

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

UNIDAD DE TITULACIÓN

**LA BRECHA EN INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA EN EL ECUADOR,
EN COMPARACIÓN CON OTROS PAÍSES DEL CONTINENTE
UTILIZANDO EL ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EMPRESARIAL**

ERICK SANTIAGO JARAMILLO TAPIA

erick.jaramillo@epn.edu.ec

Director: PhD. Edwin Fernando Herrera García

edwin.herrera@epn.edu.ec

2019

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

Como director del trabajo de titulación “La brecha en innovación y tecnología en el Ecuador, en comparación con otros países del continente utilizando el análisis envolvente de datos”, desarrollado por Erick Santiago Jaramillo Tapia, estudiante de la carrera de Ingeniería Empresarial, habiendo supervisado la realización de este trabajo y realizado las correcciones correspondientes, doy por aprobada la redacción final del documento escrito para que prosiga con los trámites correspondientes a la sustentación de la Defensa oral.

PhD. Edwin Fernando Herrera García
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Erick Santiago Jaramillo Tapia, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Erick Santiago Jaramillo Tapia

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a todas las personas que me han ayudado durante mi formación personal y profesional, en primer lugar, a mis padres por sus enseñanzas y apoyo durante toda mi vida, a mi hermano por ser un ejemplo a seguir y finalmente a mis amigos por compartir todo este camino junto a mí.

Erick Jaramillo

AGRADECIMIENTO

A todo el personal de la Escuela Politécnica Nacional que han hecho posible la elaboración de este trabajo de investigación, en especial al PhD. Fernando Herrera por su apoyo y guía.

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABLAS	ii
LISTA DE ANEXOS	iii
RESUMEN	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	8
1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	9
1.3. OBJETIVO GENERAL	9
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.5. HIPÓTESIS.....	9
1.6. MARCO TEÓRICO.....	10
1.6.1. INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA.....	10
1.6.2. LA MEDICIÓN DE LA INNOVACIÓN Y DE LA BRECHA TECNOLÓGICA... 15	
1.6.3. ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS	19
1.6.4. CAUSAS DE LA BRECHA EN INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA	25
1.6.5. POLÍTICAS DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN AMÉRICA LATINA	28
2. METODOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	31
2.1. METODOLOGÍA	31
2.1.1. NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN	31
2.1.2. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	31
2.1.3. HERRAMIENTA DE INVESTIGACIÓN	32
2.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	33
2.2.1. LIMITACIONES DEL MODELO	34
2.2.2. SELECCIÓN DE INDICADORES	35
2.2.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	39

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
3.1. HALLAZGOS INICIALES	41
3.2. MODIFICACIONES AL MODELO INICIAL	45
3.3. DISCUSIÓN	51
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
4.1. CONCLUSIONES	53
4.2. RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de innovación disruptiva "Patente de un celular"	11
Figura 2: Ejemplo de innovación incremental "Evolución cámaras fotográficas de la empresa Nikon"	11
Figura 3: Modelo <i>Science push</i>	13
Figura 4: Modelo <i>Market-Driven</i>	13
Figura 5: Representación gráfica de los datos normalizados.	23
Figura 6: Ejemplo VRS con un <i>input</i> y un <i>output</i>	25
Figura 7: Triángulo de Sábato	26

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Datos de ejemplo	22
Tabla 2: Datos de ejemplo normalizados	22
Tabla 3: Entradas utilizadas en el modelo	36
Tabla 4: Salidas utilizadas en el modelo	37
Tabla 5: Resultados modelo 1	42
Tabla 6: Datos modelo 1	43
Tabla 7: Holguras modelo 1	44
Tabla 8: Resultados modelo 2	45
Tabla 9: Datos modelo 2.....	47
Tabla 10: Holguras modelo 2	48
Tabla 11: Resultados modelos 3 y 4.....	49

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Datos: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores por millón de habitantes	60
Anexo 2: Resultados: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores por millón de habitantes	61
Anexo 3: Holgura: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores por millón de habitantes.....	63
Anexo 4: Datos: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores en valor bruto.....	64
Anexo 5: Resultados: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores en valor bruto.....	66
Anexo 6: Holgura: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores en valor bruto.....	67
Anexo 7: Holgura modelo 3	68
Anexo 8: Holgura modelo 4	69
Anexo 9: Datos: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y exportaciones e índice de desempeño ambiental como salidas	70
Anexo 10: Resultados: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y exportaciones e índice de desempeño ambiental como salidas	71
Anexo 11: Holgura: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y exportaciones e índice de desempeño ambiental como salidas	72
Anexo 12: Datos: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y papers y patentes como salidas	73
Anexo 13: Resultados: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y papers y patentes como salidas	74
Anexo 14: Holgura: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y papers y patentes como salidas	75

Anexo 15: Datos: Modelo que no considera a los países que invierten menos del 0.3% del PIB en I+D.....	76
Anexo 16: Resultados: Modelo que no considera a los países que invierten menos del 0.3% del PIB en I+D.....	77
Anexo 17: Holgura: Modelo que no considera a los países que invierten menos del 0.3% del PIB en I+D.....	78

RESUMEN

Esta tesis tiene la intención de definir o determinar la brecha en innovación y tecnología del Ecuador con los demás países del continente, utilizando el análisis envolvente de datos. Para ello, se aborda de manera teórica las definiciones de innovación y tecnología a lo largo de la historia, como una forma de aproximación a la problemática. Posteriormente, se hace un breve repaso a varias de las metodologías empleadas para medir el nivel de innovación y tecnología. A continuación, se explica la metodología del análisis envolvente de datos y se exponen varias ideas sobre las posibles causas de la brecha.

Utilizando lo expuesto anteriormente se construye un modelo que calcula la brecha basado en tres indicadores de entrada y cuatro de salida. Este modelo constituye una primera aproximación que ayuda a una mejor comprensión del problema sobre el cual se puedan tomar decisiones que mejoren la situación actual del Ecuador en el campo de la innovación y la tecnología. Finalmente, se propone varias mejoras al modelo para futuras investigaciones.

Palabras clave: Brecha tecnológica, Innovación, Análisis envolvente de datos

ABSTRACT

This thesis intends to define the gap in innovation and technology between Ecuador and the other countries of the continent, for this purpose, the limitations of innovation and technology throughout history are theoretically addressed as a way of approaching the problematic. Subsequently, a brief review of several methodologies used to measure the level of innovation and technology is made. Next, the methodology of the data envelopment analysis is explained and several ideas about the possible causes of the gap are presented.

Then, a model that calculates the gap based on three input and four output indicators is constructed. This model constitutes a first approach that helps a better understanding of the problem and can be used to make decisions that improve the current situation in Ecuador. Finally, several improvements to the model are proposed for future research.

Keywords: Technological gap, Innovation, Data envelopment analysis

1. INTRODUCCIÓN

La tecnología y la innovación han cobrado mayor significación de manera progresiva con el paso del tiempo, pues constituyen factores decisivos en lo que se refiere a competitividad de las actuales empresas y, por tal razón, deben adaptarse continuamente a las exigencias de la globalización (Mendoza, 2015).

Es por ello que se vuelve necesario el trabajo conjunto de todos los actores que influyen en el desarrollo de la tecnología y la innovación: el Estado, como promotor de políticas de ciencia, tecnología e innovación que fomenten el desarrollo de estas áreas y contribuyan a la creación de una cultura empresarial; las empresas, como generadoras de estrategias eficientes para la competencia global, demandantes de tecnología local e inversionistas en investigación y desarrollo (I&D); las universidades, que aportan con la generación su conocimiento y experiencia en I&D; y, finalmente, los sectores económicos como creadores de redes de colaboración y transferencia tecnológica (Mendoza, 2015).

El Ecuador ha reconocido la importancia de estos factores, tal como lo muestra en su Plan Nacional de Desarrollo para el Buen Vivir 2009-2013. Sin embargo, los datos son desalentadores debido a que el país ocupa uno de los lugares más bajos, comparado con otros países de la región, en cuanto a gasto en I+D¹ como porcentaje del PIB, el número de profesores con doctorados, el coeficiente de inversión o la inversión en infraestructura tecnológica (Aguirre, 2012). En este sentido, surgen dudas sobre qué es lo que debería hacer cada actor para mejorar la situación actual, para lo cual no solo hace falta analizar las políticas o leyes implantadas, sino también tener un marco de referencia que nos ayude a comprender de mejor manera este fenómeno. Es por ello que esta tesis tratará de definir los factores que influyen en el nivel de innovación y tecnología de un país para, posteriormente, plantear un modelo

¹ Investigación y Desarrollo

que nos ayude a entender qué es lo que hace a otros países de la región situarse en una posición más favorable en cuanto a innovación y tecnología.

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las soluciones para resolver los problemas contemporáneos que encaran los gobiernos como: el cambio climático, el abastecimiento energético y el crecimiento económico a largo plazo implican dar cada vez mayor importancia a un elemento tecnológico esencial (Navarro, Zúñiga, & Crespi, 2010). Dentro de este contexto, es indispensable que los países definan políticas públicas que incentiven la innovación y la tecnología para mantener su competitividad. Además, para establecer estas políticas es necesario establecer métodos para medir y comparar la capacidad tecnológica entre países a lo largo del tiempo (Iyer, 2011).

Frente a ello, el concepto de frontera tecnológica, definida como los métodos más eficientes del mundo en un determinado tiempo, nos ayuda a entender a la brecha en innovación y tecnología como la medida de que tan alejado se encuentra un país de esta (Cabero-Tapia, 2009). Además, cabe mencionar que los trabajos que estudian este problema por lo general siguen dos aproximaciones. La primera se basa en la comparación de indicadores que recogen las estadísticas sobre innovación y tecnología, como pueden ser la cantidad de artículos científicos publicados en revistas con prestigio o el número de patentes producidas. La segunda se basa en el modelamiento utilizando variables de entrada y salida, como el análisis envolvente de datos o los modelos econométricos (Iyer, 2011).

Actualmente, el Ecuador no cuenta con un modelo que le permita compararse con otros países en cuanto se refiere a la innovación y la tecnología. Por tanto, se desconoce cuál es el estado actual en esta materia, lo que a su vez dificulta el proceso de establecer políticas eficaces para mejorar la condición del país en este ámbito.

Por lo antes expuesto, se vuelve necesario establecer un modelo de comparación de la brecha tecnológica entre países de Latinoamérica con el propósito de definir las variables que inciden en esta. Esto le ofrecerá a Ecuador un marco de referencia para

definir el rumbo que deben tomar todos los actores que influyen en la innovación y la tecnología para mejorar las condiciones competitivas del país.

1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Existe una brecha en innovación y tecnología en el Ecuador con respecto a otros países del continente?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Determinar la brecha en innovación y tecnología en el Ecuador, en comparación con otros países del continente, utilizando el análisis envolvente de datos.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las variables que inciden en el nivel de desarrollo de la innovación y la tecnología de un país y definir cuales se incluirán en el modelo propuesto.
- Establecer la brecha en innovación y tecnología del Ecuador con relación a los otros países evaluados, usando el modelo planteado.
- Formular hipótesis sobre las posibles causas de la brecha en innovación y tecnología del Ecuador.

1.5. HIPÓTESIS

No aplica una hipótesis debido a que es un tema poco investigado y por tanto no existe una base teórica sólida para elaborar conjeturas.

1.6. MARCO TEÓRICO

1.6.1. INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

De manera simple se entiende a la innovación como la introducción en el mercado de algo nuevo o que ha sido mejorado. Bajo esta definición se plantean cuatro tipos de innovación según su enfoque: la primera de ellas es la innovación de producto, entendida como un bien o servicio nuevo o que ha sido mejorado de manera significativa en sus especificaciones técnicas, componentes o características funcionales; la segunda es la innovación de proceso, ya sea de distribución o de producción, por medio de la utilización de nuevos materiales o técnicas; la tercera es la innovación de mercadotecnia, que se ve representada en nuevos métodos de comercialización por medio de cambios en el empaquetado, la promoción o en el posicionamiento de marca; finalmente, está la innovación organizativa en las prácticas, la ubicación del mobiliario en el área de trabajo o en las relaciones exteriores (OECD, 2018).

Cabe señalar que los tipos mencionados anteriormente por la OECD² también pueden ser clasificados en categorías dependiendo de la forma de su aplicación. Estas determinan o producen diferentes efectos en la competitividad. Existen tres categorías:

- **Disruptiva:** Se refiere a la introducción de un nuevo producto o servicio que desplaza a los competidores gracias a su bajo precio, facilidad de uso o su conveniencia. Ejemplos de esta categoría son los teléfonos celulares, los

² Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

lectores de libros electrónicos o la cadena logística de Amazon (Markides, 2006).

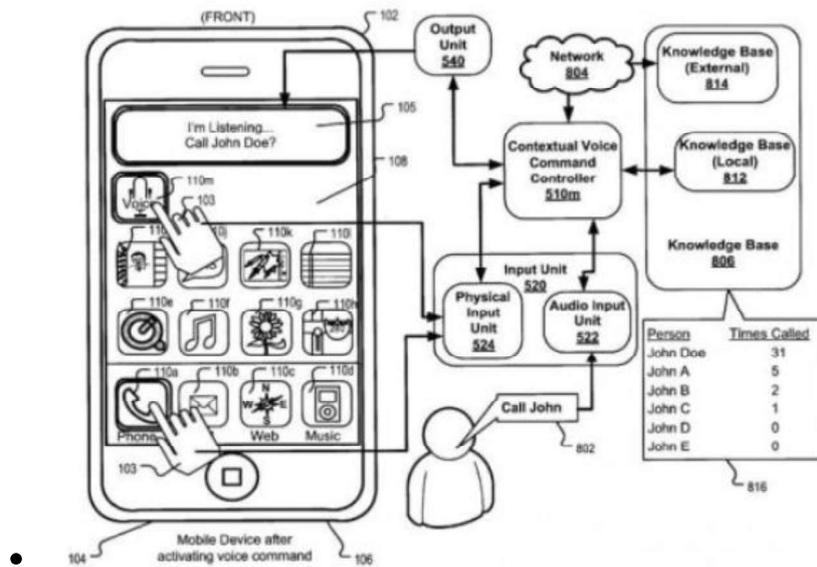


Figura 1: Ejemplo de innovación disruptiva "Patente de un celular"
Fuente: Oficina de patentes y comercio de Estados Unidos

- **Incremental:** Se refiere a innovaciones que se introducen a productos, servicios o procesos de manera sostenida.



Figura 2: Ejemplo de innovación incremental "Evolución cámaras fotográficas de la empresa Nikon"
Fuente: Museo Nikon

- **Lateral:** Se refiere a las innovaciones que nacen de las aplicaciones prácticas y tecnológicas de una industria en otra.

Por otra parte, la tecnología se refiere a un conjunto de teorías y técnicas que ayudan a que se aproveche de manera práctica el conocimiento científico o a su vez se puede entender como un conjunto de instrumentos y procedimientos industriales de un producto o sector (Gonzales, Arnold, Castro, & Verdugo, 2013).

