

La eficiencia relativa como indicador de innovación.

El caso de las compañías de manufactura en Pichincha, Ecuador

1. Juan Ibujés-Villacís

Ph. D. (c) en Gestión Tecnológica
Profesor, Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
Grupo de investigación SIGTI. Investigación multidisciplinaria
Rol del autor: intelectual
juan.ibujes@epn.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8439-3048>

2. Antonio Franco-Crespo

Ph. D. en Administración
Profesor, Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
Grupo de investigación SIGTI. Investigación multidisciplinaria
Rol del autor: intelectual
antonio.franco@epn.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8040-1805>

Resumen: En los últimos años se ha hecho énfasis en buscar los factores determinantes que identifican a las compañías innovadoras. Esta investigación tiene como objetivo determinar si la eficiencia relativa podría ser un indicador por el cual se pueda identificar a ese tipo de compañías. El ámbito de aplicación son las compañías de manufactura de la provincia de Pichincha, Ecuador. Dada la naturaleza cuantitativa de la investigación, en una primera etapa se recopiló y procesó la información contable de las compañías entre el periodo 2014-2019, y se estimó la eficiencia relativa mediante el análisis envolvente de datos. En una segunda etapa, con la información de 412 compañías filtradas de la última encuesta de innovación, a través de regresión logística binaria, se determinaron las actividades de innovación que tienen una incidencia significativa en los diferentes tipos de innovación. Como resultado, se definió que los gastos que influyen en la eficiencia relativa están relacionados significativamente con los gastos dedicados a las actividades de innovación. Este artículo aporta en la determinación de la eficiencia relativa como un indicador en la identificación de las compañías innovadoras en el sector de manufactura, y que no solo se podría extender a otros sectores de la economía ecuatoriana, sino también a otras economías contiguas de la región.

Palabras clave: actividades de innovación, análisis envolvente de datos, compañías de manufactura, eficiencia relativa, regresión logística.

Citación sugerida: Ibujés-Villacís, J., & Franco-Crespo, A. (2023). La eficiencia relativa como indicador de innovación. El caso de las compañías de manufactura en Pichincha, Ecuador. *Innovar*, 33(89). En prensa. <https://doi.org/10.15446/innovar.v33n89.107039>

Clasificación JEL: C14, L25, O32.

Recibido: 19/01/2022 **Aprobado:** 06/07/2022 **Preprint:** 01/02/2023

Introducción

Uno de los retos fundamentales de las organizaciones en el presente siglo es la creación de valor a través de la gestión del conocimiento, procesos eficientes y soluciones innovadoras como elemento estratégico en su gestión (Araujo & Alves, 2015; Tidd & Bessant, 2018; Szczepańska-Woszczyna, 2021). La innovación es un tema bien consolidado en la literatura, en el contexto empresarial, como una forma de crear un nuevo valor económico mediante el desarrollo de productos, la concepción de métodos de producción y las ventas, situación que ha permitido a las compañías obtener resultados competitivos y sostenibles en los mercados (Nakamori, 2020; Zawislak et al., 2018).

Identificar las compañías innovadoras permite plantear política pública y marcos normativos que incentiven la innovación en el tejido empresarial, sobre la base de conocer las principales actividades, capacidades y tipos de innovación que realizan, para competir en los mercados globales en busca de beneficios sostenibles. Por lo tanto, es primordial para los Estados la medición de la innovación para una evaluación efectiva de resultados y retroalimentación para las nuevas políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OECD] & Eurostat, 2018).

En el marco de la globalización de los negocios, ser una compañía innovadora se convierte en un objetivo económico corporativo, razón por la que, en los últimos años, se ha hecho mucho énfasis en buscar, identificar y analizar aquellos factores determinantes de la actividad innovadora y su impacto en la productividad y competitividad de las compañías (Del Carpio Gallegos & Miralles, 2019; Kim et al., 2018; Tidd & Bessant, 2018).

Hallar estos factores generalmente es una cuestión que en la mayoría de los casos se ha resuelto recurriendo a encuestas o entrevistas a las compañías (Anlló et al., 2014), que utilizan como referencia guías o manuales internacionales como los manuales de Oslo (OECD & Eurostat, 2005, 2018), Frascati (OECD, 2015), Bogotá (Jaramillo et al., 2001), entre otros. Los cuestionarios para estas técnicas de investigación han tenido como referencia un conjunto de indicadores y métricas propuestos por distintas organizaciones públicas o privadas, y se aplican para economías desarrolladas y en desarrollo, cuyos resultados han permitido realizar comparaciones entre países y regiones geográficas.

Si bien estas técnicas de investigación y obtención de datos aportan a esa identificación, se han encontrado algunas debilidades al usarlas. Para Hall (2011) existe dificultad al medir la innovación de manera estadística, pues el concepto –incluyendo término nuevo– puede ser interpretado de diferentes maneras por quienes responden los cuestionarios sobre innovación de nuevos productos y procesos. Otra dificultad consiste en que generalmente los datos son colectados por agencias públicas de estadística u organizaciones privadas con algunas limitaciones (Jiménez et al., 2017;

Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación [Senescyt-Inec], 2015), entre ellas, la imposibilidad de cubrir todos los temas en una sola encuesta de innovación, o que muchas de ellas no tienen periodicidad, ya sea por circunstancias sociales o políticas.

Adicionalmente, otra de las dificultades que se evidencian desde la literatura radica en que los indicadores de innovación propuestos por los manuales de Oslo y Frascati han sido creados para economías desarrolladas, por lo que, al ser específicos para esos contextos, tienen problemas en la construcción, desde la parte teórica hasta el manejo estadístico (Albornoz, 2009; Jiménez et al., 2017; Moyeda Mendoza & Arteaga García, 2016). Para estos autores, la principal crítica encontrada se refiere a la poca aplicabilidad para economías de la región de América Latina y el Caribe (ALC), ya que adolecen de un alto componente subjetivo, debido a que han sido elaborados con el criterio de expertos desde la visión de los países desarrollados.

En tales circunstancias, medir la innovación en el contexto de economías como la ecuatoriana o de ALC es un problema que requiere ser abordado a partir de indicadores que se adecuen a su realidad socioeconómica. Por eso, este artículo aborda esta dificultad proponiendo a la eficiencia relativa como un indicador adicional para las organizaciones empresariales, distinto de los indicadores en los que se enfoca el pilar de sofisticación de negocios, que es uno de los componentes para determinar el índice de innovación de los países (World Intellectual Property Organization [WIPO], 2021). Adicionalmente, este indicador tiene como novedad que su cálculo se realiza con los datos de informes económicos y financieros que las compañías presentan en forma anual a instituciones gubernamentales de control, en lugar de utilizar los datos de encuestas nacionales o entrevistas relacionadas con la innovación.

Considerando los antecedentes descritos, el objetivo de esta investigación es utilizar la eficiencia relativa como un indicador de innovación para las organizaciones empresariales enfocado en la relación entre los beneficios y costos. Este indicador resalta la importancia de la eficiencia en la gestión de las compañías y su relación con la práctica de actividades de innovación, toda vez que existe evidencia de que las compañías que son eficientes, respecto a su sector empresarial, son las que practican actividades de innovación y, por ende, realizan algún tipo de innovación (Bos et al., 2016; Ferreira et al., 2021; Hongkuan et al., 2019). Además, se recalca que el estudio empírico se centra en las compañías de manufactura de la provincia de Pichincha, Ecuador.

Después de esta introducción, este artículo está estructurado de la siguiente manera. A continuación, se realiza una revisión de la literatura, en la que se abordan los conceptos de la eficiencia, las actividades y los indicadores de innovación. Después, se expone sobre la metodología utilizada que se ha dividido en tres etapas: la primera, para facilitar la ejecución de un análisis de sensibilidad de la eficiencia relativa de las compañías; la segunda, para determinar los gastos en actividades de innovación que tienen una incidencia significativa en los diferentes tipos de innovación; la tercera, para comparar si las variables críticas asociadas a los costos y gastos de las

compañías eficientes tienen alguna relación con los gastos dedicados a las actividades de innovación. Posteriormente, se presentan los resultados junto con la discusión correspondiente, y se exponen las conclusiones.

Revisión de la literatura: eficiencia e innovación

La eficiencia

La eficiencia es un indicador de la aptitud de una compañía para operar económicamente, siendo sus criterios de medición fundamentales el desempeño físico-técnico y los costos (Zanda, 2018). Adicionalmente, la eficiencia refleja si los recursos son explotados al máximo de su capacidad productiva o no; es decir, si los factores productivos están siendo utilizados al cien por ciento o si hay capacidad ociosa (Cachanosky, 2012).

Para el cálculo empírico de la eficiencia, se ha desarrollado un método que separa la eficiencia total en dos componentes: uno técnico y otro asignativo (Farrell, 1957). La eficiencia técnica se refiere a la eficiencia de transformación de las entradas en salidas, que pueden ser costos de operación, costo de recursos, materia prima, etc. La eficiencia asignativa se describe como la proporción de entradas necesarias, tomando en cuenta los precios del mercado, para generar el mínimo costo para la producción de un determinado nivel de salida, siendo esta eficiencia muy utilizada en las instituciones públicas (Ayaviri & Quispe, 2011). La eficiencia total es el producto de las dos eficiencias.

