



Nota técnica

Análisis de eficiencia de la inteligencia artificial como factor de producción en países

Analysis of efficiency of artificial intelligence as production factor in countries

Carla Yohana Fajardo de Andara^a

^bUniversidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre. Barquisimeto, Venezuela.

DOI: <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.18693.50400>

Recibido: 11-02-2019

Aceptado: 14-05-2019

Resumen

La inteligencia artificial se proyecta como un nuevo factor de producción para mejorar la competitividad de los países. Esta investigación analiza la eficiencia técnica de la aplicación de la Inteligencia Artificial (IA) como factor de producción en empresas ubicadas en Europa, Norteamérica, Asia y Latinoamérica, orientada a incrementar su competitividad. Se toman datos de investigaciones sobre pronóstico del impacto de la IA en las economías mundiales, cifras sobre startups, índice global de innovación y de inversiones en IA. Mediante Análisis Envolvente de Datos (DEA) se mide la eficiencia técnica. El análisis se estructuró en tres clusters: por países con y sin China, y por regiones conformadas por empresas con inversiones en IA. En el análisis por países se obtuvo que Holanda, Suecia, Chile y Colombia resultaron ser más eficientes, mientras que USA, Japón y Brasil son menos eficientes. Con respecto al segundo análisis, destacan como eficientes China y Latinoamérica. Para el último caso, Europa y Latinoamérica resultaron eficientes. Se observa que el crecimiento en el índice global de innovación, así como la creación de políticas económicas en países para el desarrollo de esta tecnología, son claves para un crecimiento económico pronosticado.

Palabras clave: Eficiencia; inteligencia artificial; DEA; países; competitividad.

Código UNESCO: 1207 – Investigación operativa.

Abstract

Artificial intelligence is projected as a new factor of production to improve the competitiveness of countries. This research analyzes the technical efficiency of the application of Artificial Intelligence (AI) as a production factor in companies located in Europe, North America, Asia and Latin America aimed at increasing their competitiveness. Research data on the impact of AI in the world economies, figures on startups, the global index of innovation and investments in AI are taken. Through Data Envelopment Analysis (DEA) the technical efficiency is measured. The analysis was structured in three clusters: by countries with and without China, and by regions with companies with investments in AI. The analysis by countries showed that Holland, Sweden, Chile, and Colombia are more efficient, while the USA, Japan, and Brazil are less efficient. With respect to the second analysis, China and Latin America stand out as efficient. For the latter case, Europe and Latin America proved efficient. It is observed that the growth in the global index of innovation, as well as the creation of economic policies in countries for the development of this technology, are keys to predicted economic growth.

Keywords: Efficiency; artificial intelligence; DEA; countries; competitiveness.

UNESCO Code: 1207- Operative investigation.

1. Introducción

El término Inteligencia Artificial (IA) fue acuñado en 1956 en el acta del proyecto planteado en el *College* en Hanover, New Hampshire titulada: “*A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*” [1]. Desde allí se ha comenzado a utilizar este término comúnmente a objetos no biológicos que mediante una programación son dotados de la capacidad de realizar labores que en algún tiempo eran restringidas a los humanos. Lo más fascinante de esta definición es el término “artificial” ya que sugiere que no proviene de algo natural o biológico producto de la evolución, sino de la invención humana [2]. Dotar a un sistema de inteligencia implica crearlo, enseñarlo y programarlo para que aprenda de sus experiencias.

La Inteligencia Artificial también puede definirse como sistemas computacionales que pueden sentir su ambiente, pensar, aprender y tomar decisiones en respuesta a sus objetivos y lo que está midiendo [3]. Esta tecnología se puede clasificar como una Tecnología de Propósito General (TPG) aplicable a diferentes ámbitos de la industria, particularmente el aprendizaje automático tiene el potencial de ser omnipresente, mejorarse con el tiempo y generar innovaciones complementarias, convirtiéndola en candidata para un TPG importante [4].