De la relación existente entre estos términos surge lo que se conoce como innovación tecnológica. Esto se refiere a un proceso creativo que mediante actividades, actores y relaciones obtiene como resultado productos o procesos tecnológicos. Los estudios relacionados con este proceso han identificado seis modelos (Marinova & Phillimore, 2003).

- **La caja negra:** En este modelo se veía a la innovación como un proceso sin importancia de estudio para la economía. De esta manera, solo importaban los *inputs*³ y *outputs*⁴ obtenidos. Por ejemplo, la inversión en I+D (*input*) generará nuevos productos basados en tecnología (*outputs*), pero no se considerará necesario analizar los mecanismos de transformación ya que se prioriza la independencia científica. En este modelo se tenía la creencia de que solo bastaba asignar recursos y darles espacio a los científicos para que utilicen sus propios métodos para que se generen innovaciones tecnológicas.
- **Modelos lineales:** En este periodo, comprendido entre 1960 y 1970, se entiende a la innovación como un proceso secuencial en el que se ha de seguir ciertos pasos. Dentro de este modelo se reconocen dos variantes. La primera se denomina como *science push*⁵ y plantea que el estudio de las ciencias básicas conducirá de manera eventual al desarrollo de nuevas tecnologías que servirán para la producción de nuevos productos que se ofertarán en el mercado, tal como se muestra en la Figura 1. En contraste, también está el

³ Entradas

⁴ Salidas

⁵ Impulsados por la ciencia

modelo *Market-Driven*⁶, que considera que son las demandas del mercado las que causan las innovaciones tecnológicas, como se muestra en la Figura 2.

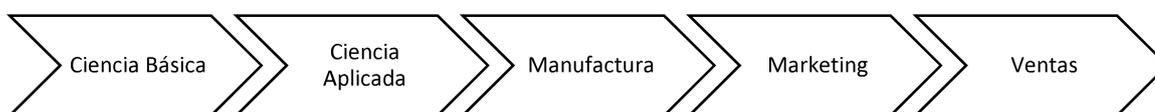


Figura 3: Modelo *Science push*
(Marinova y Phillimore, 2003)



Figura 4: Modelo *Market-Driven*
(Marinova y Phillimore, 2003)

- **Modelos interactivos:** A pesar de que los modelos lineales se utilizaron exitosamente para explicar la introducción de nuevas tecnologías, también presentaban varios casos de fallas debido a su simplicidad. La secuencia en el proceso de innovación se empezó a cuestionar de modo que fue cambiada por la subdivisión de los procesos existentes en etapas que interactuaban entre sí. Es aquí cuando se reconoce a la innovación como una compleja red de comunicaciones tanto internas como externas a la organización, que relacionaban a las funciones internas de la empresa con el mercado y la comunidad científica (Marinova & Phillimore, 2003).
- **Modelos de sistemas:** Estos modelos no solo entienden a la innovación como una compleja red de actores, sino que también enfatizan en la necesidad de cooperación entre empresas. Es por esta razón que se ve a la innovación como un sistema que destaca la interacción, sinergias e interconexión. Algo que cabe destacar es que las empresas que no pueden desarrollar internamente innovaciones pueden obtener beneficio de establecer relaciones con otras empresas. Esto da como resultado que el costo y el tiempo de innovación se reduzcan, se transfiera conocimiento y habilidades entre todos los

⁶ Impulsado por el mercado

participantes, entre otros beneficios (Marinova & Phillimore, 2003). Además de lo anteriormente mencionado, este modelo ayuda a entender el rol de la pequeña empresa y las estrategias que pueden utilizar para competir en el mercado.

- **Modelos evolutivos:** Esta perspectiva habla de que la innovación implica cambio, y que este cambio responde a un contexto histórico, relaciones entre los consumidores y las empresas y las convenciones sociales (Marinova & Phillimore, 2003). Este tipo de modelos se basan en metáforas darwinianas respecto a la evolución, es así como a las innovaciones se las percibe como mutaciones que incrementan la variedad de productos, formas y procesos, o se explica la supervivencia de los productos tomando en cuenta su adaptación al ecosistema en el que circulan, por mencionar unos ejemplos.
- **Ambientes innovadores:** Esta aproximación destaca la importancia de la localización geográfica para la generación de conocimiento, ya que menciona que la innovación es un fenómeno que requiere de recursos específicos que solo se dan en ciertos sectores geográficos y que no se pueden reproducir en cualquier lugar. Ejemplos de estos recursos son los sistemas productivos, los diferentes actores socioeconómicos de cada territorio y sus instituciones privadas y públicas que promueven la innovación, la cultura o los procesos de aprendizaje colectivos locales (Marinova & Phillimore, 2003). Se reconoce que las interacciones que fomentan la creación de un medioambiente innovador no solo responden a los mecanismos del mercado, sino que consideran intercambio de bienes, información, servicios, ideas y personas.

En cada uno de los modelos presentados se entiende que la innovación y tecnología son pilares fundamentales en la competitividad de las empresas y, en consecuencia, de los países. Es por esta razón que su desarrollo no solo depende del sector privado, sino que es responsabilidad de los Estados plantear políticas que canalicen los esfuerzos de todos los actores con el fin de ser eficientes. Además, cabe señalar que las perspectivas de los modelos nos ayudan a entender al proceso de la innovación desde varios puntos de vista que no son excluyentes, al menos las aproximaciones más modernas. De este modo un Estado puede tomar varios caminos en busca del desarrollo de la innovación.

1.6.2. LA MEDICIÓN DE LA INNOVACIÓN Y DE LA BRECHA TECNOLÓGICA

Debido a la gran cantidad de aproximaciones de lo que se entiende como innovación y su proceso, han existido a lo largo de la historia diversos métodos que han tratado de medir la innovación de un país, determinar su nivel de desarrollo y realizar un seguimiento de su evolución con el objetivo de plantear las estrategias más adecuadas para aumentar la competitividad.

Uno de los primeros planteamientos para medir la innovación se dio en los años setenta del siglo pasado, mismo que se basaba principalmente en indicadores como inversiones en I+D y patentes de las compañías. Sin embargo, este método no duro mucho, ya que se entendió que al tomar en cuenta solo esos indicadores no se media al proceso de innovación, sino a la invención u oferta de conocimientos (Albornoz, 2009). Esta primera aproximación está basada en el modelo de caja negra, al estar mayormente enfocada a resultados más que a procesos.

Luego, por el año de 1976, fue ideado un método para medir las actividades de innovación por parte de las empresas. Keith Pavitt propuso que estas se podían medir determinando en porcentaje los recursos destinados a las actividades innovadoras y preguntando a las empresas cuál era la cantidad de productos y procesos que estas habían introducido (Albornoz, 2009).

En 1992 con la asesoría de Keith Pavitt se creó el Manual de Oslo por parte de la OCDE. Este manual ayudaba a determinar las fuentes y barreras que tiene el proceso de innovación, así como los cambios en las actividades empresariales, la naturaleza y tipos de innovación (Albornoz, 2009). Una consideración que se hace es que, al ser un proceso continuo, se debe medir sobre determinados periodos con sus consideraciones propias. Además, las inversiones por parte de las empresas no tienen resultados inmediatos por lo que se deben medir a largo plazo. Este manual propuso tres clases de indicadores:

- **De impacto:** Se miden considerando los productos introducidos y vendidos en los últimos tres años, por la participación de mercado y por el cambio en los factores productivos como mano de obra, energía, capital y materia prima.

- **De difusión:** Se miden considerando la percepción del usuario y el cambio de tecnologías en el proceso productivo.
- **Referente a costos y gastos:** Se miden considerando los costos y gastos destinados a las actividades de innovación.

Tomando en cuenta este manual, otros países han desarrollado sus propios manuales para medir la innovación. Un ejemplo conocido es el Manual de Bogotá, que con la base conceptual y metodológica de la OCDE y bajo la necesidad de considerar las especificidades que poseen los procesos de innovación en América Latina y el Caribe, propone indicadores en diez aspectos principales (Jaramillo, Lugones, & Salazar, 2000). Estos son:

1. Identificación de la empresa.
2. Desempeño económico.
3. Actividades de innovación.
4. Resultados de innovación.
5. Objetivos de la innovación
6. Fuentes de información para la innovación.
7. Financiamiento de la innovación.
8. Relaciones con el sistema nacional de innovación.
9. Factores que afectan la innovación.
10. Evaluación de políticas gubernamentales en materia de innovación, ciencia y tecnología y competitividad.

Tomando en cuenta estos aspectos, este manual busca medir las capacidades tecnológicas y de innovación, el proceso social e interactivo de la innovación, las fuentes externas e internas de la innovación, las innovaciones organizacionales, la capacitación y la gestión de calidad y ambiental (Jaramillo et al., 2000).

Otra metodología de medición de la innovación y la tecnología fue propuesta por la Universidad de Zaragoza en España, que fue denominada como “Situación y Adecuación Tecnológica TASI”. Esta surgió como una adaptación de las condiciones tecnológicas españolas y la experiencia y conocimientos académicos e industriales

de la Universidad de Zaragoza (Torres, Arzola, & Laboreo, 2008). Propone la medición de los siguientes indicadores:

- DI: Inversión en investigación, desarrollo e innovación.
- AN: Utilización de los sistemas de información, control e internet.
- IP: Relación con clientes y proveedores.
- IH: Información de recursos humanos.
- G: Sistemas de conformación geométrica.
- SQ: Sistemas de calidad de las empresas.
- SO: Gestión de la unidad de ingeniería de producto y operativa.
- AL1: Desarrollo de tecnología y propiedad industrial.
- AL2: Actividades de innovación.
- OL1: Gestión del conocimiento.
- OL2: Gestión de la innovación tecnológica.
- PX: Destino geográfico de los productos exportados.

Por medio de estos indicadores se obtiene el índice TASI2 que es un número entre 0 y 100, cuyo criterio de evaluación escala el nivel tecnológico como malo, deficiente, aceptable y bueno cada 25 puntos.

Uno de los métodos más actuales es medir la eficiencia en innovación y tecnología en base al criterio de la frontera tecnológica, definida como los métodos más eficientes del mundo en un determinado tiempo. Este nos ayuda a entender la brecha en innovación y tecnología como la medida de que tan alejado se encuentra un país de esta frontera (Cabero-Tapia, 2009).

Esta metodología permite contrastar la manera en que se están usando los factores productivos. Las técnicas no paramétricas como el análisis envolvente de datos ayudan a entender este fenómeno en términos de eficiencia y comparación, ya que muestra quienes son los países que mejor utilizan sus factores y como estos influyen en la productividad (Becerril, Díaz, y Del Moral, 2013). Es utilizando este modelo que en la Universidad Politécnica de Lappeenranta de Finlandia desarrolló una forma de medir la efectividad y el impacto de las políticas de innovación regionales en Europa. Este trabajo considera que en el fenómeno de la innovación están involucrados seis

atributos como *inputs* y seis como *outputs*. Cada uno de estos atributos está representado por una variable cuantificable (Kutvonen, 2007). A continuación, se muestran los atributos con sus respectivas variables:

Inputs:

- Fondos públicos: gasto público per cápita.
- Educación: porcentaje de la población con educación superior
- Capacidad de investigación: total del personal de I+D en la región como porcentaje de la población activa.
- *Clusters*⁷ colaborativos: número de *clusters* identificados.
- Suministro de mano de obra competente: participación de adultos de 25 a 64 años en educación y formación, como porcentaje del total de la población.
- Apoyo político: porcentaje de financiamiento público utilizado para el desarrollo regional.

Outputs:

- Competitividad regional: tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto por habitante.
- Bienestar socioeconómico: Producto Interno Bruto regional por habitante.
- Atractividad regional: inversión privada y pública per cápita en la región.
- Nuevos conocimientos: patentes aplicadas a la Oficina Europea de Patentes por millón de habitantes.
- Crecimiento de negocios: tasa de crecimiento del empleo regional (%).
- Crecimiento regional: tasa media anual de crecimiento de la población (%).

En el caso de Ecuador no existe un manual que determine una metodología para este propósito. Sin embargo, existen algunas propuestas. Una de ellas es la realizada por el Departamento de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas de la Universidad de Cuenca para medir la innovación en la industria manufacturera. Esta se basa en índices de gasto y desempeño como el gasto en I+D

⁷ Grupo de empresas interrelacionadas que trabajan en un mismo sector industrial y que colaboran estratégicamente para obtener beneficios comunes.

por tipo de investigación, por sector de financiamiento o por objetivo socioeconómico. Además, considera el número de investigadores, becarios de doctorado en I+D, entre otros criterios (Morales & Vásquez, 2014). De acuerdo a los datos de la RICYT⁸ en el año 2008 se muestra, según el criterio del gasto por tipo de investigación, que en el Ecuador la investigación aplicada fue el 60.41% del total de gasto en investigación, seguido de la investigación básica con 31.27% y, finalmente, solo se destinó 8.32% al desarrollo experimental. La mayor fuente de financiamiento fue el gobierno con un 75.76% del total y las tres principales actividades por objetivo socioeconómico fueron: la producción de tecnología agrícola, con un 25.52% del total de gasto en investigación; el control y protección del medio ambiente, con un 14.07%; y la producción y tecnología industrial, con un 12.83%.

Debido a que no existe un consenso general para la definición de brecha en innovación y tecnología, en este trabajo de investigación se utilizará la definición propuesta por Tapia, la cual será calculada por medio del análisis envolvente de datos.

1.6.3. ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS

La metodología del Análisis Envolvente de Datos, o comúnmente conocida como DEA (Data Envelopment Analysis), surge como una herramienta con fines de investigación, se basa en los trabajos de Rhodes y Farrell y ha probado ser bastante útil en un diverso campo de aplicaciones para administrar, examinar y mejorar la eficiencia (Kutvonen, 2007).

Fundamentalmente, DEA es una técnica de programación matemática que ayuda a la creación de una frontera eficiente tomando como base los datos del total de unidades que serán su objeto de estudio. De esta manera, las unidades que formen parte de esta frontera serán llamadas unidades eficientes y aquellas que no serán unidades ineficientes. Este método permite la valoración de la eficiencia relativa de las unidades objeto de estudio (Coll & Blasco, 2000).

⁸ Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e Interamericana

Las unidades por examinar utilizando esta técnica son las DMU (*Decision Making Units*), que pueden ser personas, organizaciones o países. Cada DMU consume una cantidad X de entradas para producir Y salidas. Lo que se busca es resolver un problema de optimización en el cual se pretende maximizar la razón de las salidas respecto a sus entradas (Restrepo & Villegas, 2007).

Una vez resuelto el problema de optimización se conocerá la eficiencia de cada DMU, la cual será igual a 1 en caso de ser la más eficiente y menor a 1 si no es eficiente. Además, cabe considerar que cuanto mayor sea la distancia a 1 más ineficiente será el DMU (Murias Fernández, Martínez Roget, & Rodríguez González, 2008).