Este artículo se centrará en la eficiencia técnica como un indicador relativo a un grupo empresarial homogéneo, que consiste en comparar si la eficiencia de una compañía se encuentra en la frontera eficiente o en su interior, siendo en el primer caso una compañía eficiente (100%), mientras que en el segundo caso sería relativamente ineficiente (Quindós et al., 2003; Samoilenko & Osei-Bryson, 2022). Para la estimación de la frontera eficiente, se utiliza un método no paramétrico, ya que no requiere de una función de producción con los métodos paramétricos, sino que es suficiente la definición de un conjunto de variables de entrada y salida que explican el proceso productivo (Cordero, 2006).

Para el cálculo de la eficiencia relativa, esta investigación utiliza un método no paramétrico denominado *análisis envolvente de datos* o *DEA* (por las siglas del inglés de *Data Envelope Analysis*) (Banker et al., 1984; Charnes et al., 1979; Farrell, 1957). Según estos autores, el *DEA* es una herramienta que permite precisar la frontera eficiente basada en unidades productivas o *DMU* (por las siglas en inglés de *Decision Making Unit*) que, por sus buenos resultados, son las que ejecutan las mejores prácticas productivas en relación con las otras unidades de la misma área de producción. Adicionalmente, esta metodología de análisis tiene dos ventajas fundamentales: por un lado, tiene una mayor estandarización; por otro, permite considerar múltiples *inputs* y *outputs*.

Existen dos métodos DEA para el cálculo de la eficiencia: uno de ellos es el desarrollado por Charnes et al. (1979), conocido como CCR en honor a sus autores, o también como *modelo de retornos constantes de escala*; el otro es el método desarrollado por Banker et al. (1984), conocido como BCC o como modelo de retornos variables de escala. Es importante indicar que el DEA ha demostrado ser adecuado en una variedad de campos relacionados con la economía y la gestión, sobre todo en escenarios que involucran múltiples entradas y salidas (Puertas et al., 2020).

Este método realiza dos procesos matemáticos en forma simultánea mediante el uso de algoritmos de programación lineal (Sherman & Zhu, 2006). El primero consiste en la obtención de la frontera eficiente, conformada por las organizaciones eficientes; el segundo, en la estimación de la ineficiencia, que resulta ser un indicador relativo, por cuanto compara cada organización con aquellas que operan en la frontera eficiente (Álvarez Pinilla, 2013; Santos et al., 2013).

Las actividades de innovación en Ecuador

Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) y Eurostat (2018), la innovación empresarial es un producto o proceso (o combinación de ambos) nuevo o mejorado (o una combinación) que difiere significativamente de los productos o procesos empresariales anteriores desarrollados por la compañía y que ha sido introducido en el mercado o puesto en uso por la organización empresarial.

En Ecuador, de acuerdo con la última encuesta de innovación (Senescyt-Inec, 2015), se determinó que el gasto en innovación creció en un 82,18% entre 2009 y 2014, lo cual representa en promedio el 1,5% con respecto al producto interno bruto (PIB). Este porcentaje se compone de 0,2% para investigación y desarrollo (interna y externa) y 1,3% para otras actividades de innovación.

Es importante indicar que el 74,5% de los gastos para innovación en las compañías son cubiertos con sus propios recursos: 13%, por la banca privada; 5%, por apoyo gubernamental, y el resto se distribuye en otras fuentes (Senescyt-Inec, 2015). Adicionalmente, según esta misma fuente, entre 2012 y 2014 el 54,5% de las compañías ecuatorianas realizó actividades de innovación que contribuyeron a algún tipo de innovación. Las actividades de innovación más relevantes que realizaron las compañías ecuatorianas en el periodo 2012-2014 se muestra en la figura 1.

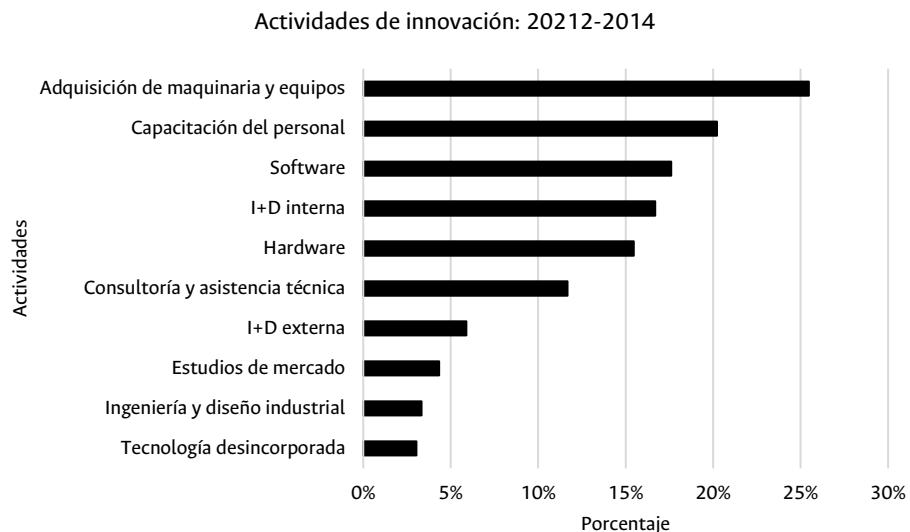


Figura 1. Actividades de innovación en las compañías ecuatorianas entre 2012 y 2014.

Nota. I+D interna: actividades sistemáticas de investigación y desarrollo realizadas por personal de la compañía (OECD & Eurostat, 2005); I+D externa: actividades sistemáticas de investigación y desarrollo que se encarga a terceros mediante contratación o financiación (OECD & Eurostat, 2005).

Fuente: elaboración propia con base en Senescyt-Inec (2015).

Indicadores de innovación

La priorización de las innovaciones en la agenda política ha planteado la necesidad de medirlas con el fin de evaluar el desempeño de los Estados y compararlos entre sí. La OCDE fue pionera en este campo con la publicación de las directrices para los procesos de recopilación e interpretación de datos de innovación tecnológica en 1992, cuyo objetivo consistía en brindar apoyo metodológico para estos procesos (Thabet, 2021). Esta guía se conoce como el *Manual de Oslo* y actualmente se encuentra en su cuarta edición.

Con el fin de facilitar la toma de decisiones en las políticas públicas referentes a ciencia, tecnología e innovación, la mayoría de economías del mundo ha optado por crear su propio Sistema Nacional de Innovación (Lundvall, 2010). Estos sistemas apoyan los programas y políticas públicas de los gobiernos a partir de la información que proporcionan varios insumos, entre ellos los indicadores de innovación (Aguilar-Barceló & Higuera-Cota, 2019; Nelson, 1993; OECD, 2015; OECD & Eurostat, 2018). A su vez, los indicadores sirven como medio de comparación entre diferentes países, y facilitan la identificación del posicionamiento científico y tecnológico de un país o región (WIPO, 2021).

En la tabla 1 se muestra una clasificación de los criterios que se utilizan en la medición de los indicadores de innovación acompañados con su significado. La aplicación de cada criterio tiene

ventajas y desventajas, dependiendo del contexto en que se les aplique y el cuidado en su manejo (Albornoz, 2009); sin embargo, los indicadores que utilizan los criterios de entrada y salida son los más utilizados en los sistemas de innovación nacionales (Thabet, 2021).

Tabla 1.

Criterios utilizados en la medición de indicadores de innovación.

Criterios de medición	
Criterios	Significado
Atracción del mercado	Centrados en respuesta a necesidades insatisfechas del mercado.
Impulso tecnológico	Enfocados en innovaciones relacionadas con invenciones tecnológicas.
Contexto	Orientados en el entorno en el que tienen lugar las innovaciones.
Resultado	Relacionados con el efecto inmediato generado por las acciones enfocadas en el cumplimiento o incumplimiento de los objetivo y resultados esperados.
Impacto	Centrados en los efectos directos o indirectos a largo plazo, ya sean positivos o negativos.
Entrada	Enfocados en el gasto en investigación y desarrollo (investigación básica, aplicada y experimental). Cantidad y calidad del personal investigador. Orientados en el esfuerzo de investigación.
Salida	Relacionados con las tasas de innovación. Orientados hacia las patentes. Enfocados en las publicaciones científicas.

Fuente: elaboración propia con base en Thabet (2021).

Entre los indicadores de entradas más conocidos a nivel de las compañías se encuentran aquellos que tienen que ver con los gastos en actividades de innovación, cuyas definiciones se describen en el *Manual de Oslo*, mientras que los indicadores de salida se refieren a la introducción de productos y procesos nuevos o mejorados (OECD & Eurostat, 2018).

Adicionalmente, existen otros indicadores a nivel de organizaciones empresariales que relacionan el valor creado para los accionistas y el gasto en innovación; a partir de esa relación, las tres métricas más importantes se centran en el entorno de las compañías: el crecimiento de los ingresos, la satisfacción del cliente y el porcentaje de ventas de nuevos productos o servicios (Villarroel et al., 2017). En el análisis de estos autores, aquellas compañías en las cuales la innovación es la prioridad estratégica más importante, las tres métricas principales son una

combinación algo más completa: la satisfacción del cliente, la cantidad de ideas en proceso y el gasto en I+D como porcentaje de las ventas.

Si el enfoque se dirige hacia los indicadores que permiten compararse entre compañías, resulta que muchas compañías no lo hacen con métricas de innovación, debido a que en la mayoría de los casos la información no está disponible (Aguilar-Barceló & Higuera-Cota, 2019), siendo, por tanto, imprescindible contar con un indicador del cual exista suficiente información que les permita comparar con sus pares en forma periódica, cumpliéndose uno de los requisitos básicos para plantear nuevos indicadores.