Países como China, USA, Holanda, Suecia, Alemania, Chile y Japón, desean mejorar sus economías utilizando como un innovador factor de producción la Inteligencia Artificial. Según estudios realizados por empresas consultoras como *Accenture* [5], *pwc* [3], *CB Insights* [6], *The Boston Consulting Group* [7] reportan la IA como factor que acelera la eficiencia de los sistemas mediante tres formas: mediante la creación de una fuerza de trabajo virtual, en segundo lugar con el aumento de las capacidades de la fuerza de trabajo actual y por último, mediante la creación de innovaciones en la economía. La inteligencia artificial no solo permitirá hacer las cosas de una mejor forma, sino que hará cosas diferentes [5].

La IA brinda ventajas competitivas como un nuevo factor de producción conjugando un capital humano y cibernético para crear valor en los sistemas donde se aplica. El modelo tradicional para calcular el crecimiento de la productividad se basaba en los factores capital, trabajo y tecnología [5]. Al aplicar IA, como tecnología disruptiva, cambia el paradigma de las tecnologías creadas hasta este momento, debido a su capacidad de aprendizaje y mejoramiento continuo [8]. Es así como USA y China hacen esfuerzos por mantenerse como líderes mundiales de la economía de la IA [6], por otra parte regiones como Latinoamérica ven en la IA un nuevo factor que impulsa sus economías para emerger de una década de decrecimiento económico [9], sin embargo el beneficio de la IA depende de cómo se maneje la transición en la aplicación de esta tecnología [10].

La automatización como fuerza detrás del cambio en la productividad y el impacto de la introducción de la IA en diferentes modelos de funciones de producción, muestra un escenario donde el PIB de los países presenta un crecimiento equilibrado. Para que la misma pueda convertirse en un nuevo factor de producción, se plantea como necesario preparar a la próxima generación, fortalecer los ecosistemas, fomentar regulaciones adecuadas, promover un código de ética y minimizar riesgos sociales [8]. Los aspectos negativos de la tecnología y su incremento de la productividad dependerá de la forma en como sea adaptada e incorporada a la vida de las personas [11].

La IA junto con la interconectividad globalizada debido a Internet, plantea la cuarta revolución industrial definida como la transición hacia nuevos sistemas ciberfísicos que operan en forma de redes más complejas construidas sobre la infraestructura de la revolución digital anterior [12]. Si bien muchas de las tecnologías que hoy convergen ya existían, aunque de forma embrionaria y sin la robustez que hoy aportan, la diferencia con respecto al pasado se basa en la forma en que se combinan para generar disrupciones significativas [13].

En los últimos dos años, múltiples empresas dedicadas al análisis de tendencias industriales y de negocios, han publicado informes sobre el impacto de la IA en los negocios y la forma en que las

organizaciones se preparan para su adopción. Algunos de estos son *Getting Smarter by the Sector: How 13 Global Industries Use Artificial Intelligence*, publicado en el 2017 por *Tata Consultancy Services* [14], así mismo *CBS Insights* en el 2018 publicó un informe titulado *Top AI Trends To Watch In 2018*, en el cual tratan de pronosticar los efectos en las economías de las regiones al implantar IA en sus empresas [6]. Por otra parte *Accenture Research* publicó un informe acerca de las tendencias mundiales en el área de IA y los sectores empresariales que están más propensos a aplicar esta tecnología para mejorar sus capacidades [5]; la empresa *PwC* publicó un análisis titulado: *Sizing the prize What's the real value of AI for your business and how can you capitalise?*, el cual propone las potencialidades reales de esta tecnología y maneras de ser utilizada como ventaja competitiva [3].

Por otra parte empresas de manufactura, de salud y agrícolas han comenzado a investigar sobre la aplicación de esta tecnología en la búsqueda de mejoras potenciales en sus procesos. Se tiene además bibliografía especializada en cómo aplicar esta tecnología, Mohammadi y Minaei (2019)[15] en su libro *Engineering Tools in the Beverage Industry* en una sección titulada: *Artificial Intelligence in the Production Process* tratan métodos de fabricación inteligentes que incluyen robots, análisis de grandes cantidades de datos, uso de sensores y toma de decisiones realizados por máquinas, como propuestas para cambiar la forma de fabricar, empacar y entregar productos a los clientes [15].