La eficiencia puede ser medida en relación con dos orientaciones fundamentales. Esto genera que existan modelos:

- Input Orientados: Se busca, dado un nivel de *outputs*, la mayor disminución proporcional en los *inputs* mientras se permanece en la frontera eficiente.
- Output Orientados: Se busca, dado un nivel de *inputs*, el mayor incremento proporcional de los *outputs* mientras se permanece en la frontera eficiente.

Es así que una DMU será denominada eficiente si y solo si no se puede ni aumentar las cantidades de *outputs* mientras se mantienen fijas las cantidades de *inputs*, ni es posible reducir la cantidad de *inputs* sin cambiar las cantidades obtenidas de *outputs* (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1981).

La utilización de esta técnica cuenta con varias ventajas. Una de ellas es la capacidad que tiene de ajustarse a situaciones en las cuales existen varios *inputs* y *outputs* que están expresados en diferentes unidades de medida. Además de ello, al comparar a las unidades ineficientes con las eficientes, DEA permite una mejor identificación de las posibles causas de la ineficiencia, lo que permite establecer estrategias o planes para las unidades ineficientes (Coll & Blasco, 2000).

A pesar de sus ventajas también cuenta con ciertas desventajas. DEA no toma en consideración las influencias sobre el proceso de carácter aleatorio e imposibles de controlar. Es decir, la incertidumbre. Como consecuencia de ello la precisión de los resultados obtenidos dependerá de la precisión de las medidas de los *inputs* y *outputs* escogidos. Es por esta razón que algunos autores afirman que DEA ofrece mejores

resultados cuando el número de observaciones es el doble de la cantidad de *inputs* y *outputs*. Sin embargo, esto es solo una recomendación (Coll & Blasco, 2000).

El punto de partida para utilizar DEA es el modelo Charnes, Cooper y Rhodes, comúnmente conocido como CCR. Una de sus principales propiedades es que la frontera de eficiencia y los pesos son asignados de manera empírica a partir de los datos, lo cual conlleva a varias implicaciones. La principal de ellas es que elimina la necesidad de consultar a un experto para asignar pesos significativos a cada variable (Kuosmanen, Cherchye, & Sipiläinen, 2006).

Representado de manera matemática el modelo CCR busca resolver el modelo de programación lineal maximizando los *outputs*, de la forma que se muestra a continuación (Cooper, Seiford, & Tone, 2006):

$$\begin{array}{ll}
 \text{maximizar} & \theta = \sum_{r=1}^s U_r Y_{ro} \\
 \text{sujeto a} & \sum_{i=1}^m V_i X_{io} = 1 \\
 & \sum_{r=1}^s U_s Y_{sj} - \sum_{i=1}^m V_m X_{mj} \leq 0 \\
 & (j = 1, \dots, n) \\
 & V_1, V_2, \dots, V_3 \geq 0 \\
 & U_1, U_2, \dots, U_3 \geq 0
 \end{array} \quad (1)$$

Dónde:

θ = suma de *outputs* virtuales.

X_{ij} = cantidad de *inputs* i usadas en el DMU j.

Y_{sj} = cantidad de *outputs* r producidos por el DMU j.

V_i = peso del *input* i.

U_r = peso del *output* r.

n = número de DMUs.

El subíndice o se refiere a los DMU cuya eficiencia está siendo calculada.

Este modelo se resuelve una n cantidad de veces para determinar la eficiencia relativa de cada DMU. Además, cabe señalar que este es el modelo DEA más básico.

El modelo CCR también suele ser llamado CRS debido a que asume rendimientos constantes a escala (*Constant Returns to Scale*). Esto quiere decir que los *outputs* crecen guardando una directa relación al incremento de los *inputs*.

Para ilustrar el funcionamiento del modelo CCR, a continuación se muestra un ejemplo utilizado en (Savolainen, 2007), que plantea DMUs como tiendas minoristas de una misma cadena, en la cual los empleados y el área del local son los *inputs*, mientras que los *outputs* son las ventas de cada local. Los datos se muestran a continuación:

Tabla 1: Datos de ejemplo

Tienda		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Empleados (10)	x1	8	18	8	16	10	10	18	22	18
Área del suelo (1000m2)	x2	6	9	1	8	20	4	12	10	8
Ventas	y1	2	3	1	4	5	2	3	4	3

Modificado de (Savolainen, 2007).

Bajo el precepto de rendimientos constantes a escala las ventas deben ser normalizadas a 1, como se muestra en la Tabla 2. Esto además permitirá representar de manera gráfica el modelo DEA. Cabe señalar que solo se puede graficar la solución cuando hay un total de tres o menos *inputs* y *outputs*.

Tabla 2: Datos de ejemplo normalizados

Tienda		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Empleados (10)	x1	4	6	8	4	2	5	6	6	6
Área del suelo (1000m2)	x2	3	3	1	2	4	2	4	3	3
Ventas	y1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Modificado de (Savolainen, 2007)

Una vez obtenidos los datos normalizados se puede obtener el gráfico, tal como se muestra a continuación:

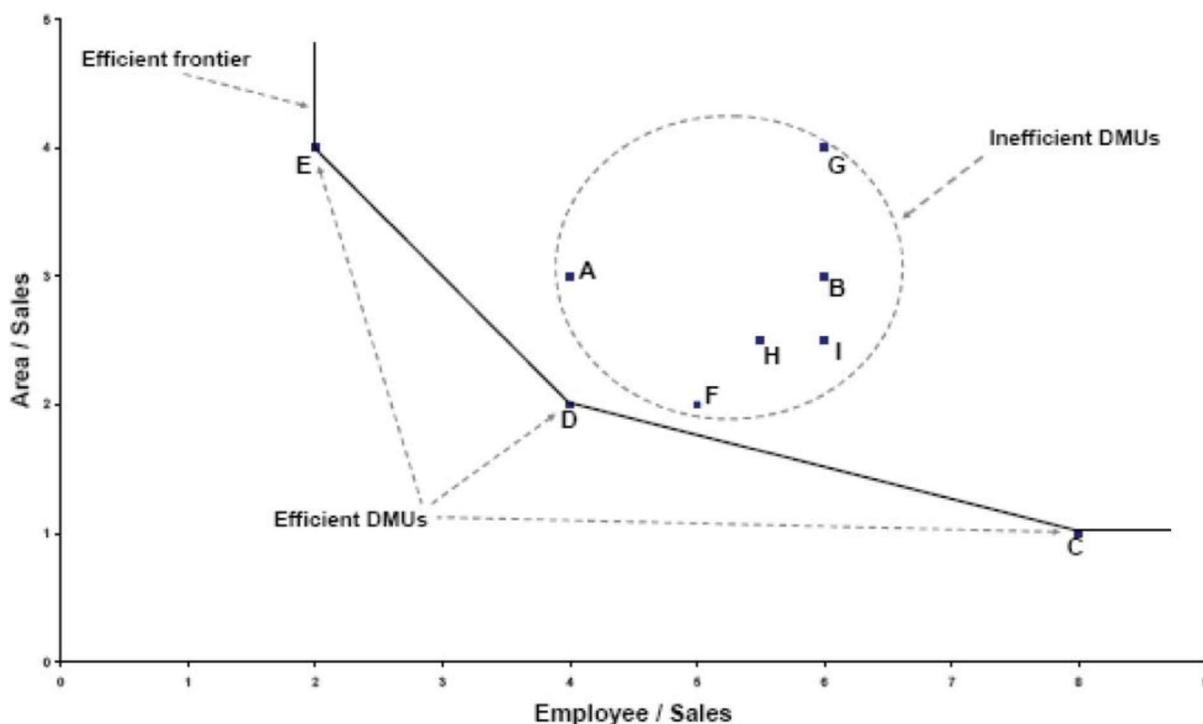


Figura 5: Representación gráfica de los datos normalizados. (Savolainen, 2007).

En la figura 3 se utiliza x_1 y x_2 divididos para y_1 como ejes. A partir de ello se determina cuales DMUs son las más eficientes. En este caso C, D y E al emplear menos *inputs* para generar un *output* de manera que al conectar estos puntos se obtiene la frontera de eficiencia del modelo. Cualquier DMU que no conecte con la frontera se considera ineficiente. Además, se puede determinar que existe una brecha de eficiencia en medida de que tan alejada se encuentra una DMU de la frontera. Bajo este modelo mejorar la eficiencia de una DMU requeriría que se disminuya el número de empleados (ubicándola más hacia la izquierda) o el área (ubicándola más hacia abajo) o produciendo más *outputs* con los mismos *inputs* (Savolainen, 2007).

A pesar de la utilidad de este modelo no siempre se puede asumir rendimientos constantes a escala. Cuando nos encontramos en situaciones así es necesario emplear rendimientos variables a escala, conocido por sus siglas en inglés como

VRS⁹. Un caso que requiere esta aproximación puede ser cuando la inversión para realizar una operación es lo suficientemente grande para ser tomada en cuenta. Es por estas razones que, en 1984, Banker, Charnes y Cooper idearon un modelo que contemple VRS, el cual fue denominado modelo CCR. Matemáticamente este modelo de programación lineal se representa así (Bowlin, 1998):

$$\begin{aligned}
 & \text{maximizar} && \sum_{r=1}^s U_r Y_{ro} - U_0 \\
 & \text{sujeto a} && \sum_{i=1}^m V_i X_{io} = 1 \\
 & && \sum_{r=1}^s U_r Y_{rj} - \sum_{i=1}^m V_i X_{ij} - U_0 \leq 0 \\
 & && -U_r \leq -\epsilon \\
 & && -V_i \leq -\epsilon
 \end{aligned} \tag{2}$$

En este modelo U_0 representa las posibilidades de los rendimientos a escala, si es menor a cero implica rendimientos crecientes a escala, si es igual a cero rendimientos constantes a escala y si es mayor a cero rendimientos decrecientes a escala (Bowlin, 1998). Esta aproximación es más flexible que el anterior modelo. Como regla general los puntajes de eficiencia de los modelos CCR nunca superan a los de BCC, aunque generalmente sucede lo contrario. Se puede explicar esto de manera gráfica en la figura 4. Aquí se muestra la existencia de más DMUs eficientes al igual que puntajes más altos para DMUs ineficientes. Esto ocurre debido a la convexidad de la frontera de eficiencia cuando existe VRS. La diferencia con los modelos CCR es que la brecha de las DMUs ineficientes se acorta o permanece igual. El modelo VRS aporta información valiosa sobre las eficiencias de escala. Si una DMU tiene rendimientos crecientes (como A y B de la figura 4) un incremento en los *inputs* proporcionará un aumento proporcionalmente superior en los *outputs*, y en el caso de rendimientos decrecientes (como D, E y F de la figura 4) el aumento de los *outputs* será proporcionalmente menor al aumento en los *inputs*. Cabe considerar que todas las unidades eficientes en VRS tienen rendimientos constantes a escala (Kutvonen, 2007).

⁹ *Variable return to scale*

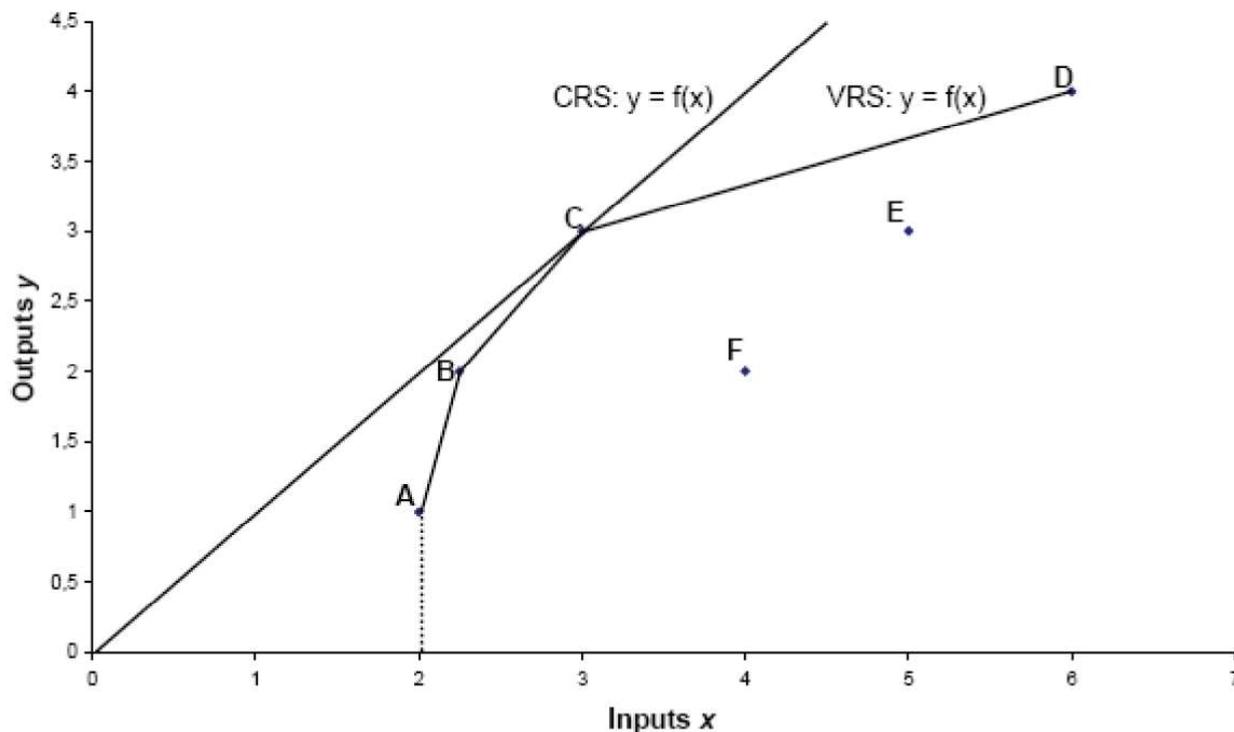


Figura 6: Ejemplo VRS con un *input* y un *output*.
(Savolainen, 2007)

Los rendimientos variables a escala parecen más adecuados para este estudio, ya que no existe una manera de justificar rendimientos constantes a escala en el fenómeno de la innovación. Esto es así ya que, por ejemplo, un aumento en las inversiones de infraestructura tecnológica o en las capacidades de innovación no garantizan un aumento proporcional en las salidas.

1.6.4. CAUSAS DE LA BRECHA EN INNOVACIÓN Y TECNOLOGÍA

Las causas de la falta de desarrollo en innovación y tecnología en Latinoamérica han sido caso de estudio de varios autores a lo largo del tiempo. Existen diferentes opiniones y, a pesar de que unas han tenido mayor aceptación que otras, no se puede afirmar que existan causas generalmente aceptadas o tampoco saber cuáles han tenido mayor repercusión. A continuación, se presenta un breve repaso de algunas de ellas.