Metodología

La metodología utilizada tiene un enfoque cuantitativo (Samoilenko & Osei-Bryson, 2022) y se dividió en tres etapas. En la primera etapa se definió la población, se calculó el tamaño de la muestra y se seleccionaron las fuentes de información; seguidamente, se determinó la eficiencia relativa de las compañías mediante un proceso estadístico no paramétrico, en el que previamente se seleccionaron las variables mediante un análisis de correlación a partir de la información obtenida de los balances y estados de resultados de las compañías; finalmente, a través de un proceso de selección iterativa de las variables de entrada, se realizó un análisis de sensibilidad de la eficiencia que permitió determinar los tipos de costos y gastos que generan variaciones significativas en el porcentaje de compañías eficientes. En una segunda etapa se logró determinar los gastos en actividades de innovación que tienen una incidencia significativa en los diferentes tipos de innovación mediante un análisis de regresión logística binaria. Finalmente, en una tercera etapa se comparó si las variables críticas asociadas a los costos y gastos de las compañías eficientes tienen alguna relación con los gastos dedicados a las actividades de innovación más relevantes.

Cálculo de la muestra y fuentes de información

El ámbito de aplicación del estudio corresponde a las compañías del sector económico de manufactura. Se escogió este sector económico porque es uno de los más importantes de la economía ecuatoriana: con su aporte del 14,2% a la producción total del Ecuador, es el sector que más aporta a la economía del país (Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca [Mipro], 2021). Respecto a la inversión en actividades de innovación, la última encuesta nacional de innovación mostró que este sector destinó \$85,06 millones de dólares en I+D, lo que representa el 44,65% del gasto total en estas actividades a nivel nacional, siendo el sector que más invirtió en I+D (Senescyt-Inec, 2015). Adicionalmente, según la misma encuesta, del 66,7% de compañías a nivel nacional que invirtieron en tecnologías de información y comunicación, el 24,6% correspondió a compañías de manufactura, ubicándose en el primer lugar delante de sectores como comercio, servicios y minería.

La población de estudio estuvo compuesta por las compañías de manufactura de la provincia de Pichincha, cuya capital administrativa es Quito, capital también del Ecuador. Esta provincia generó los mayores ingresos en actividades manufactureras entre 2013 y 2017, alcanzando en promedio el 41,8% de participación en ventas (Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros [SuperCias], 2018). Las compañías estudiadas están registradas por la SuperCias, y están divididas en cuatro categorías: grandes, medianas, pequeñas y microcompañías; esta investigación no tomó en cuenta a estas últimas.

Hasta noviembre del 2020, las compañías de manufactura de Pichincha que presentaron sus informes económicos y financieros desde 2014 hasta 2019 se muestran en la tabla 2 (SuperCias, 2020d). Adicionalmente, en esa misma fecha, las grandes, medianas y pequeñas compañías estudiadas representaron el 10%, 17% y 32% de compañías, respectivamente.

Tabla 2.
Población de estudio.

Compañías	Año					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Grandes	230	175	211	131	169	199
Medianas	346	201	355	276	289	338
Pequeñas	583	617	678	649	554	625

Fuente: elaboración propia con base en SuperCias (2020d).

Para el cálculo del tamaño de una muestra representativa y adecuada de la población se aplicó la ecuación 1 (Lohr, 2019; Ott & Longnecker, 2016):

$$n = \frac{Z^2 N p q}{E^2 (N - 1) + Z^2 p q} \quad (1)$$

Los parámetros para el cálculo de la muestra son los siguientes: N corresponde al número de compañías de cada grupo empresarial en cada uno de los años de estudio; $E = 10\%$ (porcentaje de error muestral), $Z = 1,96$ (nivel de confianza de 95 %), $p = 0,5$ (probabilidad de éxito) y $q = 0,5$ (probabilidad de fracaso). Con estos parámetros, se determinó el tamaño n de las muestras para cada grupo empresarial y año de estudio, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3.
Tamaño de las muestras estudiadas.

Compañías	Año					
	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Grandes	68	62	66	56	62	65
Medianas	76	66	76	72	73	75
Pequeñas	83	84	85	84	82	83

Fuente: elaboración propia.

El muestreo utilizado fue probabilístico y con probabilidades iguales; la selección de compañías se realizó en forma aleatoria simple, sin reposición, con la finalidad de tener el mayor grado de representatividad de la muestra. Los datos se obtuvieron de las cuentas de los balances y estado de resultados anuales que las compañías de manufactura reportaron a la SuperCias a través del formulario 101, que corresponde a la “Declaración del impuesto a la renta y presentación de balances” (SuperCias, 2020a).

Selección de las variables

Dado que el enfoque de la investigación se base en utilizar la eficiencia relativa como un indicador de innovación considerando la relación entre los beneficios y costos, las variables de entrada y salida que se utilizarán en el método DEA corresponden a las cuentas principales de los informes económicos y financieros de las compañías correspondientes al 2014 (SuperCias, 2020c).

Las cuentas utilizadas son los ingresos (Ing), utilidades (Utl), activos corrientes (Ac), activos no corrientes (Anc), costo de ventas (Cvt), gasto de sueldos y salarios (Gss), gastos operativos (Go) y gastos no operativos (Gno), cuentas que corresponden a ocho variables. Para la aplicación del método DEA se tomaron como variables de salida las dos primeras cuentas y como variables de entrada, las seis siguientes cuentas. En cuanto a la técnica de selección de variables, se seleccionó la correlación entre las entradas y salidas (González-Araya & Valdés, 2009; Serrano-Cinca et al., 2005; Shiuh-Nan et al., 2016); una vez establecida la correlación, se procedió a estimar la eficiencia mediante el método DEA-CCR.

Estimación de la eficiencia

Para el cálculo de la eficiencia, se utilizó uno de los métodos DEA denominado CCR, que está relacionado con un modelo de rendimientos constantes de escala (Charnes et al., 1979); es decir, los cambios en la producción son el resultado de un cambio proporcional de todas las entradas. En esta investigación, se suponen rendimientos constantes de escala para las grandes, medianas y pequeñas compañías de manufactura, suposición derivada de una investigación previa a las

compañías de manufactura, en la que se evidencia que los rendimientos están entre constantes y crecientes (Ibjujés-Villacís, 2019).

El método CCR expresa que la eficiencia es una relación matemática entre la suma total ponderada de las salidas o resultados deseables y la suma total ponderada de las entradas (Ramanathan, 2003; Sueyoshi & Goto, 2018), suponiendo que las unidades productivas consideradas sean semejantes. Por eso, el cálculo de la eficiencia se aplicó específicamente a las compañías de manufactura. Este método está orientado a las entradas, lo que se refiere al hecho de que una compañía alcance la máxima eficiencia a costa de optimizar la cantidad de recursos que consume.

El método que se desea aplicar en la estimación de la eficiencia se describe matemáticamente a través de las ecuaciones 2, 3 y 4, en las que, reduciendo las entradas (X), se busca maximizar las salidas (Y), mediante una serie de cálculos de un algoritmo de programación lineal.

Maximizar:

$$ho = \sum_{j=1}^s W_j Y_{j0} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m V_i X_{i0} = 1 \quad (3)$$

Sujeto a

$$\sum_{j=1}^s W_j Y_{jm} - \sum_{i=1}^m V_i X_{im} \leq 0 \quad m = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (4)$$

$$W_j \geq 0; j = 1, 2, \dots, s.$$

$$V_i \geq 0; i = 1, 2, \dots, r.$$

En las ecuaciones, Y_{j0} es la salida j de la DMU 0; X_{i0} es la entrada i de la DMU 0; W_j es el peso para la salida j ; V_i es el peso para la entrada i ; n es el número de DMU; s es el número de salidas; r corresponde al número de entradas. La resolución del algoritmo mediante software permitió obtener los correspondientes pesos W_j y V_i , de tal manera que proporcionen el mayor índice de eficiencia posible (ho) para cada compañía evaluada. El algoritmo de programación lineal fue resuelto mediante la función *solver* y el lenguaje de programación *Visual Basic*, herramientas incorporadas en la aplicación MsExcel (Sherman & Zhu, 2006).

Análisis de sensibilidad de la eficiencia

El objetivo de este análisis fue cuantificar la variación del porcentaje de compañías eficientes en cada tamaño empresarial, a medida que cambia el tipo de variables de entrada. Para este análisis

de sensibilidad, se simularon siete escenarios, para los cuales se calculó el porcentaje de compañías totalmente eficientes (eficiencia = 1) entre los años 2014 y 2019; los escenarios evaluados se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.
Escenarios para la estimación de la eficiencia técnica.

Escenario	Variables consideradas	Nomenclatura
1	Todas las variables de entrada (entradas)	E
2	Entradas sin activos corrientes	E-Ac
3	Entradas sin activos no corrientes	E- Anc
4	Entradas sin costo de ventas	E-Cvt
5	Entradas sin gastos en sueldos y salarios	E-Gss
6	Entradas sin gastos operativos	E-Go
7	Entradas sin gastos no operativos	E-Gno

Fuente: elaboración propia.

El objetivo de ir retirando una sola variable de entrada a la vez es identificar el impacto que tiene cada variable en el porcentaje de compañías eficientes, por lo que no se probaron otros escenarios.

Actividades que influyen en la innovación

La identificación del aporte significativo de las diez actividades de innovación en alguno de los seis tipos de innovación se realiza mediante la aplicación de la regresión logística, siendo esta una técnica estadística multivariante que permite estimar la relación existente entre una variable dependiente no métrica, en particular dicotómica, y un conjunto de variables independientes métricas o no métricas (Garson, 2014; Harrel, 2015). La variable dicotómica es el tipo de innovación (1 = compañía innovadora en un tipo de innovación; 0 = compañía no innovadora en un tipo de innovación), mientras que las variables independientes son las actividades de innovación.

