf, O. y Vargas, M. (2021). Sinergia entre la economía circular y la industria 4.0: una revisión de la literatura. *Sustainability*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/su13084331>
- UNACEM. (2023). *La Economía Circular en el Entorno Empresarial*.

Universidad Nacional de Loja. (2021). *Reglamento del Régimen Académico*.

Wang, M., Kumar, V., Ruan, X., Saad, M., Garza-Reyes, J. y Kumar, A. (2021). Preocupaciones de sostenibilidad sobre la actitud de los consumidores hacia las cadenas cortas de suministro de alimentos: una investigación empírica. *Oper Manag Res*. <https://doi.org/10.1007/s12063-021-00188-x>

Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data* (2da ed.). MIT Press

Zhang, X., Fevre, M., Jones, G. y Waymouth, R. (2018). La catálisis como ciencia facilitadora de polímeros sostenibles. *Chemical Reviews*. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.7b00329>

Zhang, Y., Yao, E., Wei, H., Zuo, T., y Liu, S. (2017). Constrained multinomial Probit route choice modeling for passengers in large-scaled metro networks in China. *Transportation Research Procedia*, 25, 2385-2395. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.269>

Zhou, X., Song, M. y Cui, L. (2020). Driving force for China's economic development under Industry 4.0 and circular economy: Technological innovation or structural change? *Journal of Cleaner Production*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122680>

11. Anexos

Anexo 1.

Matriz de correlación

Variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(1) TIN	1.000							
(2) Ventas	0.269	1.000						
(3) Empleados	0.365	0.640	1.000					
(4) Cualificación en TIC	0.174	0.295	0.286	1.000				
(5) Tamaño	0.233	0.425	0.446	0.201	1.000			
(6) Sector	-0.168	-0.375	-0.265	-0.104	-0.157	1.000		
(7) Antigüedad	0.174	0.286	0.361	0.128	0.268	-0.193	1.000	
(8) Impuestos	-0.051	0.012	-0.009	0.038	0.017	0.022	0.001	1.000

Anexo 2.

Observaciones emparejadas

Variables	EC	EC1	EC2
TIN			
Emparejados			
Sí	551	551	551
No	119	119	119
Controles			
Utilizadas	329	329	329
No utilizadas	20	20	20
Observaciones	1019	1019	1019
Ventas			
Emparejados			
Sí	542	542	542
No	127	127	127
Controles			
Utilizadas	280	280	280
No utilizadas	70	70	70
Observaciones	1019	1019	1019
Trabajadores			
Emparejados			
Sí	178	178	178
No	134	134	134
Controles			
Utilizadas	259	259	259
No utilizadas	448	448	448
Observaciones	1019	1019	1019
Cualificación en TIC			
Emparejados			
Sí	368	368	368

	No	66	66	66
Controles				
Utilizadas		495	495	495
No utilizadas		90	90	90
Observaciones		1019	1019	1019
Tamaño				
Emparejados				
Sí		259	259	259
No		527	527	527
Controles				
Utilizadas		179	179	179
No utilizadas		54	54	54
Observaciones		1019	1019	1019
Sector				
Emparejados				
Sí		69	69	69
No		42	42	42
Controles				
Utilizadas		136	136	136
No utilizadas		772	772	772
Observaciones		1019	1019	1019
Antigüedad				
Emparejados				
Sí		468	468	468
No		112	112	112
Controles				
Utilizadas		385	385	385
No utilizadas		54	54	54
Observaciones		1019	1019	1019
Impuestos				
Emparejados				
Sí		10	10	10
No		1	1	1
Controles				
Utilizadas		50	50	50
No utilizadas		962	962	962
Observaciones		1023	1023	1023

Anexo 3.

Certificado de traducción

CERTIFICADO DE TRADUCCIÓN

Loja, 23 de abril de 2025

Yo, **Mayra Alejandra Lazo Tapia**, con número de cédula **0105281604**, Magíster en Pedagogía de los Idiomas Nacionales y Extranjeros mención en enseñanza de inglés, con número de Registro en Senescyt **1049-2022-2569115**.

CERTIFICO:

Haber realizado la traducción de español a idioma Inglés del resumen del Trabajo de Integración Curricular titulado: **Análisis de la innovación tecnológica sobre la economía circular en las empresas de Ecuador en el año 2021** de la señorita **Evelyn Patricia Patiño Coronel**, con número de cédula **1150603668**, estudiante de la carrera de Economía de la Facultad Jurídica, Social y Administrativa en la Universidad Nacional de Loja, dicho estudio se desarrolló bajo la dirección del **Econ. Pablo Vicente Ponce Ochoa Mg. Sc.** Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, y autorizo al interesado hacer uso del documento para los fines académicos correspondientes.

Atentamente,



Mayra Alejandra Lazo Tapia

MAGÍSTER EN PEDAGOGÍA DE LOS IDIOMAS NACIONALES Y EXTRANJEROS

Número Registro Senescyt: 1049-2022-2569115

Correo electrónico: mayralejandra2212@gmail.com

Celular: 0105281604