Una de las teorías sostiene que en América Latina no existe un sistema de relaciones entre gobierno, sector productivo e infraestructura científico-tecnológica, llamado triángulo de Sábato o de relaciones, y que además de ello tampoco se tiene conocimiento de la necesidad de instaurarlo. Como consecuencia de ello se produce, entre otras cosas, lo que se conoce como fuga de cerebros. Pues, en un poco desarrollado triángulo de relaciones, los científicos tienden a vincularse con los triángulos extranjeros, por lo cual debido a la falta de incentivos en su país de origen, la mano de obra altamente cualificada opta por integrarse dentro de triángulos de países desarrollados (Botana & Sábato, 1970). Estos autores también afirman que dentro del sector público se encuentra la oportunidad de industrialización, ya que los sectores estratégicos en Latinoamérica son generalmente controlados por el Estado, de modo que un posible punto de partida es la implantación de pequeños triángulos de relaciones fomentados por el sector público y posteriormente realizar esfuerzos para establecer estos en el sector privado.

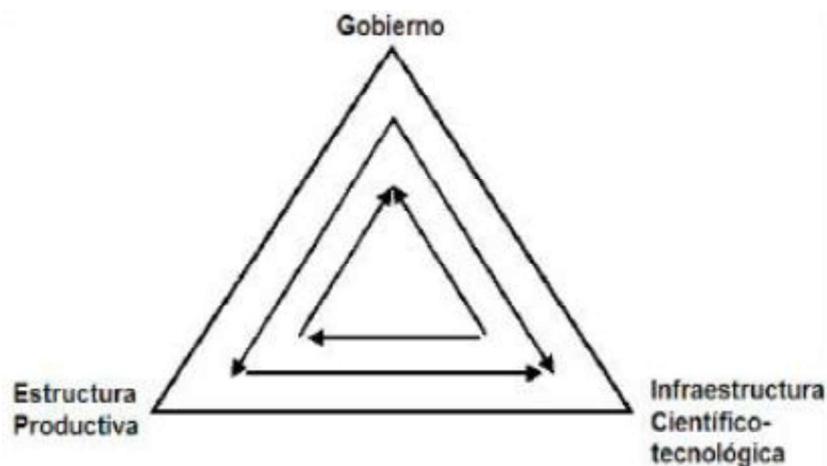


Figura 7: Triángulo de Sábato
(Botana & Sábato, 1970)

Otra teoría afirma que la situación de subdesarrollo es consecuencia de la existencia de sociedades de periferia y sociedades centrales. Este enfoque es mayormente histórico y se basa en las relaciones que tienen los países en situaciones de subdesarrollo con los económica y políticamente hegemónicos. Es decir, el fenómeno del subdesarrollo surge históricamente el momento en el que el capitalismo empieza a expandirse y se reforzó el momento en el que el capitalismo industrial situó a las economías con un determinado rol en la estructura económica global en cuanto a la producción y distribución (Cardoso & Faletto, 1996). Dentro de esta articulación global

se depende de la situación de desarrollo y subdesarrollo como forma de dominación para la cual necesariamente se debe hacer la distinción entre sociedades productoras de bienes industriales y sociedades consumidoras de estos y productoras de bienes primarios.

Otro autor afirma que el atraso científico en Latinoamérica no solo es el reflejo de una carencia y por tanto no basta con la ayuda externa, sino con un cambio de la estructura económica y social. En este contexto este autor refuta las explicaciones que enuncian algunos factores que se considera como causantes de este atraso. Estos se clasifican en culturales, relacionados con el sistema de producción e institucionales (Herrera, 1995). Los culturales se entienden, por un lado, como el conjunto de usos, valores y costumbres y, por otro lado, como el nivel de educación en general. Es así que se pueden distinguir dos tipos de sociedades las cuales se denominan como “sociedades modernas de occidente” y “sociedades tradicionales”, la diferencia entre una y otra es que la primera entiende al cambio como una necesidad esencial y a su vez ve en la ciencia y la tecnología la forma de llegar a ese cambio, mientras que las segundas prefieren mantener sus tradiciones y tienen cierta aversión al cambio. Respecto a la segunda definición de cultura se sostiene que existe pobreza y escasez en cuanto a recursos humanos en las sociedades en situación de subdesarrollo (Herrera, 1995). Respecto a las características de producción se sostiene que una característica de los países subdesarrollados es que su estructura productiva esta fundamentalmente basada en el sector agrícola y constituido en gran parte por talleres artesanales y fábricas pequeñas. Entre los obstáculos institucionales se encuentran los defectos en la organización, la carencia de medios, ineficiencia de organismos públicos o privados que están relacionados con la elaboración e implantación de la política científica (Herrera, 1995). En contraposición, este autor hace énfasis en la importancia de la política científica explícita e implícita. La primera es la considerada como oficial y se encuentra en las leyes, estatutos y reglamentos de los entes encargados de la planificación de la ciencia. La segunda se considera como la determinante del papel de la ciencia de una sociedad, de modo que esta se encuentra expresada en la demanda del proyecto nacional de un país impuesta por los poderes económicos y políticos (Herrera, 1995) De manera simplificada se podría afirmar que la política explícita es la política planificada o “que se dice”, mientras que la política implícita es “la que se hace” y que en América Latina existe una

contradicción o incongruencia entre ellas, lo cual explica la falta de desarrollo científico tecnológico

Finalmente, se debe considerar que no todas las causas que han sido reconocidas se pueden medir debido a su propia naturaleza. Es por ello que, en esta investigación, solo se concluirá supuestos respecto a las causas de la brecha en innovación y tecnología en base a los resultados de esta y la interpretación de esos resultados.

1.6.5. POLÍTICAS DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN EN AMÉRICA LATINA

América Latina empezó a dar importancia a las políticas científico-tecnológicas pocos años después de que las naciones industrializadas lo hicieran. A pesar de ello siempre ha existido una problemática en la aplicación de estas en la región.

Luego de la segunda guerra mundial empezaron varios programas de reconstrucción por parte de los países que participaron en ella y de organizaciones internacionales recién creadas para el efecto. Poco a poco se recuperó el comercio internacional, pero América Latina no se beneficiaba de esos intercambios.

Ante ello, para América Latina se instauró la problemática del desarrollo como prioritaria de la agenda internacional. Es debido a ello que fue creada la CEPAL¹⁰, como un organismo que se especializaría en economía latinoamericana. Además, se reconoció al desarrollo como la prioridad estratégica más importante de la región (Albornoz, 2001).

Varios economistas vinculados a la CEPAL como Prebisch, Nurkse y Hirschman plantearon que la solución para alcanzar el desarrollo sería la implantación de políticas que promovieran la industrialización por sustitución de importaciones mediante un rol activo del Estado. A pesar de los esfuerzos que se realizaron la realidad económica de América Latina hizo que ese proceso de industrialización se

¹⁰ Comisión Económica para América Latina y El Caribe

alimentara de tecnología transferida, mientras que no se tomaba atención del aprendizaje o las fases de adaptación a las condiciones del mercado (Albornoz, 2001). Es decir, se basaba solamente en la obtención de tecnología sin considerar las condiciones o necesidades específicas de cada país latinoamericano.

Al cabo de varias décadas el modelo de sustitución de importaciones no pudo resolver el problema del desarrollo y debido a la crisis de la década de 1980 creció la desconfianza en las políticas de desarrollo endógeno, siendo sustituidas por políticas de ajuste, apertura a las economías y estabilización.

Las políticas científico-tecnológicas como instrumento de desarrollo, a pesar de haber tenido gran importancia como objeto de estudio académico, no pueden ser consideradas como un éxito en esta década. Varios estudios realizados señalan que las razones de ello fueron aspectos que acentuaron los elementos negativos de la perspectiva fundamentada en la oferta. Por ejemplo, la escasa demanda de conocimiento científico por parte del sector privado y los débiles vínculos entre el estado, sector productivo y comunidad científica (Dagnino & Thomas, 1999).

Las políticas relacionadas con la innovación empezaron a tomar importancia en la década de 1990. Para América Latina esto consistía en un proceso de importación de modelos institucionales de otros países. El principal problema derivado de esta translación acrítica de los modelos de innovación fue que en América Latina escaseaban los empresarios innovadores lo que condujo a autores como Jorge Sábato a pensar que los únicos capaces de mover la dinámica entre el estado, sector productivo y sociedad eran las empresas públicas (Albornoz, 2009).

A raíz de lo anteriormente planteado, los modelos de “Sistemas Nacionales de Innovación” ayudaron a que se cree un sesgo en el cual las políticas de innovación de Latinoamérica se enfocaran en dar mayor protagonismo a universidades e instituciones públicas de I+D. Las altas expectativas respecto a las TIC¹¹ hicieron que los esfuerzos de la innovación se enfocaran en campos como la nanotecnología y

¹¹ Tecnologías de la Información y Comunicación

biotecnología, los cuales requería capacidades científicas y productivas que no poseía Latinoamérica (Albornoz, 2001).

Estos intentos de aplicar políticas de innovación sin tomar en cuenta el contexto de los países latinoamericanos produjo que estas fueran ineficientes, resultado de ello es que hay pocas innovaciones disruptivas en América Latina. Además de que las empresas más innovadoras se encuentran en sectores productivos poco vinculados con I+D.

Otro problema que mencionan varios autores es que, si bien la innovación está profundamente relacionada con la competitividad para el crecimiento económico, esta varía de acuerdo con el tipo de economía, pues no se pueden trasladar las políticas de países en posiciones de dominio económico a países que tratan de no verse excluidos del escenario económico internacional debido a sus condiciones de subdesarrollo y dependencia. Por otro lado, América Latina ha dado poca importancia a la implementación de políticas industriales, pues las políticas de innovación han estado profundamente enfocadas hacia la investigación (Albornoz, 2001).

En el Ecuador, al igual que en el resto de los países de Latinoamérica, se ha dado mayor énfasis a la investigación desde la educación superior. A partir del año 2008 se ha invertido de manera incremental en infraestructura, recursos humanos, becas, programas y proyectos de investigación. Por parte de la Asamblea Constituyente del 2008 se plantó recuperar el rol director del gobierno en cuando a la educación superior con planes de evaluación y acreditación. El Estado ha visto a la innovación como herramienta para transformar la estructura productiva y disminuir la desigualdad social, a pesar de ello como resultado de la poca atención a los sectores productivos no se ha logrado los objetivos planteados (Milia, 2014).

2. METODOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

2.1. METODOLOGÍA

En este subcapítulo se aborda la manera en que fue realizada la investigación con el fin de cumplir los objetivos planteados en la introducción. Se define el enfoque que tendrá la investigación, el tipo de investigación y los procedimientos y herramientas utilizadas para la recolección y el análisis de los datos a estudiar.

2.1.1. NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN

La naturaleza o enfoque que tiene esta investigación es de carácter mixto, ya que se combina el enfoque cuantitativo, que estudia la relación o asociaciones que existen entre distintas variables cuantificables, y el enfoque cualitativo, que estudia los enfoques estructurales y situacionales de las variables (Pita Fernández & Pértegas Díaz, 2002).

La parte cuantitativa de la investigación corresponde a la construcción del modelo, mientras que la parte cualitativa corresponde a la formulación teórica de las posibles explicaciones derivadas de los resultados del modelo. Cabe señalar que, si bien este trabajo define a la brecha en innovación y tecnología de una manera cuantificable, al no existir un consenso sobre cómo medirla exactamente, esta investigación tiene una gran carga de percepción subjetiva por parte del autor basada en el estudio del mismo respecto al tema.

2.1.2. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El alcance de esta investigación es de carácter exploratorio, ya que este es el tipo de alcance que aplica en los casos de problemas que han sido poco estudiados, donde el fin primordial es el de familiarizarse con la problemática, identificar definiciones,

conceptos o variables relevantes, además de ser capaces de identificar posibles relaciones entre ellas (Cazau, 2006). A pesar de que existen diversos estudios académicos que tratan de definir el nivel de desarrollo de innovación y tecnología, como se ha revisado en el capítulo uno, hay tantas concepciones que no permiten que exista un consenso sobre cuáles variables específicas son las que influyen en el nivel de un país en este ámbito. Además, se ha podido observar que en algunas investigaciones se toman en cuenta o descartan variables de acuerdo al contexto económico de donde son realizadas o incluso de acuerdo a la disponibilidad de los datos. Dado que la innovación es un problema complejo donde influyen gran cantidad de actores y relaciones es complejo realizar un estudio que tome en cuenta el enfoque de modelos más modernos de la innovación como lo son los modelos interactivos, de sistemas, evolutivos o de ambientes innovadores; por lo que la parte cuantitativa del trabajo de investigación se encuentra un tanto más limitada al uso de indicadores de entrada y salida. Todas las consideraciones teóricas realizadas anteriormente ayudaron a la definición de la herramienta a ser utilizada para la investigación y a determinar que variables pueden ser utilizadas para medir la brecha en innovación y tecnología.

2.1.3. HERRAMIENTA DE INVESTIGACIÓN

Cualquier investigación, independientemente del campo de estudio, requiere de una búsqueda, recolección e interpretación de información relacionada al tema a estudiar (Orellana López & Sánchez Gómez, 2006). Debido a que la problemática estudiada conlleva la recolección de información de varios países se optó por utilizar el análisis bibliográfico documental, el cual se basa en el estudio de documentos, con el cual se analiza información externa o secundaria. Esta clase de información es aquella recolectada a partir de investigaciones y trabajos realizados por terceros (Gallardo & Moreno, 1999).

Las fuentes de datos secundarias son útiles cuando se trata de recolectar información que por medios propios sería difícil de conseguir. A pesar de que la mayor desventaja es la fiabilidad de los datos, esta desventaja puede ser superada si seleccionamos la información de las fuentes más confiables. Es por esta razón que la principal fuente

de recolección de los datos usados en la presente investigación corresponde a las bases de datos de organismos internacionales e instituciones con prestigio mundial que disponen de indicadores relacionados a la ciencia, tecnología e innovación. Las fuentes consultadas en este trabajo son:

- Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología.
- Banco Mundial.
- Centro de Yale para Derecho y Política Ambiental.
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual.
- El Observatorio de la Complejidad Económica: MIT.

La selección de los indicadores se realizó tomando en cuenta la disponibilidad de los datos y su relación con el tema a estudiar. Esta investigación no cuenta con una sola técnica de análisis, sino que utiliza dos. En primer lugar, el análisis de contenido para la elección de las variables a utilizar ya que se tomó las variables que aparecían con mayor frecuencia en distintas investigaciones. Una vez obtenidas las variables la técnica por la cual estas fueron analizadas fue el análisis envolvente de datos.

La herramienta para el análisis de los datos utilizada fue DEA Frontier. Este software fue desarrollado por Joe Zhu, un profesor de análisis de operaciones en el Instituto Politécnico Worcester, reconocido como un experto a nivel internacional en cuanto a métodos de evaluación del desempeño y evaluación comparativa utilizando el análisis envolvente de datos. Se escogió este software debido a su facilidad de uso y facilidad de acceso.

2.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO

Al momento de construir un modelo para entender cierto fenómeno se debe tener en cuenta varias consideraciones. Una de las más importantes es simplificarlo de una manera adecuada. Todos los modelos son simplificaciones del mundo real y por tal razón puede que no se tome en cuenta toda la cantidad de variables y relaciones que afectan al fenómeno que está siendo estudiado. Debido a la importancia crítica de la selección de variables, se debe tomar en cuenta solo las variables que consideramos

que son más relevantes para el caso de estudio y que puedan proporcionarnos mejor entendimiento del problema.