Una regresión logística binaria se expresa mediante la ecuación 5 (Kleinbaum & Klein, 2010), donde p es la probabilidad de que suceda Z ; P representa la función de probabilidad; Z es la variable dependiente y representa si la compañía innova (1) o no (0). Las variables x_1, x_2, \dots, x_k representan las variables independientes o actividades de innovación.

$$p = P[Z = 1|x_1, x_2, x_3, \dots, x_k] = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k)} \quad (5)$$

El objetivo de la aplicación de la regresión logística no fue encontrar los modelos, sino identificar el aporte significativo de las actividades de innovación en alguno de los tipos de innovación mediante el estadístico denominado *nivel de significancia bilateral (sig)* (Allison, 2012; Hilbe, 2015). Los valores de significación inferiores a 0,05 indican que la actividad de innovación contribuye significativamente al tipo de innovación evaluado, mientras que valores mayores a 0,05 indican que la actividad no contribuye al tipo de innovación analizado.

Para este procedimiento se consideró la información de 422 compañías de manufactura de Pichincha, correspondiente al 2014. Esta información es parte de los resultados de la última encuesta nacional de actividades de ciencia, tecnología e innovación en Ecuador (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC], 2014). En la figura 2, se muestran las actividades de innovación y los tipos de innovación que serán tomados en cuenta en el cálculo de la regresión logística.

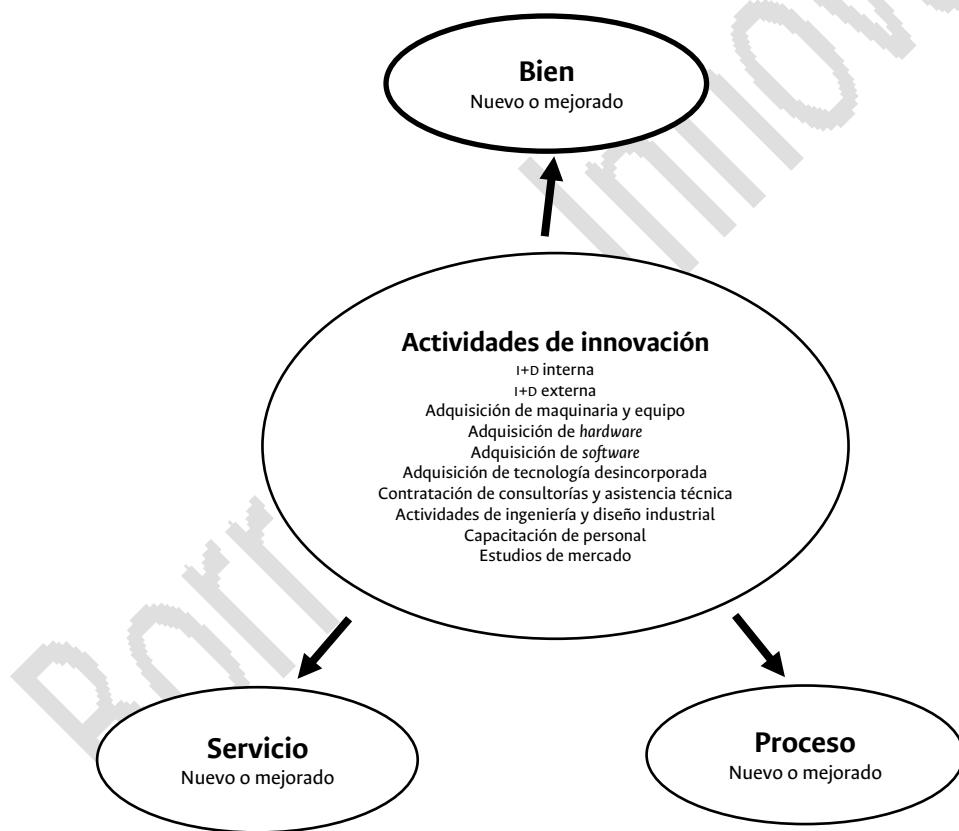


Figura 2. Relación de las actividades de innovación y los tipos de innovación.

Fuente: elaboración propia con base en INEC (2014).

Resultados

Las variables de entrada y salida

Los resultados de la correlación entre las variables de entrada y salida para cada una de las categorías de compañías y que corresponden al 2014 se muestran en la tabla 5. Se realizó un análisis de bootstrap para corregir cambios, inexactitudes o incertidumbre de las variables de entrada y salida que se utiliza en la aplicación del método DEA.

Tabla 5.

Correlación entre las variables de entrada y salida.

			Salidas						
			Compañías						
			Grandes		Medianas		Pequeñas		
Entradas			Ing	Utl	Ing	Utl	Ing	Utl	
Ac	Correlación de Pearson			0,642**	0,406**	0,724**	0,500**	0,518**	-0,04
	Sig. (bilateral)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72
	Sm ^c	Ic a	Inf.	0,34	0,08	0,62	0,30	0,36	-0,39
		95 %	Sup.	0,93	0,76	0,82	0,69	0,66	0,58
Anc	Correlación de Pearson			0,793**	0,587**	0,281*	0,19	0,332**	-0,535**
	Sig. (bilateral)			0,00	0,00	0,02	0,10	0,00	0,00
	Sm ^c	Ic a	Inf.	0,54	0,44	0,11	0,03	0,13	-0,85
		95 %	Sup.	0,93	0,82	0,51	0,45	0,48	0,00
Cvt	Correlación de Pearson			0,929**	0,525**	0,830**	0,488**	0,789**	0,07
	Sig. (bilateral)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
	Sm ^c	Ic a	Inf.	0,89	0,20	0,72	0,25	0,70	-0,06
		95 %	Sup.	0,98	0,83	0,90	0,65	0,85	0,22
Gss	Correlación de Pearson			0,872**	0,775**	0,631**	0,283*	0,589**	-0,375**
	Sig. (bilateral)			0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
	Sm ^c	Ic a	Inf.	0,68	0,41	0,51	0,10	0,40	-0,61
		95 %	Sup.	0,98	0,93	0,75	0,47	0,74	0,19
Go	Correlación de Pearson			0,867**	0,732**	0,632**	0,258*	0,502**	-0,241*
	Sig. (bilateral)			0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03
	Sm ^c	Ic a	Inf.	0,69	0,43	0,48	0,10	0,33	-0,55
		95 %	Sup.	0,97	0,93	0,76	0,46	0,65	0,53
Gno	Correlación de Pearson			0,825**	0,276*	0,455**	0,08	0,407**	-0,226*
	Sig. (bilateral)			0,00	0,03	0,00	0,49	0,00	0,04
	Sm ^c	Ic a	Inf.	0,36	-0,06	0,28	-0,12	0,26	-0,73
		95 %	Sup.	0,97	0,69	0,62	0,34	0,56	0,11

Nota. * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral). Sm: simulación de muestreo; Ic: intervalo de confianza; Inf: inferior; Sup: superior. c: La simulación de muestreo se basa en 1.000

muestras. Información obtenida con el programa IBM SPSS Statics versión 23. ** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados de significación bilateral (sig) para las grandes compañías, las correlaciones entre las variables de entrada y la salida *Ing* se encuentran entre 0,642 y 0,929, mientras que entre las mismas entradas con la salida *Utl* se encuentran entre 0,276 y 0,775. Para las medianas compañías, las correlaciones entre las variables de entrada y la salida *Ing* se encuentran entre 0,281 y 0,830, mientras que entre las mismas entradas con la salida *Utl* se encuentran entre 0,08 y 0,50. Para las pequeñas compañías, las correlaciones entre las variables de entrada y la salida *Ing* se encuentran entre 0,332 y 0,789, mientras que entre las mismas entradas con la salida *Utl* se encuentran entre -0,535 y 0,07.

Como se puede notar, todas las correlaciones entre las entradas y la variable de salida *Ing* son significantes y positivas, razón por la que existe una alta probabilidad de que haya algún grado de relación o asociación entre las entradas y la salida *Ing*. Por otra parte, para la correlación entre las entradas y la salida *Utl*, en algunos casos el nivel de significancia es mayor que 0,05 y ciertos resultados son negativos, razón por la que no se consideró esta salida para el cálculo de la eficiencia. En virtud de los resultados de la correlación entre entradas y salidas, se decidió estimar la eficiencia tomando en cuenta las seis variables de entrada y como variable única de salida los ingresos.

Esta cantidad de variables cumple con la restricción para la aplicación del método DEA, puesto que el número total de variables (*inputs + outputs*) debe ser inferior en por lo menos tres veces al número de muestras estudiadas (Andersen & Petersen, 1993; Cooper et al., 2011). En este caso, la suma total de variables es siete y el número de muestra más pequeño de compañías estudiadas de acuerdo con la tabla 3 es de 56 grandes compañías en el 2017, cumpliéndose, por lo tanto, con la restricción para todas las muestras.

La eficiencia y análisis de sensibilidad

En las tablas 6, 7 y 8 se muestran los cambios del porcentaje de compañías eficientes de acuerdo con los escenarios analizados. Los escenarios que evidencian el mayor impacto en la disminución del promedio de compañías eficientes son el 4, 5, 6 y 7. Esto significa que las variables de entrada más sensibles al cambio de eficiencia en los diferentes tamaños de compañías son *Cvt*, *Go*, *Gss* y *Gno*, mientras que las variables de entrada que generan menos cambios en la eficiencia son *Ac* y *Anc*.

Tabla 6.
Porcentaje de compañías grandes eficientes.