2.2.1. LIMITACIONES DEL MODELO

Como se había mencionado en el capítulo anterior, un aspecto crítico de esta clase de investigaciones es la recolección de los datos. A pesar de que los países latinoamericanos han empezado a dar importancia a la innovación y la tecnología, por medio de políticas y de la creación de instituciones, la escasez de estadísticas es aún un gran problema. Si bien han existido esfuerzos en políticas científico-tecnológicas, el tema de la medición del desempeño de la tecnología y la innovación es relativamente nuevo y varios países no llevan estadísticas sobre aspectos cruciales de la innovación.

Esto conllevó a que variables que se consideraron importantes para la construcción del modelo no pudieron ser utilizadas por falta de accesibilidad. Un ejemplo de ello es que muchos países latinoamericanos no guardan un seguimiento estadístico de la educación superior. Saber la cantidad de personas de un país que cuentan con una educación de tercer nivel es difícil y el problema se acentúa cuando se trata de conseguir información más específica como la cantidad de graduados en ciencias e ingenierías. Además de la falta de datos, como consecuencia del poco seguimiento por parte de las instituciones de los países latinoamericanos, también se tiene el problema de que existen otras variables tales como las exportaciones en servicios de tecnologías de la información y comunicación o los ingresos generados por medio de propiedad intelectual, las cuales, a consideración del autor, toman gran importancia en cuanto a la medición de la brecha en ciencia y tecnología, pero no pueden ser utilizadas debido al valor que toman en ciertos países de la región ya que rondan el cero por ciento.

Por otro lado, no solo existen variables las cuales no pudieron ser incluidas por falta de datos de algunos países, sino que existen países los cuales fueron excluidos del modelo por no tener un registro de sus indicadores. Un ejemplo de esto es que la información relacionada a la investigación y desarrollo en la República Dominicana es bastante escasa y está dispersa entre diversas instituciones tanto privadas como

públicas, de la misma manera tampoco existe un sistema nacional de investigadores, ni un registro nacional del gasto en investigación y desarrollo (Ponce, 2016). Finalmente, todas estas consideraciones han ocasionado que las variables seleccionadas correspondan al año 2016 y que la lista de países latinoamericanos no esté completa en un cien por ciento. Es así como la lista de países considerados fue:

- Argentina.
- Bolivia.
- Brasil.
- Chile.
- Colombia.
- Costa Rica.
- Cuba.
- Ecuador.
- El Salvador.
- Guatemala.
- Honduras.
- México.
- Panamá.
- Paraguay.
- Perú.
- Uruguay.
- Venezuela.
- Canadá.
- USA.

2.2.2. SELECCIÓN DE INDICADORES

En este apartado se tratará de justificar las razones por las cuales han sido escogidas las variables que formarán parte del modelo. Para ello, se presentan a continuación las Tablas No.3 y No.4, que contienen las entradas y salidas utilizadas en el modelo con una breve descripción y justificación. Por medio de este apartado se cumple con el primer objetivo específico de esta investigación.

Tabla 3: Entradas utilizadas en el modelo

Entrada	Definición	Razón
Capacidad de investigación	Número de investigadores a tiempo completo	El número de investigadores de un país que trabajan en centros de investigación, universidades, empresas, u otras instituciones y que aportan como una fuente primaria de conocimientos que crean oportunidades tecnológicas para la innovación
Oferta de mano de obra	Número de población económicamente activa	Los conocimientos generados por sí solos no son suficientes, es necesaria la participación de la fuerza laboral de un país para llevar a cabo las oportunidades de innovación y tecnología.
Inversión en Investigación y Desarrollo	Gastos internos totales en I + D durante un período determinado como porcentaje del PIB	Es necesario el apoyo monetario para que se lleven a cabo las oportunidades en innovación y tecnología. El gasto como porcentaje del PIB implica un esfuerzo por mejorar la condición científico-tecnológica de un país.

Elaboración propia.

Cabe señalar que un factor crítico para la selección de entradas fue la disponibilidad de estas. Esto quiere decir que, si bien el modelo nos puede mostrar información interesante sobre la brecha en innovación y tecnología, también puede ser actualizado o se le pueden dar otros enfoques utilizando más variables. Como menciona la Tabla 7 la capacidad en investigación está representada como la cantidad de investigadores que producen conocimiento científico. Este servirá como materia prima para innovaciones. En este apartado se podría considerar en futuras investigaciones ampliar el concepto de capacidad de investigación añadiendo más variables como la cantidad centros de innovación de un país o bien volver mucho más específica la variable considerando solo los investigadores que se dediquen a ciencias claves de la innovación y tecnología.

Por otra parte, para que esta capacidad de investigación se transforme en productos de innovación y tecnología es necesario de la fuerza laboral de un país, ya sea para llevar a cabo las oportunidades de innovación y tecnología por medio de la elaboración de productos o como las personas que operarán infraestructura con alto valor tecnológico. Un factor fundamental cuando se habla de la fuerza laboral, sobre todo cuando está relacionado con la ciencia, innovación y tecnología, es la habilidad y educación de las personas. Debido a la falta de datos no fue posible añadir este componente en el modelo. Sin embargo, es necesario recalcar que conocer la eficiencia del sistema educativo de un país respecto a la producción científico-tecnológica puede dar lugar a un mejor entendimiento del problema de la brecha en innovación y tecnología y a la generación de políticas que mejoren este aspecto.

Por último, si bien la importancia que un país otorga a una política pública está dada por su inversión monetaria, existen aportes indirectos que promueven la generación de innovaciones. Esto, relacionado al punto anterior, es cuanto invierte un país en educación y en programas de capacitación a profesionales. Otro aspecto que podría interesar para futuras investigaciones de este fenómeno es realizar este modelo separando las inversiones en I+D que provienen de fondos privados y otro modelo con las inversiones que provienen de fondos públicos.

Tabla 4: Salidas utilizadas en el modelo

Salida	Definición	Razón
Exportaciones de alta tecnología	Exportaciones de alta tecnología menos reexportaciones (% del comercio total)	Las innovaciones tecnológicas se ven reflejadas en artículos de alta tecnología producidos.
Índice de desempeño ambiental	El Índice de Desempeño Ambiental (EPI) clasifica a los países por el desempeño en temas ambientales de alta prioridad en dos áreas: protección de la salud humana y protección de ecosistemas	La capacidad en tecnología e innovación de un país debe reflejarse en mejores condiciones para los habitantes y el ecosistema.

Papers en Science Citation Index (SCI)	Número de artículos registrados en SCI, firmados por autores de instituciones de cada país.	Los nuevos conocimientos generados se pueden ver reflejados en el número de artículos escritos.
Patentes PCT	El número de patentes solicitadas a través de la convención PCT de la OMPI, según el país de residencia del solicitante.	Los nuevos conocimientos generados se pueden ver reflejados en el número de patentes solicitadas.

Elaboración propia

Cuando se habla de los resultados de la innovación y tecnología los autores se suelen decantar por la medición de los nuevos conocimientos por medio de indicadores como la cantidad de *papers* generados. Sin embargo, estos por sí solos no son suficientes. El resultado de una política que incentiva la innovación impulsa la economía haciendo crecer a las empresas y aumentando la demanda de mano de obra, bajo este precepto la creación y el deseo de aplicar conocimiento se ve reflejado en las solicitudes de patentes generadas (Kutvonen, 2007). Por otro lado, uno de los principales objetivos de la utilización de patentes es que estas puedan tener un fin práctico, el cual se manifiesta en forma cuantificable en la creación de nuevos productos, procesos o infraestructura con alto valor tecnológico. Si bien no existe un indicador que muestre la cantidad de productos tecnológicos lanzados al mercado, si es posible añadir esta consideración al modelo por medio de las exportaciones de alta tecnología, los cuales además de darnos una idea de cuantos productos de alto valor tecnológico fueron elaborados en un país, en unidad monetaria, también nos dan la idea de cuánto han contribuido al crecimiento de la economía del país. No existe controversia cuando se afirma que la innovación mejora la competitividad de las empresas y la economía de un país (OECD, 1994). Sin embargo, también es un sinónimo de progreso la creación de empleo y, como aspecto más importante, es una fuente de mejora de las condiciones de vida de la población (CEOE, 2014). Bajo estas consideraciones se suele tomar como indicador de referencia al PIB per cápita. Sin embargo, a consideración del autor este por sí mismo no expresa una mejora de las condiciones en la calidad de vida. Por otro lado, no todo el PIB se puede considerar como producto de la innovación. De esta manera se decidió que la idea de mejora en la economía se

vería reflejada por las exportaciones de productos de alta tecnología, mientras que respecto a la mejora en la calidad de vida se propone utilizar el índice de desempeño ambiental.

El índice de desempeño ambiental o EPI, por sus siglas en inglés, clasifica a los países de acuerdo a dos áreas principales: la protección de la salud humana y la protección de los ecosistemas (Hsu, 2016). Estas áreas a su vez se subdividen en otras áreas más específicas, de modo que para medir la protección de la salud humana se toma en cuenta el efecto que tiene el ambiente en las enfermedades de las personas, la calidad del aire y el saneamiento y agua potable, mientras que la protección de los ecosistemas se mide en cuanto a cambio climático, energía sustentable, recursos naturales, biodiversidad y recursos hídricos. La consideración de esta variable pretende reflejar que si bien la innovación y tecnología responden a procesos de creación de valor como se mencionó en los modelos de innovación, también es necesario tomar en cuenta su pertinencia. Es decir, reflexionar sobre cómo o en qué medida las innovaciones ayudan a mejorar las necesidades de una población.

2.2.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez que se han escogido los indicadores y se han realizado los cálculos, el siguiente paso es la interpretación de los resultados obtenidos por el método del análisis envolvente de datos. Bajo esta perspectiva cabe señalar que es recomendable tomar en cuenta al análisis DEA como un análisis individual que no permite hacer predicciones, sino que más bien brinda un diagnóstico específico del escenario planteado. Es por ello que se vuelve necesario comprender que su importancia radica en el apoyo que brinda a la toma de decisiones cuando se interpreta de manera adecuada. La información más importante que nos brinda esta herramienta es la valoración o puntuación de la eficiencia de cada unidad estudiada, aunque también puede brindar otra información interesante como la holgura o valores objetivos para que una unidad sea eficiente.

Sin embargo, lo ideal es combinar los resultados obtenidos por la herramienta con los conocimientos cualitativos del problema estudiado para complementar la visión y el análisis.

Además, también es necesario considerar que, si se logra un estado eficiente, puntaje de eficiencia igual a 1, se debe reflexionar sobre si esa eficiencia se puede atribuir completamente a las políticas de innovación y tecnología o corresponde a otros factores sobre los cuales se tenga menos influencia como la geografía, cultura, etc. Por otro lado, si una unidad obtiene un puntaje ineficiente, cualquier valor distinto a uno, nos brinda mayor información sobre el problema dado que se puede evidenciar cuán grande es la brecha y en base a las variables utilizadas, cuáles pueden ser las causantes de esto, lo cual a su vez permite oportunidades de mejora prácticas.

Además de la eficiencia existen las holguras, las cuales representan el nivel de salidas necesarios para convertir a una DMU ineficiente en una eficiente, o las reducciones necesarias en el caso de las entradas para que una DMU pueda ser eficiente (Gutierrez, 2010).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se expondrá los resultados que se han obtenido por medio de la metodología DEA para evaluar la brecha en innovación y tecnología del Ecuador en comparación con otros países del continente. Una DMU es eficiente cuando no se puede mejorar las salidas o entradas sin empeorar las salidas. Aplicar esta definición al problema tratado es un poco más complejo. La eficiencia, brecha tecnológica en este caso, se obtiene o determina de la relación de una unidad con las otras. Esto quiere decir que se compara los insumos que poseen cada uno de los países a estudiar. Sin embargo, cabe considerar que estos están influenciados por las condiciones propias de cada país y por los efectos a largo plazo de la aplicación de políticas anteriores. Esto quiere decir que los países eficientes coordinan sus recursos de una manera más productiva que los países ineficientes, aunque cabe aclarar que la eficiencia no significa un estado ideal o que no se pueda mejorar.

3.1. HALLAZGOS INICIALES

Tomando en consideración las variables escogidas se formularon varios modelos, se cambió la medida de unidad de las variables, se eliminaron algunos países o variables, entre otros cambios. Luego de probar varios modelos se observó que el usar datos en valores absolutos ayudaba a que exista más variabilidad en los resultados, debido a que con medidas proporcionales como *papers* o patentes por habitantes se observó que había muchas DMUs eficientes. Los primeros resultados fueron desalentadores debido a que se observaba muy poca brecha entre los países, algo que parecía poco realista y una clara señal de que algo no funcionaba en el modelo. Varios de estos modelos son incluidos como anexos al final de este trabajo de investigación. Por ejemplo en el Anexo 1 se probó incluir la entrada de graduados en ciencias e ingeniería, a pesar de que la literatura sobre el análisis envolvente datos nos dice que en los modelos básicos dejar en blanco o utilizar el cero puede ser una solución efectiva al no tener un determinado dato de una DMU (Kuosmanen, 2002), esto afectó la variabilidad de los resultados de ese modelo los cuales se encuentran en el Anexo 2, de la misma manera las holguras del modelo que muestra el Anexo 3

muestran información poco realista ya que al existir tantas DMUs eficientes existen muy pocas holguras, lo que deriva a que la tabla de holguras esté repleta de ceros. Problemas similares se pueden evidenciar en los Anexos 4,5 y 6.

Luego de muchas consideraciones y cambios se optó por utilizar un modelo que contenía las entradas y salidas que se mencionan en el capítulo anterior, pero solo con los países latinoamericanos. Los resultados se presentan a continuación en la Tabla 5:

Tabla 5: Resultados modelo 1

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Input-Oriented</i>
		<i>VRS</i>
		<i>Efficiency</i>
1	Argentina	1,00000
2	Bolivia	0,40398
3	Brasil	1,00000
4	Chile	1,00000
5	Colombia	1,00000
6	Costa Rica	1,00000
7	Cuba	0,49193
8	Ecuador	0,31978
9	El Salvador	0,80170
10	Guatemala	1,00000
11	Honduras	1,00000
12	México	1,00000
13	Panamá	1,00000
14	Paraguay	0,73432

15	Perú	0,69194
16	Uruguay	1,00000
17	Venezuela	0,76185

Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 5 existe una brecha en innovación y tecnología entre los países del continente y es Ecuador con un el que se encuentra en peor posición con un 0,32 de eficiencia, seguido de Bolivia con un 0,40 de eficiencia. Sin embargo, se observa que, entre los países de la región, al haber tantas unidades eficientes, si bien existe una brecha, los países latinoamericanos tienen un nivel o desempeño similar en cuanto a innovación y tecnología.

Tabla 6: Datos del modelo 1

Indicador	Investigadores (bruto)	Fuerza Laboral (bruto)	Gasto bruto en I+D (%)	Exportaciones de alta tecnología	Índice de desempeño ambiental	Papers en Science Citation Index (SCI)	Patentes PCT
Argentina	53180	17718000	0,60	1,90	79,84	11205	884
Bolivia	1831	5783700	0,20	0,20	71,09	313	12
Brasil	185609	102471930	1,30	5,00	78,90	53819	5200
Chile	9143	8747700	0,40	1,00	77,67	10495	386
Colombia	6359	24612800	0,30	1,60	75,93	5692	545
Costa Rica	2807	2280000	0,60	5,30	80,03	776	9
Cuba	6753	4700000	0,86	0,31	79,04	956	32
Ecuador	6608	8020000	0,40	0,60	66,58	1428	45
El Salvador	403	2930000	0,10	2,60	68,07	93	4
Guatemala	368	6663000	0,00	1,60	69,64	249	3

Honduras	211	3950000	0,00	0,50	69,64	78	10
México	30118	59680000	0,50	15,60	73,59	17434	1310
Panamá	158	1953000	0,10	3,60	78,00	528	68
Paraguay	1248	3382100	0,10	0,50	70,36	175	17
Perú	6185	17426900	0,10	0,40	72,95	1636	72
Uruguay	2209	1796900	0,40	1,40	73,98	1246	26
Venezuela	8474	14486000	0,12	0,73	76,23	1033	35

Elaboración propia

Se puede explicar los resultados obtenidos al observar los datos. Si bien Ecuador obtiene un puntaje muy bajo, esto se da en medida de que Ecuador es un país que invierte un alto porcentaje del PIB, en comparación con la región, en I+D, pero no obtiene los mejores resultados. Además, se debe destacar que Brasil puede ser tomada como referencia en cuanto a políticas científico-tecnológicas debido a que es un país que toma importancia a la innovación en y tecnología, lo cual se refleja en los grandes valores que tiene como entradas, y es eficiente. Esto quiere decir que utiliza adecuadamente sus recursos.

Tabla 7: Holguras modelo 1

DMU Name	Input Slacks			Output Slacks			
	Investigadores	Fuerza Laboral (bruto)	Gasto bruto en I+D	Exportaciones de alta tecnología	EPI	Papers in Science Citation Index (SCI)	Patentes PCT
Argentina	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Bolivia	571,67325	0,00000	0,00000	2,80468	5,30455	128,58244	44,86174
Brasil	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Chile	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Colombia	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Costa Rica	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Cuba	1259,58310	0,00000	0,00000	4,15305	0,00000	0,00000	6,64780
Ecuador	1139,78600	0,00000	0,00000	2,75928	11,37839	0,00000	51,52292

El Salvador	154,60724	0,00000	0,00000	0,38529	8,27225	345,76720	52,49888
Guatemala	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Honduras	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
México	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Panamá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Paraguay	744,22363	0,00000	0,00000	2,27640	5,41895	233,44561	35,59077
Perú	0,00000	4489711,923 26	0,00000	2,21357	0,00000	0,00000	74,00851
Uruguay	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Venezuela	4289,23591	7016079,593 20	0,00000	2,45910	0,00000	0,00000	73,51537

Elaboración propia.

Además de lo ya mencionado anteriormente se vuelve interesante revisar las holguras de la Tabla 7, que como se mencionó en capítulos anteriores representan el nivel de aumento en salidas o las reducciones en las entradas necesarias para convertir a una DMU ineficiente en una eficiente, que presenta el modelo. En el caso de Ecuador se puede presenciar que, si se usa la definición estricta de holguras para DEA, existen más investigadores de los necesarios o que estos se deben “reducir” para que el modelo sea eficiente. Esto llevado a la práctica es una medida poco conveniente e irrealizable.

3.2. MODIFICACIONES AL MODELO INICIAL

Debido a que los resultados fueron más satisfactorios en el modelo presentado anteriormente se siguió utilizando su estructura para saber que otra información nos podía aportar. Es así que otro de los modelos planteados busca encontrar que podría ocurrir si al modelo se añaden dos de los países más exitosos en materia de ciencia y tecnología del continente: Estados Unidos y Canadá.

Tabla 8: Resultados modelo 2

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Input-Oriented</i>
		<i>VRS</i>

		<i>Efficiency</i>
1	Argentina	0,81822
2	Bolivia	0,40398
3	Brasil	0,56197
4	Chile	1,00000
5	Colombia	0,90648
6	Costa Rica	1,00000
7	Cuba	0,46298
8	Ecuador	0,27619
9	El Salvador	0,80170
10	Guatemala	1,00000
11	Honduras	1,00000
12	México	1,00000
13	Panamá	1,00000
14	Paraguay	0,73432
15	Perú	0,48420
16	Uruguay	1,00000
17	Venezuela	0,67618
18	Canadá	1,00000
19	USA	1,00000

Elaboración Propia.

La Tabla 8 nos muestra que, si se añaden países con un alto nivel de innovación y tecnología, aumenta la brecha entre los países de la región, lo que implica que países como Argentina que se consideraba eficiente, ahora posee un 81% de eficiencia, solo por mencionar un caso. Dentro de este modelo el cambio más interesante es el de Brasil que de un 100% pasa a un 56%.

Tabla 9: Datos modelo 2

DMU/ Indicador	Investigadores (bruto)	Fuerza Laboral (bruto)	Gasto bruto en I+D (%)	Exportaciones de alta tecnología	Índice de desempeño ambiental	Papers en Science Citation Index (SCI)	Patentes PCT
Argentina	53180	17718000	0,60	1,9	79,84	11.205	884
Bolivia	1831	5783700	0,20	0,2	71,09	313	12
Brasil	185609	102471930	1,30	5	78,9	53819	5200
Chile	9143	8747700	0,40	1	77,67	10495	386
Colombia	6359	24612800	0,30	1,6	75,93	5692	545
Costa Rica	2807	2280000	0,60	5,3	80,03	776	9
Cuba	6753	4700000	0,86	0,31	79,04	956	32
Ecuador	6608	8020000	0,40	0,6	66,58	1428	45
El Salvador	403	2930000	0,10	2,6	68,07	93	4
Guatemala	368	6663000	0,00	1,6	69,64	249	3
Honduras	211	3950000	0,00	0,5	69,64	78	10
México	30118	59680000	0,50	15,6	73,59	17434	1310
Panamá	158	1953000	0,10	3,6	78	528	68
Paraguay	1248	3382100	0,10	0,5	70,36	175	17
Perú	6185	17426900	0,10	0,4	72,95	1636	72
Uruguay	2209	1796900	0,40	1,4	73,98	1246	26
Venezuela	8474	14486000	0,12	0,73	76,23	1033	35
Canadá	164388	19841257	1,60	5,4	85,06	92224	4078
USA	1393536	162618901	2,70	7,2	84,72	614923	295327

El cambio en el nivel de eficiencia de Brasil se da porque en un inicio no tenía otros países con entradas altas con los cuales compararse, de modo que, si se lo compara con otros dos países con esta característica, pero que obtienen resultados mayores su desempeño no es tan impactante. Por otro lado, bajo esta nueva consideración Chile vendría a ser el marco de referencia al cual se debería observar ya que invierte en innovación el mismo porcentaje que el Ecuador, sin embargo, es mucho más eficiente. Respecto a Chile también es interesante observar que, aunque su población es similar, tiene más investigadores y una producción científica mucho más grande.

Tabla 10: Holguras modelo 2

DMU Name	Input Slacks			Output Slacks			
	<i>Investigadores (bruto)</i>	<i>Fuerza Laboral (bruto)</i>	<i>Gasto bruto en I+D</i>	Exportaciones de alta tecnología	Índice de desempeño ambiental	Papers in Science Citation Index (SCI)	Patentes PCT
Argentina	553	7882211	0,00	2,17	0,00	13221	229
Bolivia	572	0	0,00	2,80	5,30	129	45
Brasil	0	32179575	0,00	0,00	0,00	0	8853
Chile	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
Colombia	0	17130061	0,03	0,84	1,93	0	0
Costa Rica	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
Cuba	1098	0	0,04	4,15	0,00	0	20
Ecuador	0	0	0,00	2,89	11,15	0	80
El Salvador	155	0	0,00	0,39	8,27	346	52
Guatemala	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
Honduras	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0

México	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
Panamá	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
Paraguay	744	0	0,00	2,28	5,42	233	36
Perú	0	3244354	0,00	1,96	0,00	0	509
Uruguay	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
Venezuela	4248	6693922	0,00	2,45	0,00	0	290
Canadá	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0
USA	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0

Elaboración propia

Adicionalmente, en este modelo el análisis de las holguras nos dice lo mismo que el anterior. Ecuador no es ineficiente por falta de producción de conocimientos, al ser esto medidos en producción de *papers*, sino que su falta de eficiencia deriva de la falta de utilizar estos conocimientos para fines prácticos y pertinentes.

Finalmente, debido a lo observado se consideró probar más modelos con estas mismas variables, de modo que se tomaba una entrada y una salida, o dos entradas dos salidas, etc., esto con el fin de saber que otras conclusiones nos podría brindar el modelo. Dentro de estos nuevos modelos se presentan a continuación dos de los que brindan información más interesante en la siguiente tabla:

Tabla 11: Resultados modelos 3 y 4

<i>DMU Name</i>	Papers	Patentes
	<i>Input-Oriented</i>	<i>Input-Oriented</i>
	<i>VRS</i>	<i>VRS</i>
	<i>Efficiency</i>	<i>Efficiency</i>
Argentina	0,08021	0,01332
Bolivia	0,00141	0,00009
Brasil	0,18101	0,03650
Chile	0,11252	0,00859
Colombia	0,07970	0,01630

Costa Rica	0,00386	0,00000
Cuba	0,00363	0,00024
Ecuador	0,01295	0,00080
El Salvador	0,00000	0,00000
Guatemala	0,00000	0,00000
Honduras	0,00000	0,00000
México	0,15097	0,02377
Panamá	0,01226	0,00530
Paraguay	0,00000	0,00064
Perú	0,06092	0,00567
Uruguay	0,01095	0,00037
Venezuela	0,02870	0,00190
Canadá	0,25250	0,02325
USA	1,00000	1,00000

Elaboración Propia

La Tabla 11 muestra dos modelos que contienen una entrada y una salida, las cuales son gasto en investigación y desarrollo como entrada, en ambos casos, y por salidas se eligió el número de *papers* y número de patentes respectivamente. El reducir el número de variables se traduce en la existencia de una brecha mayor, debido a que no se pueden compensar unas salidas con otras o unas entradas con otras. Dentro de este análisis lo que salta a primera vista es que si se determina el desempeño en la producción de *papers* y patentes Estados Unidos es eficiente en ambos casos, mientras que los demás países muestran una brecha mucho mayor. Adicionalmente, cabe destacar que la diferencia de los demás países entre la eficiencia en producción de *papers* y en solicitud de patentes es muy alta, lo cual demuestra que la producción de *papers* no se traduce como producción de patentes. Finalmente se calculó las holguras de ambos modelos, las cuales pueden ser observadas en los anexos 7 y 8 significativamente, sin embargo, no se encontró información significativa de estas.

Dentro de los modelos realizados con las mismas variables y diferentes combinaciones constan los anexos 11, 12, 13 y 14 los cuales a pesar de no tener problemas en el sentido de que no presentan muchas DMUs eficientes no son tratadas a fondo debido a que los modelos 1 y 2 también carecen de este problema y nos brindan información más “completa” debido a que cuentan con todas las variables que se consideró importantes, sin embargo se agregan al final del trabajo en caso de que estas nuevas perspectivas puedan ser de interés para el lector. Finalmente, una idea que se trató de llevar a cabo fue el de realizar un modelo que excluía a los países con bajo interés en innovación y tecnología para lo cual se eliminaba del análisis a los países con menos del 0.3% de inversión en I+D del PIB, sin embargo esta idea fue descartada ya que como muestran los anexos 15, 16 y 17 esto genera que haya demasiadas DMUs eficientes a causa de reducir el número de DMUs y utilizar la misma cantidad de variables, además de que se vuelve algo arbitrario establecer un porcentaje sobre el cual se puede definir si un país tiene o no interés en las actividades de innovación y tecnología.

3.3. DISCUSIÓN

En este apartado se cumple el objetivo específico número 3 de esta investigación.

Cabe señalar que al estudiar la eficiencia por medio de entradas y salidas, un país que hace pocos esfuerzos y sin embargo consigue algunos resultados se posicionará mejor que un país que hace mayores esfuerzos, pero consigue resultados similares, es necesario recordar para la discusión que esta investigación mide a la brecha en términos de eficiencia.

Al observar los datos de la Tabla 6 se puede concluir que la brecha en innovación y tecnología del Ecuador no tiene como causa principal la falta de inversión en este sector, sino que probablemente esto se da debido a la mala gestión de los recursos, por ejemplo, al comparar una de las entradas como el gasto bruto en I+D del Ecuador con otros países de la región como Bolivia, Colombia, Chile y Perú las cuales son 0,4, 0,2, 0,3, 0,4 y 0,1 respectivamente, se puede observar que Ecuador invierte más en términos porcentuales en I+D pero obtiene menores resultados.

La Tabla 7 nos hace notar que, si bien existen “bastantes” investigadores en el Ecuador, estos no producen los resultados deseados o trabajan de manera improductiva, posiblemente por la falta de condiciones e incentivos a la carrera de

investigador. Otro dato a tomar en consideración es que la única salida que no se debe aumentar para que el modelo sea eficiente es la producción de *papers*, mientras que si se deberían aumentar la cantidad de patentes, las exportaciones de alta tecnología y el índice de desempeño ambiental. Esto es crucial dado que nos lleva a concluir que si bien existe creación de conocimiento en el Ecuador este no se lleva a la práctica ni es pertinente, debido a que no crea valor económico ni mejora las condiciones de vida de los ciudadanos ecuatorianos.

Otra de las posibles causas de la brecha se debe al enfoque que tomaron las políticas de ciencia, innovación y tecnología en América Latina, las cuales al estar más enfocadas en la universidad y en la importación de modelos extranjeros se tradujeron en que los esfuerzos se destinen a la producción de conocimientos, sin tomar en consideración las necesidades y condiciones de cada país. Este hecho es reafirmado por los resultados del modelo, los cuales muestran que a pesar de que se escriben papers y se genera nuevo conocimiento, estos no se traducen en mejora de las condiciones económicas y sociales, en la generación de patentes, en el incremento de las exportaciones, en un mejor nivel de vida o en un mayor cuidado ambiental.

El modelo 1 muestra que el Ecuador se encuentra en una mala posición respecto a sus países vecinos como lo son Colombia y Perú con una diferencia de 68 y 37 puntos porcentuales respectivamente, una situación similar se puede observar en el modelo 2. Esto además se puede inferir al revisar los datos ingresados en el modelo debido a que sus entradas son similares pero sus salidas tienen mucha diferencia, por ejemplo, el número de investigadores de Ecuador, Colombia y Perú son 6608, 6359 y 6185 respectivamente, sin embargo, la producción de papers es 1428, 5692 y 1636 respectivamente, este patrón se repite con las otras variables del modelo.