Escenario	Año						Promedio
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
4	26%	15%	19%	13%	11%	26%	18%
6	27%	34%	37%	31%	17%	32%	30%
5	31%	27%	32%	24%	27%	37%	30%
2	29%	35%	37%	31%	32%	37%	34%
3	34%	34%	29%	35%	29%	44%	34%
7	31%	35%	31%	35%	31%	50%	36%
1	37%	44%	44%	39%	35%	56%	43%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.
Porcentaje de compañías medianas eficientes.

Escenario	Año						Promedio
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
4	15%	22%	7%	10%	16%	18%	15%
6	36%	27%	16%	15%	26%	27%	25%
7	27%	29%	33%	16%	27%	40%	29%
5	33%	30%	33%	22%	30%	38%	31%
2	33%	30%	38%	19%	29%	38%	31%
3	34%	33%	37%	21%	32%	44%	34%
1	41%	38%	47%	23%	38%	53%	40%

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.
Porcentaje de compañías pequeñas eficientes.

Escenario	Año						Promedio
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
4	13%	16%	11%	5%	16%	21%	14%
6	20%	27%	18%	30%	23%	17%	22%
5	18%	23%	27%	28%	27%	38%	27%
3	26%	20%	23%	29%	28%	37%	27%
2	23%	26%	29%	30%	32%	32%	29%
7	20%	29%	18%	28%	34%	40%	28%
1	28%	32%	32%	40%	37%	51%	37%

Fuente: elaboración propia.

Actividades que influyen en la innovación

En las figuras 3, 4 y 5 se muestra el comportamiento de las actividades de innovación en las compañías de manufactura de Pichincha de acuerdo con su tamaño. Por un lado, se indica el porcentaje de compañías que realizan una actividad de innovación específica y, por otro, en la misma figura, se revela el porcentaje de los gastos que se dedican a cada una de las actividades de innovación.

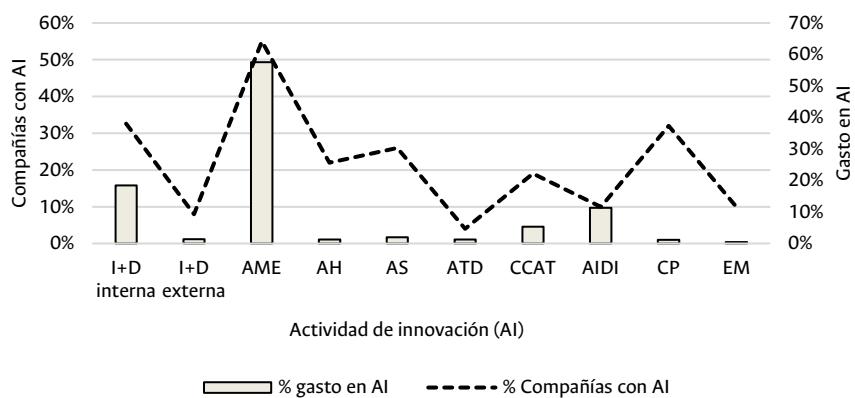


Figura 3. Actividades de innovación de las grandes compañías y dedicación de gastos. I+D interna: investigación y desarrollo con fondos de la empresa; I+D externa: investigación y desarrollo con fondos externos a la empresa; AME: adquisición de maquinaria y equipo; AH: adquisición de hardware; AS: adquisición de software; ATD: adquisición de tecnología desincorporada; CCAT: contratación de consultorías y asistencia técnica; AIDI: actividades de ingeniería y diseño industrial; CP: capacitación del personal; EM: estudios de mercado.

Fuente: elaboración propia con base en INEC (2014).

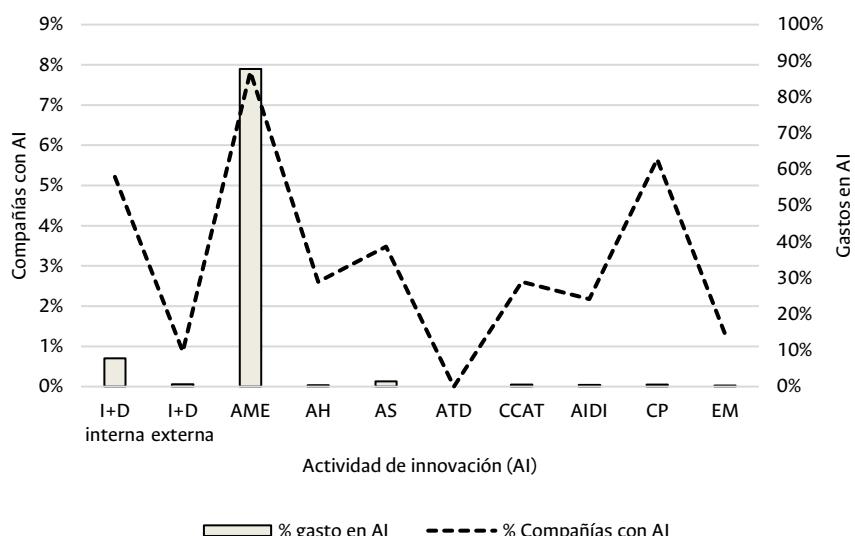


Figura 4. Actividades de innovación de las compañías medianas y dedicación de gastos. I+D interna: investigación y desarrollo con fondos de la empresa; I+D externa: investigación y desarrollo con fondos externos a la empresa; AME: adquisición de maquinaria y equipo; AH: adquisición de hardware; AS: adquisición de software; ATD: adquisición de tecnología desincorporada; CCAT: contratación de consultorías y asistencia técnica; AIDI: actividades de ingeniería y diseño industrial; CP: capacitación del personal; EM: estudios de mercado.

Fuente: elaboración propia con base en INEC (2014).

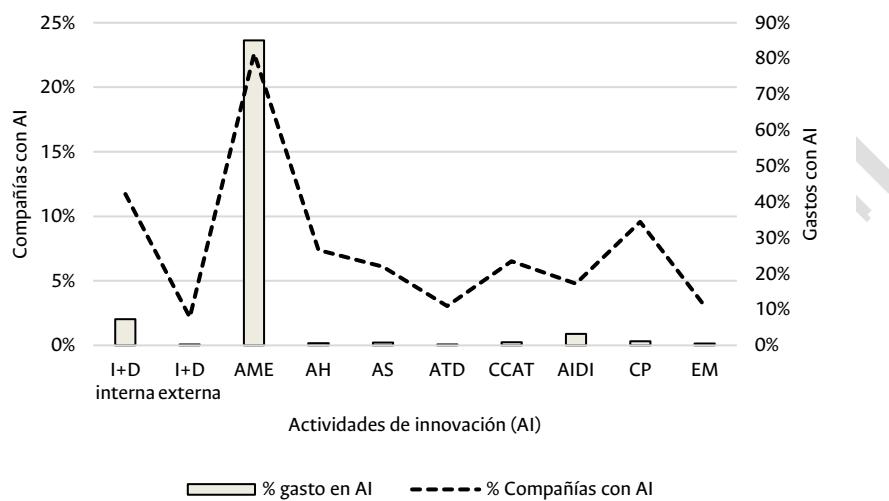


Figura 5. Actividades de innovación de las pequeñas compañías y dedicación de gastos. I+D interna: investigación y desarrollo con fondos de la empresa; I+D externa: investigación y desarrollo con fondos externos a la empresa; AME: adquisición de maquinaria y equipo; AH: adquisición de hardware; AS: adquisición de software; ATD: adquisición de tecnología desincorporada; CCAT: contratación de consultorías y asistencia técnica; AIDI: actividades de ingeniería y diseño industrial; CP: capacitación del personal; EM: estudios de mercado.

Fuente: elaboración propia con base en INEC (2014).

Como se evidencia, las grandes compañías son las que porcentualmente realizan más actividades de innovación (AI), seguidas por las pequeñas y luego por las medianas. Además, independientemente del tamaño de la compañía, el sector de manufactura gasta su presupuesto dedicado a AI, primordialmente en adquisición de maquinaria y equipo, y en I+D interna.

Los resultados obtenidos de la regresión logística que explora la relación entre las AI que realizan las compañías de manufactura de Pichincha, entre 2012 y 2014, y los tipos de innovación realizadas se indican en la tabla 9. De acuerdo con la información de esta tabla, algunas actividades de innovación explican que las compañías hagan algún tipo de innovación, ya que la significación bilateral es menor que 0,05, lo que significa que existe una probabilidad cercana a uno de que exista

algún grado de relación o asociación entre las actividades de innovación y los tipos de innovación. Para los casos en que el nivel de significancia es mayor que 0,05, no existe tal relación.

Tabla 9.

Regresión logística para las compañías de manufactura.

Actividad de innovación	Tipos de innovación					
	Bien nuevo	Bien mejorado	Servicio nuevo	Servicio mejorado	Proceso nuevo	Proceso mejorado
	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.	Sig.
I+D interna	0,000	0,007	0,338	0,969	0,004	0,266
I+D externa	0,111	0,536	0,998	0,908	0,175	0,039
Adquisición de maquinaria y equipo	0,000	0,000	0,850	0,029	0,000	0,000
Adquisición de hardware	0,614	0,147	0,065	0,231	0,554	0,416
Adquisición de software	0,070	0,026	0,034	0,647	0,639	0,054
Adquisición de tecnología desincorporada	0,951	0,120	0,316	0,961	0,157	0,315
Contratación de consultorías y asistencia técnica	0,875	0,605	0,137	0,967	0,298	0,200
Ingeniería y diseño industrial	0,085	0,549	0,664	0,772	0,435	0,000
Capacitación del personal	0,397	0,256	0,013	0,236	0,412	0,265
Estudios de mercado	0,097	0,442	0,745	0,468	0,192	0,671
Tamaño de la muestra	422	422	422	422	422	422
Pruebas ómnibus (Sm)	0,000	0,000	0,003	0,072	0,000	0,000
R ² Nagelkerke	0,301	0,242	0,286	0,139	0,284	0,471

Nota. Sig.: nivel de significancia bilateral. Sm: significación del modelo < 0,05. La variable dependiente al menos está explicada por una variable independiente. R² Nagelkerke: bondad de ajuste del modelo. Información obtenida con el programa IBM SPSS Statistics versión 23.