Finalmente, los resultados obtenidos en esta investigación son parecidos a los del trabajo de Kutvonen, mencionado en el primer capítulo, debido a que si bien se muestra que el análisis envolvente de datos es útil para medir la brecha en innovación, este método aún no es muy factible debido a su principal limitación, en ambos casos se tuvo que excluir variables que se consideró importantes debido a dificultad de obtener los datos. Por esta razón en futuras investigaciones se debería utilizar el análisis envolvente de datos conjuntamente con otro método para estudiar la brecha de modo que el cruce de resultados pueda brindar mejor calidad de información.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- El análisis envolvente de datos proporciona una puntuación de eficiencia que es fácil de interpretar. Se puede evidenciar cuál es la brecha en innovación y tecnología de un país respecto a otro en medida de que tan lejos se encuentra de ser eficiente. Al tomar un conjunto de entradas y salidas, la herramienta DEA nos permite identificar posibles marcos de mejora, incluso con un tema tan complejo como la innovación de un país donde no se puede encontrar una solución única.
- A pesar de que esta tesis indica una manera de evaluar la innovación con el método DEA, el uso de la herramienta es aún poco recomendable, principalmente por la escasez de estadísticas mundiales. DEA posee el potencial para ser una herramienta significativa que permita el análisis de la evaluación del nivel de innovación y tecnología de los países y puede brindar información muy relevante de acuerdo al enfoque que se le otorgue.
- América Latina aún tiene un largo camino que recorrer si desea mejorar sus condiciones en el aspecto estudiado. Si bien esta tesis propone un marco de referencia que sirve como un diagnóstico inicial de la problemática, no se podrá mejorar la situación actual si no existen organismos en cada país que recolecten y organicen información relacionada a la ciencia, la innovación y la tecnología.
- Las variables que inciden en el nivel de desarrollo de un país en innovación y tecnología son la capacidad de investigación, la oferta de mano de obra y la inversión en investigación y desarrollo, para representar estas variables tomando en cuenta la limitación de recolección de datos se utilizó en el modelo planteado el número de investigadores a tiempo completo, el número de población económicamente activa y los gastos internos totales en I+D durante un periodo determinado como porcentaje del PIB.
- Para el caso ecuatoriano se pudo observar que a pesar de sus esfuerzos en innovación, representados en las entradas del modelo, es deficiente en comparación con los demás países del continente. Al analizar los valores de

las entradas se puede constatar que esta brecha no es causada por falta de inversión o interés en el sector, debido a que estos se mantienen en el promedio o incluso son más altos que las de otros países lo que da a entender que el problema se encuentra en la gestión de dichos recursos y que se vuelve necesario un control de los programas de inversión, de modo que se destine más recursos a los programas o instituciones que generen más resultados.

- Aunque esta tesis no puede dar conclusiones absolutas sobre como reducir la brecha en innovación y tecnología, este intento de medir la brecha en base a la eficiencia por medio de la metodología DEA proporciona hallazgos significativos que pueden dar paso a futuras investigaciones.

4.2. RECOMENDACIONES

- Es importante impulsar la cooperación internacional para la recolección de indicadores relacionados a la ciencia, tecnología e innovación. Además, se deben estandarizar o definir los métodos con los cuales se obtendrán estos indicadores, de modo que puedan ser comparables.
- Respecto a las políticas públicas en Ecuador se vuelve necesario reformarlas en medida de los resultados que se esperan. No basta con establecer metas basadas en la producción de conocimientos científicos.
- Si bien la universidad toma un papel primordial en el caso de reducir la brecha existente del Ecuador, debemos recordar que existen mas actores que influyen en la innovación. Deben existir políticas públicas que fomenten la inversión en Investigación y Desarrollo por parte de los sectores productivos y que creen o fortalezcan sus relaciones relaciones con el Estado y la academia.
- A pesar de que los esfuerzos realizados, estos no han llevado al Ecuador a una situación óptima respecto a la innovación y tecnología. Es importante que la inversión siga aumentando si se desea reducir la brecha, tomando siempre en consideración establecer metodologías de medición de resultados integrales.
- Para próximas investigaciones podría aportar gran variedad de información establecer indicadores más específicos como la separación del gasto en I+D que proviene de fondos públicos de los que vienen de fondos privados, utilizar la cantidad de *papers* publicados de acuerdo a su línea de investigación, utilizar la calidad de la fuerza de trabajo medida en conocimientos y habilidades, entre

otros. DEA ofrece la posibilidad de estudiar esta problemática desde distintas perspectivas. Sin embargo, no permite realizar predicciones por lo que también se recomienda utilizar modelos econométricos en base al entendimiento del problema que se obtuvo mediante DEA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, N. R. (2012). Situación de la ciencia, la tecnología e innovación en el Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*. ISSN 2477-8982, (7), 8–9.
- Albornoz, M. (2001). Política científica y tecnológica. Una visión desde América Latina. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación*, 1(4), 1–19.
- 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.
- Becerril, O., Díaz, M., & Del Moral, L. (2013). Frontera tecnológica y productividad total de los factores de las regiones de México. *Región y sociedad*, 25(57), 5–26.
- Botana, N., & Sábato, J. (1970). *La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América Latina*.
- Bowlin, W. F. (1998). Measuring performance: An introduction to data envelopment analysis (DEA). *The Journal of Cost Analysis*, 15(2), 3–27.
- Cabero-Tapia, P. (2009). *Capacidades tecnológicas y Crecimiento Económico. Perspectivas de Catching-Up para Bolivia*.
- Cardoso, F. H., & Faletto, E. (1996). *Dependencia y desarrollo en América Latina: Ensayo de interpretación sociológica*. Siglo xxi.
- Cazau, P. (2006). *Introducción a la investigación en ciencias sociales* (3era. Ed.). Buenos Aires: Rundi-Nuskin.
- CEOE. (2014). *La Innovación: Un facto clave para la competitividad de las empresas*. Madrid: Confederación Empresarial de Madrid.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1981). Evaluating program and managerial efficiency: An application of data envelopment analysis to program follow through. *Management science*, 27(6), 668–697.
- Chiu, Y.-H., Lee, J.-H., Lu, C.-C., Shyu, M.-K., & Luo, Z. (2012). The technology gap and efficiency measure in WEC countries: Application of the hybrid meta frontier model. *Energy policy*, 51, 349–357.
- Coll, V., & Blasco, O. M. (2000). *Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos*. Juan Carlos Martínez Coll.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2006). *Introduction to data envelopment analysis and its uses: With DEA-solver software and references*. Springer Science & Business Media.

- Dagnino, R., & Thomas, H. (1999). La política científica y tecnológica en América Latina: Nuevos escenarios y el papel de la comunidad de investigación. *Redes*, 6(13), 49–74.
- Gallardo, Y., & Moreno, A. (1999). *Aprender a Investigar* (3ra Edición). Medellín: Instituto Colombiano Para El Formento De La Educación Superior.
- Gonzales, P., Arnold, T., Castro, P., & Verdugo, M. (2013). *Conceptos Básicos de Ciencia, Tecnología e Innovación*. CONICYT: Santiago, Chile.
- Gutierrez, A. (2010). *El puerto de Lazaro Cardenas y su eficiencia en la cuenca del Pacifico (2003-2008) un analisis envolvente de datos*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- Herrera, A. (1995). *Los determinantes sociales de la política científica en América Latina. Política científica explícita y política científica implícita*. *Redes: Revista de estudios sociales de la ciencia*, 2 (5), 117-131. Disponible en RIDAA Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/438>.
- Hsu, A. (2016). *Global metrics for environment: Environmental Performance Index 2016*. New Haven: Yale University.
- Iyer, K. (2011). Technology gap, catching-up and outward orientation: Analysis of 63 countries. *Applied Econometrics and International Development*, 11(2), 5–20.
- Jaramillo, H., Lugones, G., & Salazar, M. (2000). *Manual de Bogotá: Normalización de indicadores de innovación tecnológica en América Latina y el Caribe*.
- Kuosmanen, T. (2002). Modeling blank data entries in data envelopment analysis. *Econ-WPA working paper at WUSTL*, 210001.
- Kuosmanen, T., Cherchye, L., & Sipiläinen, T. (2006). The law of one price in data envelopment analysis: Restricting weight flexibility across firms. *European Journal of Operational Research*, 170(3), 735–757.
- Kutvonen, A. (2007). *Ranking Regional Innovation Policies: DEA-based Benchmarking in a European Setting*.
- Leal Paço, C., & Cepeda Pérez, J. M. (2013). El uso de la metodología DEA (Data Envelopment Analysis) para la evaluación del impacto de las TIC en la productividad del sector hotelero. *Via. Tourism Review*, (3).
- Marinova, D., & Phillimore, J. (2003). Models of Innovation. En *The International Handbook on Innovation* (pp. 44-53). <https://doi.org/10.1016/B978-008044198-6/50005-X>
- Markides, C. (2006). Disruptive innovation: In need of better theory. *Journal of product innovation management*, 23(1), 19–25.
- Mendoza, J. A. G. (2015). Innovación y tecnología, factores claves de competitividad empresarial. Una mirada desde lo local. *Revista Lebrez*, (7), 103–124.

- Milia, M. F. (2014). *Marco de Políticas Públicas de Ciencia, Tecnología y Educación Superior en el Ecuador. Nuevos horizontes: Dinámicas y condicionamientos para una Investigación Universitaria de cara a la Sociedad*. Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación
- Morales, M. S. E., & Vásquez, L. D. (2014). Innovación y su medición en Ecuador. *Revista Economía y Política*, (20), 97–111.
- Moya, E. D. S. (2014). Desarrollo tecnológico y Brecha tecnológica entre países de América Latina. *Ánfora*, 21(36), 41–65.
- Murias Fernández, P., Martínez Roget, F., & Rodríguez González, D. (2008). Un estudio con Análisis Envolvente de Datos de la eficiencia de los centros de educación secundaria gallegos. *XVI Jornadas ASEPUMA*, 1–14.
- Navarro, J. C., Zúñiga, P., & Crespi, G. (2010). *Ciencia, tecnología e innovación en América Latina y el Caribe: Un compendio estadístico de indicadores*. Inter-American Development Bank.
- OECD. (1994). *Manual de Frascati*. París: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- OECD. (2018). *Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation*. OECD Publishing: Paris, France.
- Orellana López, D. M., & Sánchez Gómez, M. (2006). *Técnicas de recolección de datos en entornos virtuales más usadas en la investigación cualitativa*.
- Pita Fernández, S., & Pértegas Díaz, S. (2002). Investigación cuantitativa y cualitativa. *Cad Aten Primaria*, 9, 76–8.
- Ponce, J. (2016). *Educación Superior en Iberoamérica, informe 2016: Informe República Dominicana*. Santiago de Chile: Cinda.
- Restrepo, M., & Villegas, J. (2007). Análisis Envolvente de Datos: Introducción y herramienta pública para su utilización. Colombia, Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia. *Documento de Trabajo*, 27.
- Savolainen, V. (2007). Relative Technical Efficiency of European Transportation Systems. *Research Report 187*.
- Torres, F., Arzola, M., & Laboreo, S. (2008). Método para estimar el nivel tecnológico de las empresas: Índice de situación y adecuación tecnológica, TASI2. *Laboreo, Santiago Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación. Zaragoza: Universidad de Zaragoza*, 1–10.

ANEXOS

Anexo 1: Datos: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores por millón de habitantes

Indicador	Graduados en ciencia e ingeniería	Investigadores	Fuerza Laboral por millón de habitantes	Gasto bruto en I+D	Exportaciones de alta tecnología	Índice de desempeño ambiental	Papers por millón de habitantes	Patentes por millón de hab.
Argentina	13,60	1220,00	406465,9422	0,60	1,9	79,84	257,05	20,28
Bolivia		166,00	524274,6591	0,20	0,2	71,09	28,37	1,09
Brasil	15,30	900,30	497043,1221	1,30	5	78,90	261,05	25,22
Chile	20,10	502,10	480403,5001	0,40	1	77,67	576,36	21,20
Colombia	23,60	132,00	510942,2622	0,30	1,6	75,93	118,16	11,31
Costa Rica	13,10	573,00	465368,3298	0,60	5,3	80,03	158,39	1,84
Cuba	20,62	595,73	414640,9179	0,86	0,31	79,04	84,34	2,82
Ecuador	16,70	400,70	486322,4833	0,40	0,6	66,58	86,59	2,73
El Salvador	22,10	63,40	460971,3784	0,10	2,6	68,07	14,63	0,63
Guatemala	9,80	22,20	401795,5673	0,00	1,6	69,64	15,02	0,18
Honduras	14,70	22,80	426069,1775	0,00	0,5	69,64	8,41	1,08
México	27,90	244,20	483891,7245	0,50	15,6	73,59	141,36	10,62
Panamá	17,20	39,10	483765,7335	0,10	3,6	78,00	130,79	16,84
Paraguay		184,10	498991,4239	0,10	0,5	70,36	25,82	2,51
Perú		200,00	563502,6181	0,10	0,4	72,95	52,90	2,33
Uruguay	14,40	645,20	524775,3299	0,40	1,4	73,98	363,89	7,59

Venezuela		283,92	485355,2611	0,12	0,73	76,23	34,61	1,17
Canadá	22,89	4552,50	549474,9067	1,60	5,4	85,06	2554,01	112,93
USA	17,40	4313,40	503352,9127	2,70	7,2	84,72	1903,37	914,12

Anexo 2: Resultados: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores por millón de habitantes

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Input-Oriented</i>
		<i>VRS</i>
		<i>Efficiency</i>
1	Argentina	1,00000
2	Bolivia	1,00000
3	Brasil	0,91043
4	Chile	1,00000
5	Colombia	0,89049
6	Costa Rica	1,00000
7	Cuba	1,00000
8	Ecuador	0,83014
9	El Salvador	0,88435
10	Guatemala	1,00000
11	Honduras	1,00000
12	México	1,00000
13	Panamá	1,00000
14	Paraguay	1,00000
15	Perú	1,00000
16	Uruguay	0,84886
17	Venezuela	1,00000
18	Canadá	1,00000
19	USA	1,00000

Anexo 3: Holgura: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores por millón de habitantes

		<i>Input Slacks</i>				<i>Output Slacks</i>			
DMU No.	DMU Name	<i>Graduados en ciencia e ingeniería</i>	<i>Investigadores</i>	<i>Fuerza Laboral por millón de habitantes</i>	<i>Gasto bruto en I+D</i>	<i>Exportaciones de alta tecnología</i>	<i>Índice de desempeño ambiental</i>	<i>Papers por millón de habitantes</i>	<i>Patentes por millón de habitantes</i>
1	Argentina	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
2	Bolivia	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
3	Brasil	0,00000	0,00000	0,00000	0,53985	0,00000	0,00000	0,00000	24,48771
4	Chile	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	Colombia	5,22232	0,00000	0,00000	0,09721	1,00143	0,00000	0,00000	0,00000
6	Costa Rica	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
7	Cuba	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
8	Ecuador	3,08543	0,00000	0,00000	0,18020	1,09228	5,57735	0,00000	2,86140
9	El Salvador	8,45126	18,01058	0,00000	0,05272	0,00000	1,85214	9,40819	0,29736
10	Guatemala	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
11	Honduras	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
12	México	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
13	Panamá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
14	Paraguay	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
15	Perú	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
16	Uruguay	0,00000	0,00000	0,00000	0,08705	0,21705	0,00000	0,00000	7,18126
17	Venezuela	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
18	Canadá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
19	USA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Anexo 4: Datos: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores en valor bruto