Fuente: elaboración propia.

A la luz de los resultados de la tabla 9, se puede determinar lo siguiente:

- La I+D interna influye significativamente en la propensión a innovar en un bien nuevo y mejorado, y en un proceso nuevo.
- La adquisición de maquinaria y equipo influye significativamente en los cinco tipos de innovación, excepto en un servicio nuevo.
- La adquisición de software influye significativamente en la propensión a innovar en un bien mejorado y servicio nuevo.
- Las actividades de ingeniería y diseño industrial influyen significativamente en la propensión a innovar en un proceso mejorado.
- La capacitación del personal influye significativamente en la propensión a innovar en un servicio nuevo.

Discusión

En lo que respecta a la determinación de la eficiencia relativa de las compañías, se estimó el porcentaje de compañías eficientes, lo que admite hacer tres deducciones relevantes. La primera tiene que ver con la correlación positiva que existe entre el tamaño de empresa y el porcentaje de empresas eficientes, cuando se toman en cuenta en el análisis de sensibilidad todas las variables de entrada. Así se tiene que, en las grandes compañías, el promedio de compañías eficientes es 43%, en las medianas, 40% y en las pequeñas, 37%; esta correlación también se cumple cuando en el cálculo de la eficiencia se retira una a una las variables de entrada; por ejemplo, cuando se retira los costos de ventas, el porcentaje de compañías eficientes en orden descendente a su tamaño es de 18%, 15% y 14%, respectivamente. La segunda deducción es que existe evidencia de que, en las compañías de manufactura grandes, medianas y pequeñas, las variables costo de ventas, gastos operativos, gastos en sueldos y salarios y gastos no operativos son las más sensibles en el cambio de porcentaje de compañías eficientes. La tercera deducción es que hay variables de entrada que poco influyen en la eficiencia de las compañías, sin importar su tamaño; estas son los activos corrientes y activos no corrientes.

Por otro lado, se ha identificado que las actividades de innovación que ejecutan las compañías y aportan a la innovación de bienes, servicios y procesos son la I+D interna, adquisición de maquinaria y equipo, adquisición de software, actividades de ingeniería y diseño industrial, y capacitación del personal. Con estos resultados, tanto de las variables más sensibles que afectan a la eficiencia relativa, como de las actividades relevantes que aportan a la innovación, se realiza una comparación que se muestra en la tabla 10. Como resultado de este proceso, se observa que las variables que son sensibles para la estimación de la eficiencia resultan ser equivalentes a las actividades de innovación, ya que existe correspondencia en el detalle de los gastos de las cuentas de los estados financieros con los gastos de las actividades que aportan a algún tipo de innovación.

Tabla 10.

Equivalencia entre las variables sensibles de la eficiencia y las actividades de innovación.

Variables sensibles a la eficiencia		Actividades de innovación
Cuenta	Detalle del gasto	Detalle del gasto
Cvt	Compras Importaciones	
Go	Suministros y herramientas Materiales y repuestos Mantenimiento y reparaciones	Adquisición de maquinaria y equipos Adquisición de software
Gno	Gastos financieros	
Gss	Sueldos Salarios Honorarios profesionales	Capacitación del personal I+D interna Ingeniería y diseño industrial

Fuente: elaboración propia.

En consecuencia, se ha demostrado que la medida de la eficiencia relativa está relacionada con la medida de las actividades que contribuyen a la innovación en las compañías de manufactura, es decir, existe un fuerte vínculo entre las compañías eficientes y las innovadoras, tal como se representa en la figura 6.

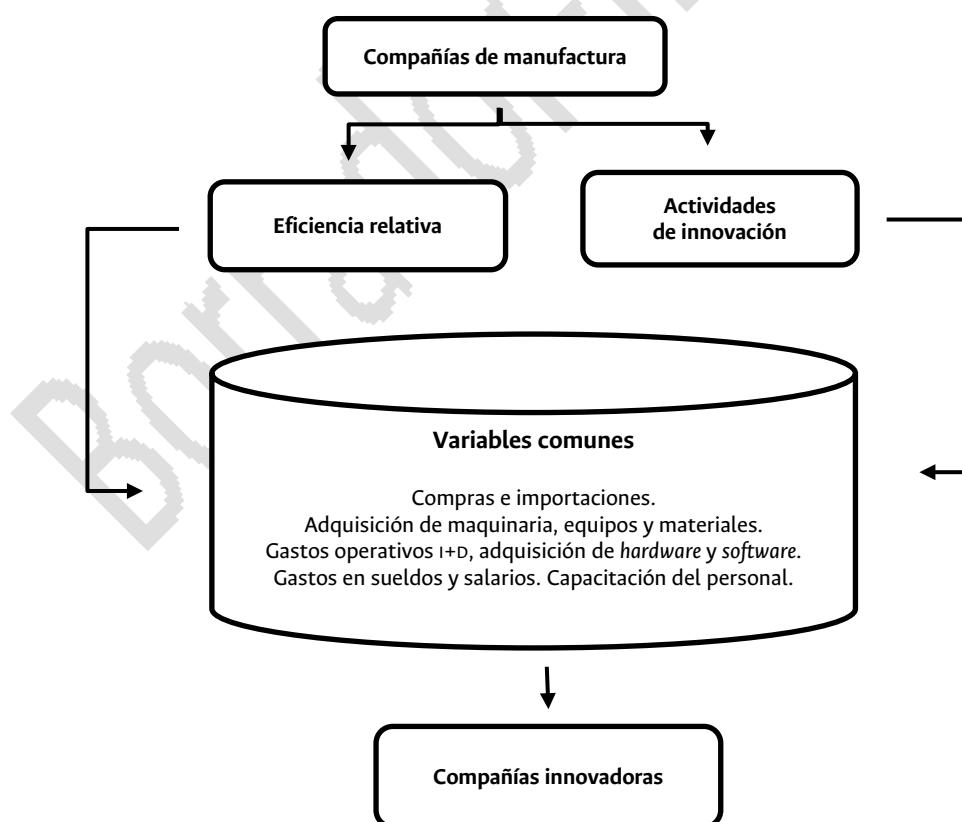


Figura 6. Relación de la eficiencia relativa con la innovación empresarial.

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, para que la eficiencia relativa sea considerada como indicador debe satisfacer las condiciones de pertinencia, confiabilidad y comparabilidad que se exige a la mayoría de indicadores (Lugones, 2010). Al respecto, la pertinencia alude a la capacidad de los indicadores de proporcionar a los usuarios (compañías, investigadores y responsables de la formulación de políticas) los elementos de juicio que estos requieren para analizar el presente y prever el futuro (WIPO, 2021); entonces, la eficiencia relativa como indicador cumple esta condición, ya que con los resultados periódicos de este indicador se pueden definir, revisar y evaluar estrategias y líneas de acción relacionadas con los procesos de innovación.

Con relación a la confiabilidad, característica asociada a la calidad de los indicadores, la eficiencia relativa como indicador está respaldada desde la teoría y es de fácil comprensión, ya que para su cálculo se utiliza como método el análisis envolvente de datos. Este método es muy utilizado en campos del conocimiento como la economía y la gestión (Paradi et al., 2018; Zhu, 2016), es robusto y se ejecuta con herramientas computacionales de fácil acceso, lo que facilita la replicabilidad en diferentes situaciones y con diferentes investigadores.

La tercera característica que se debe satisfacer por el indicador propuesto es la comparabilidad; a propósito, la eficiencia relativa de por sí es un indicador muy utilizado que permite comparar la eficiencia de los resultados de los procesos productivos de las organizaciones empresariales en diferentes períodos (Walheer, 2019), no solo respecto a sus tamaños (grandes, medianas o pequeñas), sino también en relación con la eficiencia a nivel macro entre diferentes sectores económicos dentro de las fronteras de un país y fuera de ellas (SuperCias, 2020b).

En consecuencia, la eficiencia relativa como indicador satisface las condiciones de pertinencia, confiabilidad y comparabilidad, y puede considerarse como un indicador para identificar las compañías innovadoras. Adicionalmente, el cumplimiento de estas condiciones aporta a disminuir el componente subjetivo que suelen tener los indicadores de innovación (Albornoz, 2009; Jiménez et al., 2017; Moyeda Mendoza & Arteaga García, 2016).

La contribución práctica de esta investigación radica en que, a diferencia de otros indicadores de innovación que se obtienen por encuestas y entrevistas a las compañías dependiendo del manual de innovación utilizado (Anlló et al., 2014), la eficiencia relativa se obtiene a partir de datos económicos y financieros que las compañías entregan en forma obligatoriamente a las instituciones gubernamentales de control (SuperCias, 2020a).

Por otro lado, la temporalidad del cálculo de la eficiencia relativa se presenta como ventaja, ya que los datos para el cálculo de los indicadores de innovación típicos los obtienen las instituciones públicas o privadas en espacios de tiempo que en la mayoría de los casos en ALC no son periódicos, debido generalmente a circunstancias políticas, sociales o logísticas de los países (Jiménez et al., 2017; Senescyt-Inec, 2015); en contraste, los datos para el cálculo de la eficiencia relativa se pueden

obtener anualmente, ya que las compañías presentan periódicamente sus informes económicos y financieros a las instituciones de control del gobierno ecuatoriano. En consecuencia, la eficiencia relativa como indicador sí responde a nuestra realidad y puede ser extensible a economías de la región de ALC, respondiendo así a la necesidad de estas economías de disponer sus propios indicadores de innovación.

Teniendo claro que la multidimensionalidad de la innovación permite que las compañías innovadoras pueden ser identificadas por más de un indicador, el aporte de esta investigación es una propuesta para analizarse en el espacio académico y empresarial con la perspectiva de ir ampliando el campo de estudio de la innovación en las organizaciones. Además, los resultados de este artículo pueden dar sustento técnico confiable a la creación de política pública, estrategias privadas y marcos normativos que incentivan la innovación en el tejido empresarial ecuatoriano, siendo extensible a otras economías contiguas de la región.

Conclusiones

El objetivo de esta investigación fue determinar si la eficiencia relativa resultaría ser un indicador por el cual se puedan identificar las compañías innovadoras mediante la equivalencia entre los costos asociados a la eficiencia y los gastos dedicados a las actividades de innovación en las compañías de manufactura de Pichincha, Ecuador.

Para cumplir con el objetivo se aplicó una metodología dividida en dos etapas de procesamiento cuantitativo de datos: la primera consistió en determinar las variables económicas y financieras que más influyen en el mejoramiento de la eficiencia de las compañías; la segunda radicó en determinar qué relación existe entre las actividades de innovación y los diferentes tipos de innovación que realizan las compañías. Luego, en una tercera etapa, se constató si las variables que más aportan al mejoramiento de la eficiencia son las mismas que corresponden a las actividades que más influyen en la innovación.

Como resultados de la primera etapa en la que se procesó la información de las compañías de manufactura entre el período 2014 y 2019, mediante la técnica de análisis envolvente de datos, se determinó que, en las grandes compañías, el promedio de compañías eficientes es 43%, en las medianas, 40% y en las pequeñas, 37%. Esta eficiencia de las compañías disminuye a medida que se reduce su tamaño. Además, de seis variables consideradas en el cálculo de la eficiencia, cuatro: *costos de ventas, gastos operativos, gastos en sueldos y salarios y gastos no operativos*, influyen en forma determinante en el incremento del porcentaje de compañías eficientes; es decir, actividades empresariales como las compras de equipos, herramientas, materia prima, materiales, mantenimiento, reparaciones, y actividades de investigación y desarrollo aportan sustancialmente en el uso eficiente de su capacidad instalada y en la maximización de la explotación de la capacidad productiva de las compañías.

Por otro lado, con respecto a los resultados de la segunda etapa, en la que se aplicó el método de regresión logística a 422 compañías de manufactura que fueron parte de la encuesta nacional de innovación, se determinó que la ejecución de las actividades de innovación sí afectan de distinta manera a los diferentes tipos de innovación que las compañías realizan; además, la influencia en la capacidad innovadora sí depende del tamaño de la compañía. La compra de maquinaria, los equipos, la I+D interna, las actividades de ingeniería y diseño industrial, la adquisición de software y la capacitación al personal son las actividades de innovación con más relevancia en el aporte a la innovación en las compañías de manufactura.

Al sintetizar y comparar los resultados de las dos etapas, se concluye que, efectivamente, existen evidencias de que el mejoramiento de la eficiencia y capacidad de innovación están relacionadas en las compañías de manufactura de Pichincha, Ecuador, lo que significa que el mejoramiento en la eficiencia en la gestión de las actividades empresariales mejoraría sustancialmente la capacidad de innovación de las compañías. Por lo tanto, la eficiencia relativa puede ser considerada como un indicador complementario en economías de ALC, con respecto a los indicadores propuestos por manuales o reportes globales de indicadores de innovación.

Por consiguiente, el indicador propuesto no solo aporta para determinar el posicionamiento de las compañías respecto a la innovación, sino que, una vez reconocidas las variables críticas que conectan la eficiencia con la innovación, contribuye en la práctica con conocimiento para generar un abanico de posibilidades con respecto a las estrategias que las compañías deberían tomar en cuenta en sus planes de gestión, facilitando el cumplimiento de sus objetivos de mejora de competitividad y sostenibilidad de sus productos en los mercados.

Esta investigación jugará un papel fundamental en los cambios que se vayan produciendo con respecto a la identificación de compañías innovadoras, pues su contribución reside en proponer a la eficiencia relativa como un indicador adicional en la identificación de las compañías que innovan, complementando la información que se pueda obtener con otras técnicas planteadas por los manuales de innovación.

Una de las limitaciones de esta investigación ha sido no disponer de datos más actualizados sobre la innovación en el Ecuador, ya que la última encuesta sobre el tema se realizó en 2014. No obstante, la información de la encuesta ha sido muy útil, más aun considerando que los cambios que producen innovación en las compañías en economías de la región ALC requieren algunos años para evaluar sus resultados (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL], 2016; OCDE, 2016). Con respecto a los próximos pasos, este artículo abre un conjunto de posibilidades a investigaciones futuras relacionadas con la eficiencia y la innovación en sectores como la minería, la agricultura y el comercio, que también son importantes en la actividad económica del Ecuador.

Declaración de conflicto de interés

Los autores no manifiestan conflictos de intereses institucionales ni personales.

Referencias bibliográficas

- Aguilar-Barceló, J. G., & Higuera-Cota, F. (2019). Los retos en la gestión de la innovación para América Latina y el Caribe: un análisis de eficiencia. *Revista CEPAL*, 127, 1-20.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/44570-retos-la-gestion-la-innovacion-america-latina-caribe-un-analisis-eficiencia>
- Albornoz, M. (2009). Indicadores de innovación: las dificultades de un concepto en evolución. CTS: *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 5(13), 9-25.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92415269002>
- Allison, P. D. (2012). *Logistic Regression Using SAS: Theory and Application* (2nd ed.). SAS Press.
- Álvarez Pinilla, A. (2013). *La medición de la eficiencia y la productividad (Measuring efficiency and productivity)*. Economía y Empresa.
- Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 39(10), 1261-1264.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.39.10.1261>
- Anlló, G., Crespi, G. A., Lugones, G., Suárez, D., Tacsir, E., & Vargas, F. (2014). Manual para la implementación de encuestas de innovación. In *Banco Interamericano de Desarrollo (Issue September)*. <http://publications.iadb.org/handle/11319/6638>
- Araujo, G., & Alves, L. (2015). Organizações Inovadoras e Sustentáveis. *Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*, 2, 14.
https://www.researchgate.net/publication/313236865_ORGANIZACOES_INOVADORAS_E_SUSTENTAVEIS
- Ayaviri, D., & Quispe, G. (2011). Medición de la eficiencia asignativa mediante el análisis envolvente de datos en los municipios de Bolivia: caso municipios de Potosí. *Perspectivas*, 14(28), 137-169. <http://www.scielo.org.bo/pdf/rp/n28/n28a07.pdf>
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. . W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Bos, J., Lamoen, R., & Sanders, M. (2016). Producing Innovations: Determinants of Innovativity and Efficiency. In J. Aparicio, C. A. K. Lovell, & J. T. Pastor (Eds.), *Advances in Efficiency and Productivity* (Vol. 249, Issue February 2018, pp. 227-248). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-48461-7>
- Cachanosky, I. (2012). Eficiencia técnica, eficiencia económica y eficiencia dinámica. *Procesos de Mercado: Revista Europea de Economía Política*, 9(2), 51-80.
<http://www.hacer.org/pdf/ICachanosky00.pdf>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2016). *Los desafíos del Ecuador para el cambio estructural con inclusión social*. CEPAL.

http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40863/1/S1601309_es.pdf

Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1979). Measuring the efficiency of decision-making units. *European Journal of Operational Research*, 3(4), 339. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(79\)90229-7](https://doi.org/10.1016/0377-2217(79)90229-7)

Cooper, W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). Data Envelopment Analysis: History, Models, and Interpretations. En W. Cooper, L. M. Seiford, & J. Zhu (Eds.), *Handbook on Data Envelopment Analysis* (2nd ed., Vol. 139, pp. 1-39). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6151-8>

Cordero, J. M. (2006). *Evaluación de la eficiencia con factores exógenos mediante el análisis envolvente de datos. una aplicación a la educación secundaria en España* [Universidad de Extremadura].

<http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=1488>

Del Carpio Gallegos, J. F., & Miralles, F. (2019). Análisis cualitativo de los determinantes de la innovación en una economía emergente. *Retos*, 9(17), 161-175.

<https://doi.org/10.17163/ret.n17.2019.10>

Farrell, M. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society, 120*, 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>

Ferreira, J. J. M., Teixeira, S. J., & Rammal, H. G. (2021). State of the Art. In *Technological Innovation and International Competitiveness for Business Growth* (pp. 1-14). Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51995-7_1

Garson, D. G. (2014). *Logistic Regression: Binary and Multinomial*. Statistics Associates Publishing.