Indicador	Graduados en ciencia e ingeniería	Investigadores (bruto)	Fuerza Laboral (bruto)	Gasto bruto en I+D	Exportaciones de alta tecnología	Índice de desempeño ambiental	Papers SCI	Patentes PCT
Argentina	13,6	53180	17718000	0,60	1,9	79,84	11.205	884
Bolivia		1831	5783700	0,20	0,2	71,09	313	12
Brasil	15,3	185609	102471930	1,30	5	78,9	53.819	5200
Chile	20,1	9143	8747700	0,40	1	77,67	10.495	386
Colombia	23,6	6359	24612800	0,30	1,6	75,93	5.692	545
Costa Rica	13,1	2807	2280000	0,60	5,3	80,03	776	9
Cuba	20,62	6753	4700000	0,86	0,31	79,04	956	32
Ecuador	16,7	6608	8020000	0,40	0,6	66,58	1.428	45
El Salvador	22,1	403	2930000	0,10	2,6	68,07	93	4
Guatemala	9,8	368	6663000	0,00	1,6	69,64	249	3
Honduras	14,7	211	3950000	0,00	0,5	69,64	78	10
México	27,9	30118	59680000	0,50	15,6	73,59	17.434	1310
Panamá	17,2	158	1953000	0,10	3,6	78	528	68
Paraguay		1248	3382100	0,10	0,5	70,36	175	17
Perú		6185	17426900	0,10	0,4	72,95	1.636	72
Uruguay	14,4	2209	1796900	0,40	1,4	73,98	1.246	26

Venezuela		8474	14486000	0,12	0,73	76,23	1.033	35
Canadá	22,89	16438 8	19841257	1,60	5,4	85,06	92.22 4,00	4078
USA	17,4	13935 36	162618901	2,70	7,2	84,72	614.9 23,00	295327

Anexo 5: Resultados: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores en valor bruto

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Input-Oriented</i>
		<i>VRS</i>
		<i>Efficiency</i>
1	Argentina	0,96868
2	Bolivia	1,00000
3	Brasil	0,71849
4	Chile	1,00000
5	Colombia	0,90648
6	Costa Rica	1,00000
7	Cuba	0,58909
8	Ecuador	0,39442
9	El Salvador	0,80170
10	Guatemala	1,00000
11	Honduras	1,00000
12	México	1,00000
13	Panamá	1,00000
14	Paraguay	1,00000
15	Perú	1,00000
16	Uruguay	1,00000
17	Venezuela	1,00000
18	Canadá	1,00000
19	USA	1,00000

Anexo 6: Holgura: Modelo con indicador de graduados en ciencias e ingeniería (Ausencia de datos) e indicadores en valor bruto

DMU No.	DMU Name	Input Slacks			Output Slacks			
		Graduados en ciencia e ingeniería	Investigadores (bruto)	Fuerza Laboral (bruto)	Exportaciones de alta tecnología	Índice de desempeño ambiental	Papers in Science Citation Index (SCI)	Patentes PCT
1	Argentina	0,00000	611,91222	0,00000	0,05510	0,00000	0,00000	0,00000
2	Bolivia	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
3	Brasil	0,00000	0,00000	48867543,09	0,00000	0,00000	4339,90434	21854,32768
4	Chile	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	Colombia	2,89268	0,00000	17130060,85	0,83853	1,92968	0,00000	0,00000
6	Costa Rica	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
7	Cuba	0,00000	813,08380	0,00000	4,35082	0,00000	0,00000	98,12396
8	Ecuador	0,00000	0,00000	0,00000	0,78225	6,34892	0,00000	27,95583
9	El Salvador	1,01342	154,60724	0,00000	0,38529	8,27225	345,76720	52,49888
10	Guatemala	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
11	Honduras	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
12	México	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
13	Panamá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
14	Paraguay	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
15	Perú	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
16	Uruguay	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
17	Venezuela	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
18	Canadá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
19	USA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Anexo 7: Holgura modelo 3

		<i>Input Slacks</i>	Output Slacks
DMU No.	DMU Name	<i>Gasto bruto en I+D</i>	Patentes
1	Argentina	0,00000	0,00000
2	Bolivia	0,00000	0,00000
3	Brasil	0,00000	0,00000
4	Chile	0,00000	0,00000
5	Colombia	0,00000	0,00000
6	Costa Rica	0,00000	1,00000
7	Cuba	0,00000	0,00000
8	Ecuador	0,00000	0,00000
9	El Salvador	0,00000	6,00000
10	Guatemala	0,00000	7,00000
11	Honduras	0,00000	0,00000
12	México	0,00000	0,00000
13	Panamá	0,00000	0,00000
14	Paraguay	0,00000	0,00000
15	Perú	0,00000	0,00000
16	Uruguay	0,00000	0,00000
17	Venezuela	0,00000	0,00000
18	Canadá	0,00000	0,00000
19	USA	0,00000	0,00000

Anexo 8: Holgura modelo 4

		<i>Input Slacks</i>	Output Slacks
DMU No.	DMU Name	<i>Gasto bruto en I+D</i>	Papers por millon de habitantes
1	Argentina	0,00000	0,00000
2	Bolivia	0,00000	0,00000
3	Brasil	0,00000	0,00000
4	Chile	0,00000	0,00000
5	Colombia	0,00000	0,00000
6	Costa Rica	0,00000	0,00000
7	Cuba	0,00000	0,00000
8	Ecuador	0,00000	0,00000
9	El Salvador	0,00000	156,00000
10	Guatemala	0,00000	0,00000
11	Honduras	0,00000	171,00000
12	México	0,00000	0,00000
13	Panamá	0,00000	0,00000
14	Paraguay	0,00000	74,00000
15	Perú	0,00000	0,00000
16	Uruguay	0,00000	0,00000
17	Venezuela	0,00000	0,00000
18	Canadá	0,00000	0,00000
19	USA	0,00000	0,00000

Anexo 9: Datos: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y exportaciones e índice de desempeño ambiental como salidas

Indicador	Investigadores	Gasto bruto en I+D	Exportaciones de alta tecnología	Índice de desempeño ambiental
Argentina	1220	0,60	1,90	79,84
Bolivia	166	0,20	0,20	71,09
Brasil	900	1,30	5,00	78,90
Chile	502	0,40	1,00	77,67
Colombia	132	0,30	1,60	75,93
Costa Rica	573	0,60	5,30	80,03
Cuba	596	0,86	0,31	79,04
Ecuador	401	0,40	0,60	66,58
El Salvador	63	0,10	2,60	68,07
Guatemala	22	0,00	1,60	69,64
Honduras	23	0,00	0,50	69,64
México	244	0,50	15,60	73,59
Panamá	39	0,10	3,60	78,00
Paraguay	184	0,10	0,50	70,36
Perú	200	0,10	0,40	72,95
Uruguay	645	0,40	1,40	73,98
Venezuela	284	0,12	0,73	76,23
Canadá	4553	1,60	5,40	85,06
USA	4313	2,70	7,20	84,72

Anexo 10: Resultados: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y exportaciones e índice de desempeño ambiental como salidas

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Input-Oriented</i>
		<i>VRS</i>
		<i>Efficiency</i>
1	Argentina	0,84574
2	Bolivia	0,15139
3	Brasil	0,36879
4	Chile	0,24013
5	Colombia	0,26451
6	Costa Rica	1,00000
7	Cuba	0,52478
8	Ecuador	0,05540
9	El Salvador	0,49089
10	Guatemala	1,00000
11	Honduras	0,97368
12	México	1,00000
13	Panamá	1,00000
14	Paraguay	0,12849
15	Perú	0,39593
16	Uruguay	0,12978
17	Venezuela	0,65690
18	Canadá	1,00000
19	USA	1,00000

Anexo 11: Holgura: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y exportaciones e índice de desempeño ambiental como salidas

DMU No.	DMU Name	<i>Input Slacks</i>		<i>Output Slacks</i>	
		<i>Investigadores</i>	<i>Gasto bruto en I+D</i>	Exportaciones de alta tecnología	Índice de desempeño ambiental
1	Argentina	0,00000	0,00000	2,45331	0,00000
2	Bolivia	0,00000	0,01293	1,74689	0,00000
3	Brasil	0,00000	0,09654	0,00000	0,00000
4	Chile	82,13717	0,00000	2,52105	0,00000
5	Colombia	0,00000	0,00411	1,50478	0,00000
6	Costa Rica	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
7	Cuba	0,00000	0,09286	4,16094	0,00000
8	Ecuador	0,00000	0,02216	1,00000	3,06000
9	El Salvador	0,00000	0,00000	0,00000	5,50142
10	Guatemala	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
11	Honduras	0,00000	0,00000	1,10000	0,00000
12	México	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
13	Panamá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
14	Paraguay	0,00000	0,00424	1,27225	0,00000
15	Perú	50,29533	0,00000	1,99187	0,00000
16	Uruguay	52,76364	0,00000	1,23828	0,00000
17	Venezuela	150,98457	0,00000	2,44656	0,00000
18	Canadá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
19	USA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Anexo 12: Datos: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y papers y patentes como salidas

Indicador	Investigadores	Gasto bruto en I+D	Papers por millón de habitantes	Patentes por millón de habitantes
Argentina	1220	0,60	257,05	20,28
Bolivia	166	0,20	28,37	1,09
Brasil	900	1,30	261,05	25,22
Chile	502	0,40	576,36	21,20
Colombia	132	0,30	118,16	11,31
Costa Rica	573	0,60	158,39	1,84
Cuba	596	0,86	84,34	2,82
Ecuador	401	0,40	86,59	2,73
El Salvador	63	0,10	14,63	0,63
Guatemala	22	0,00	15,02	0,18
Honduras	23	0,00	8,41	1,08
México	244	0,50	141,36	10,62
Panamá	39	0,10	130,79	16,84
Paraguay	184	0,10	25,82	2,51
Perú	200	0,10	52,90	2,33
Uruguay	645	0,40	363,89	7,59
Venezuela	284	0,12	34,61	1,17
Canadá	4553	1,60	2554,01	112,93
USA	4313	2,70	1903,37	914,12

Anexo 13: Resultados: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y papers y patentes como salidas

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Input-Oriented</i>
		<i>VRS</i>
		<i>Efficiency</i>
1	Argentina	0,28821
2	Bolivia	0,14548
3	Brasil	0,21559
4	Chile	1,00000
5	Colombia	0,29572
6	Costa Rica	0,18421
7	Cuba	0,06795
8	Ecuador	0,14170
9	El Salvador	0,35600
10	Guatemala	1,00000
11	Honduras	1,00000
12	México	0,21337
13	Panamá	1,00000
14	Paraguay	0,13270
15	Perú	0,27528
16	Uruguay	0,60588
17	Venezuela	0,12335
18	Canadá	1,00000
19	USA	1,00000

Anexo 14: Holgura: Modelo con investigadores y gasto I+D como entradas y papers y patentes como salidas

DMU Name	<i>Input Slacks</i>		<i>Output Slacks</i>	
	<i>Investigadores</i>	<i>Gasto bruto en I+D</i>	Papers por millón de habitantes	Patentes por millón de hab
Argentina	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Bolivia	0,00000	0,01756	0,00000	1,01562
Brasil	0,00000	0,08121	0,00000	0,00000
Chile	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Colombia	0,00000	0,00000	0,00000	3,44580
Costa Rica	0,00000	0,00000	0,00000	9,60272
Cuba	0,00000	0,00000	0,00000	6,10996
Ecuador	0,00000	0,00000	0,00000	4,12958
El Salvador	0,00000	0,03438	0,00000	0,00000
Guatemala	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Honduras	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
México	0,00000	0,00000	0,00000	6,02175
Panamá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Paraguay	0,00000	0,00156	0,00000	0,00000
Perú	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Uruguay	0,00000	0,00000	0,00000	6,17809
Venezuela	0,00000	0,00000	0,00000	0,33246
Canadá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
USA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

Anexo 15: Datos: Modelo que no considera a los países que invierten menos del 0.3% del PIB en I+D

Indicador	Investigadores (bruto)	Fuerza Laboral (bruto)	Gasto bruto en I+D	Exportaciones de alta tecnología	Índice de desempeño ambiental	Papers en Science Citation Index (SCI)	Patentes PCT
Argentina	53180	17718000	0,60	1,90	79,84	11205	884
Bolivia	1831	5783700	0,20	0,20	71,09	313	12
Brasil	185609	102471930	1,30	5,00	78,90	53819	5200
Chile	9143	8747700	0,40	1,00	77,67	10495	386
Colombia	6359	24612800	0,30	1,60	75,93	5692	545
Costa Rica	2807	2280000	0,60	5,30	80,03	776	9
Cuba	6753	4700000	0,86	0,31	79,04	956	32
Ecuador	6608	8020000	0,40	0,60	66,58	1428	45
México	30118	59680000	0,50	15,60	73,59	17434	1310
Uruguay	2209	1796900	0,40	1,40	73,98	1246	26
Canadá	164388	19841257	1,60	5,40	85,06	92224	4078
USA	1393536	162618901	2,70	7,20	84,72	614923	295327

Anexo16: Resultados: Modelo que no considera a los países que invierten menos del 0.3% del PIB en I+D

<i>DMU No.</i>	<i>DMU Name</i>	<i>Input-Oriented</i>
		<i>VRS</i>
		<i>Efficiency</i>
1	Argentina	1,00000
2	Bolivia	1,00000
3	Brasil	0,57660
4	Chile	1,00000
5	Colombia	1,00000
6	Costa Rica	1,00000
7	Cuba	0,64246
8	Ecuador	0,63840
9	México	1,00000
10	Uruguay	1,00000
11	Canadá	1,00000
12	USA	1,00000

Anexo 16: Holgura: Modelo que no considera a los países que invierten menos del 0.3% del PIB en I+D

DMU Name	<i>Input Slacks</i>			<i>Output Slacks</i>			<i>Patentes PCT</i>
	<i>Investigadores (bruto)</i>	<i>Fuerza Laboral (bruto)</i>	<i>Gasto bruto en I+D</i>	<i>Exportaciones de alta tecnología</i>	<i>Índice de desempeño ambiental</i>	<i>Papers in Science Citation Index (SCI)</i>	
Argentina	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Bolivia	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Brasil	0,00000	33693670,41989	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	11225,07100
Chile	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Colombia	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Costa Rica	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Cuba	1220,90291	0,00000	0,00000	4,23789	0,00000	392,94668	1,19470
Ecuador	210,05984	0,00000	0,00000	0,00000	5,36980	0,00000	409,61259
México	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Uruguay	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Canadá	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
USA	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000