González-Araya, M., & Valdés, N. (2009). Método de selección de variables para mejorar la discriminación en el análisis de eficiencia aplicando modelos DEA. *Ingeniería Industrial*, 2(8), 45-56. <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/74>

Hall, B. H. (2011). Using productivity growth as an innovation indicator. In *Report for the High Level Panel on Measuring Innovation, DG Research, European Commission*.

https://eml.berkeley.edu/~bhall/papers/BHH11_EC_DGR_prod_innov_Oct.pdf

Harrel, F. E. (2015). Regression modeling strategies: with applications to linear models, logistic and ordinal regression, and survival analysis. In *Statistical Methods in Medical Research* (2nd ed., Issue 5). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19425-7>

Hilbe, J. (2015). *Practical Guide to Logistic Regression*, 71. CRC Press.

<https://doi.org/10.18637/jss.v071.b03>

Hongkuan, L., Haiyan, H., Jiefei, S., & Jingjing, C. (2019). Innovation efficiency of semiconductor industry in China: A new framework based on generalized three-stage DEA analysis. *Socio-Economic Planning Sciences*, 66, 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.07.002>

Ibujés-Villacís, J. (2019). La eficiencia técnica de las medianas empresas de manufactura de Quito. *Debates Sobre Innovación. XVIII Congreso Latinoamericano de Gestión Tecnológica*, 3(1), 1126-1141. <https://economiaeinnovacionuamx.org/revista/secciones/articulos/7>

- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC). (2014). *Encuesta Nacional de Actividades de Ciencia, Tecnología e Innovación-ACTI*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Ecuador En Cifras. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-nacional-de-actividades-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-acti/>
- Jaramillo, H., Lugones, G., & Salazar, M. (2001). Manual de Bogotá. Normalización de indicadores de Innovación Tecnológica en América Latina y el Caribe. Ricyt, Oea, Cyted, Colciencias/Ocyt, 102.
- Jiménez, L., Acevedo, N., & Rojas, M. (2017). Medición de la innovación en Colombia. En-Contexto, 5(6), 165-183. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=551857514007>
- Kim, M. K., Park, J. H., & Paik, J. H. (2018). Factors influencing innovation capability of small and medium-sized enterprises in Korean manufacturing sector: facilitators, barriers and moderators. *International Journal of Technology Management*, 76(3/4), 214-235. <https://doi.org/10.1504/ijtm.2018.10012461>
- Kleinbaum, D., & Klein, M. (2010). *Logistic Regression: A Self-Learning Text* (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1742-3>
- Lohr, S. L. (2019). Simple Probability Samples. En *Sampling. Design and Analysis* (2nd ed., pp. 25-72). CRC Press.
- Lugones, G. (2010). *Módulo de capacitación para la recolección y el análisis de indicadores de innovación*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Lundvall, B.-A. (2010). Toward a New Approach to National Systems of Innovation. En *National Systems of Innovation. Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning* (pp. 21-96). Anthem Press. <https://doi.org/10.7135/UPO9781843318903>
- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (Mipro). (2021). *Cifras de industrias*. Gobierno del Ecuador. <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/Presentación-Industria-Junio-2021.pdf>
- Moyeda Mendoza, C., & Arteaga García, J. C. (2016). Medición de la innovación, una perspectiva microeconómica basada en la ESIDET-MBN 2012. *Realidad, datos y espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 7(1), 38-57.
- Nakamori, Y. (2020). Innovation Theory. In *Knowledge Construction Methodology. Fusing Systems Thinking and Knowledge Management* (pp. 1-18). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9887-2_5
- Nelson, R. R. (1993). Technical Innovation and National Systems. En *National innovation systems. A comparative analysis* (pp. 3-27). Oxford University Press.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) . (2016). Startup América Latina: Promoviendo la innovación en la región. In *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico*. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264202320-es>

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) . (2015). *Frascati Manual 2015. Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264239012-en>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) & Eurostat. (2005). Oslo Manual. *Guidelines for Collecting and Intrepreting innovation Data. In Research Handbook on the European Union and International Organizations* (3rd ed.). OECD.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) & Eurostat. (2018). Oslo Manual 2018: *Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation* (4th ed., Issue October). OECD. <https://doi.org/10.1787/9789264304604-en>
- Ott, R. L., & Longnecker, M. (2016). Inferences About Population Central Values. En *An Introduction to Statistical Methods & Data Analysis* (Seventh, pp. 232-299). Cengage Learning.
- Paradi, J. C., Sherman, H. D., & Tam, F. K. (2018). *Data Envelopment Analysis in the Financial Services Industry*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-69725-3>
- Puertas, R., Martí, L., & Guaita-Martínez, J. M. (2020). Innovation, lifestyle, policy and socioeconomic factors: An analysis of European quality of life. *Technological Forecasting and Social Change*, 160(May), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120209>
- Quindós, M. del P., Rubiera, F., & Vicente, M. R. (2003). Análisis envolvente de datos: una aplicación al sector de los servicios avanzados a las empresas del Principado de Asturias). *Rect@*, 11(1), 21.
- Ramanathan, R. (2003). *An introduction to Data Envelopment Analysis*. Sage Publications, Inc.
- Samoilenko, S., & Osei-Bryson, K.-M. (2022). A Hybrid DEA/DM-based DSS for Productivity-Driven Environments. In *Quantitative Methodologies using Multi-Methods* (pp. 87-104). Routledge. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9463-8_13
- Santos, J., Negas, E., & Cavique, L. (2013). Introduction to Data Envelopment Analysis. In *Efficiency Measures in the Agricultural Sector* (1st ed., Issue January, p. 16). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5739-4>
- Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (Senescyt-Inec). (2015). *Principales indicadores de actividades de ciencia, tecnología e innovación*. Senescyt-Inec. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Ciencia_Tecnologia-ACTI/2012-2014/presentacion_ACTI.pdf
- Serrano-Cinca, C., Fuertes-Callén, Y., & Mar-Molinero, C. (2005). Measuring DEA efficiency in Internet companies. *Decision Support Systems*, 38, 557-573. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2003.08.004>
- Sherman, D., & Zhu, J. (2006). *Service Productivity Management. Improving Service Performance using Data Envelopment Analysis (DEA)*. Springer. <https://doi.org/10.1007/0-387-33231-6>
- Shiu-h-Nan, H., Hsuan-shih, L., & Zhu, J. (2016). *Handbook of Operations Analytics Using Data Envelopment Analysis*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7705-2>

- Sueyoshi, T., & Goto, M. (2018). *Environmental Assessment on Energy and Sustainability by Data Envelopment Analysis* (1st ed.). John Wiley & Sons Ltd.
- Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (SuperCias). (2018). *Panorama de la industria manufacturera en el Ecuador. Dirección Nacional de Investigación y Estudios*.
<https://investigacionyestudios.supercias.gob.ec/wp-content/uploads/2018/09/Panorama-de-la-Industria-Manufacturera-en-el-Ecuador-2013-2017.pdf>
- Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (SuperCias). (2020a). *Consulta y recepción de estados financieros. Recepción Estados Financieros*.
https://appscvsmovil.supercias.gob.ec/portaldedocumentos/consulta_cia_param.zul
- Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (SuperCias). (2020b). La eficiencia de las empresas manufactureras en el Ecuador. In *Investigación y estudios sectoriales*.
https://investigacionyestudios.supercias.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/eficienciamanufactura_FINAL.pdf
- Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (SuperCias). (2020c). *Portal de Información. Portal de Información Del Sector Societario*.
https://appscvsmovil.supercias.gob.ec/PortalInformacion/sector_societario.html
- Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros (SuperCias). (2020d). *Ranking de compañías. Ranking Empresarial Del Ecuador*. <https://appscvconsultas.supercias.gob.ec/rankingCias/>
- Szczepańska-Woszczyna, K. (2021). Innovation and Innovativeness. Determinants of the Innovativeness of an Organisation. In *Management Theory, Innovation and Organisation* (pp. 95-140). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003057123>
- Thabet, S. (2021). Indicators – The Complexity of Innovation Indicators. En D. Uzunidis, F. Kasmi & L. Adatto (Eds.), *Innovation Economics, Engineering and Management Handbook 1* (pp. 189-194). Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119832492.ch22>
- Tidd, J., & Bessant, J. (2018). Innovation Management Challenges: From Fads To Fundamentals. *International Journal of Innovation Management*, 22(05), 1-13.
<https://doi.org/10.1142/s1363919618400078>
- Villarroel, C., Cabrales, F., Fernández, A., & Godoy, I. (2017). Indicadores de innovación y emprendimiento aplicados a la triple hélice en la región de Arica y Parinacota, Chile. *Interciencia*, 42(11), 719-726.
- Walheer, B. (2019). Malmquist productivity index for multi-output producers: An application to electricity generation plants. *Socio-Economic Planning Sciences*, 65(February), 76-88.
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.02.003>
- World Intellectual Property Organization (WIPO). (2021). *Global Innovation Index 2021: Tracking Innovation through the COVID-19 Crisis*. In S. Dutta, L. Rivera León, & S. Wunsch-Vincent (Eds.), *Organización Mundial de la Propiedad Intelectual* (14th ed.). WIPO.
<https://doi.org/10.34667/tind.44315>

Zanda, S. (2018). The Compatibility of Effectiveness and Efficiency: The Pillars of Barnard's Theory of Cooperation. In *Building Efficient Management and Leadership Practices, Innovation, Technology, and Knowledge Management* (pp. 109-128). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60068-0_8

Zawislak, P. A., Fracasso, E. M., & Tello-Gamarra, J. (2018). Technological intensity and innovation capability in industrial firms. *Innovation & Management Review*, 15(2), 189-207. <https://doi.org/10.1108/inmr-04-2018-012>

Zhu, J. (2016). *Data Envelopment Analysis. A Handbook of Empirical Studies and Applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4899-7684-0>