En el presente trabajo se realiza un análisis de eficiencia en países y regiones, específicamente China, USA, Europa y Latinoamérica, respecto a la aplicación de IA y sus pronósticos de crecimiento en su producción. Este estudio sobre eficiencia se realiza mediante la aplicación del método Análisis Envoltante de Datos (DEA), para ello se analizan como variables el Índice Global de Innovación, la cantidad de *Startups* ubicados en cada región y país, los respectivos Productos Internos Brutos y el pronóstico del impacto que espera de la IA en dichos países y regiones.

2. Eficiencia y productividad

Según una definición general, la productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla [16]. Así pues, la productividad se define como el uso eficiente de recursos, trabajo, capital, tierra, materiales, energía, información en la producción de diversos bienes y servicios [11]. Una productividad mayor significa la obtención de más con la misma cantidad de recursos, o el logro de una mayor producción en volumen y calidad con el mismo insumo. La productividad también puede definirse como la relación entre los resultados y el tiempo que lleva conseguirlos. Cuanto menor tiempo lleve lograr el resultado deseado, más productivo es el sistema. Es importante destacar que la eficiencia es diferente a la productividad debido a que este término se refiere a la creación de bienes o productos de alta calidad en el menor tiempo posible [11].

Solow en su investigación realizada en 1957 define por primera vez el término residual debido a la tecnología como parte fundamental de la medición de la productividad, en la que se separa la contribución al crecimiento económico de la cantidad de trabajo y capital, del efecto debido al cambio técnico [17]. El aumento de la productividad debido a la IA está enmarcada en tres aspectos: la automatización de los procesos, aumentando la capacidad de la fuerza laboral mediante tecnologías que apliquen IA en los procesos y por un incremento en la demanda debido a la interconectividad con los clientes que permitirá crear bienes o servicios más personalizados y de mayor calidad según los requerimientos del cliente [3].

Para integrar la IA al modelo clásico de productividad, se agrega como nuevo factor de producción capaz de generar grandes cambios no sólo en la velocidad para generar los productos y servicios, sino en nuevas formas de hacerlo y en la generación de productos y servicios a partir de la IA que aún están por crearse. *Accenture* diseñó un modelo donde anexa al modelo de crecimiento tradicional la IA como nuevo factor de producción [18], gráficamente representado en la **Figura 1**.



Figura 1. Modelo de crecimiento con IA como factor de producción [18].

La potencialidad de este nuevo factor de producción radica en el aumento de la capacidad de cómputo que se ha visto desarrollada en los últimos años, una caída en el precio de almacenamiento casi a cero y una explosión de los datos digitalizados [8]. La IA pasará a formar parte un capital de tecnología inteligente para las empresas, realizaran labores humanas pero pertenecerán a las organizaciones como parte de sus activos, de sus sistemas. Debido a que este tipo de tecnología posee algo que hasta el momento era exclusivo de los humanos, la inteligencia y la capacidad de aprender, debemos esperar mucho más de lo que esperaríamos de una máquina construida para operar a ciertos niveles de eficiencia, por lo tanto la productividad de la IA estará estrechamente relacionada a su programación y funciones. No se trata de que las máquinas sustituyan a las personas, sino que los humanos puedan ser capaces de dedicarse a labores más relacionadas al pensamiento creativo e innovador.

Además, se tiene que este nuevo factor de producción se está desarrollando a través de iniciativas particulares y no de grandes corporaciones como se solían dar las innovaciones disruptivas, en IA estamos presenciando un cambio notable en la forma de innovar, en lugar de venir de grandes empresas multinacionales, la innovación ahora proviene en gran medida de laboratorios de investigación, plataformas digitales y *startups* [19]. Estos son los actores que crean algoritmos y desarrollan casos de uso, son el cerebro detrás de las innovaciones en reconocimiento de imágenes, procesamiento de lenguaje natural y conducción automatizada. Las *startups* que producen tecnología IA son un híbrido entre empresas y laboratorios de investigación en términos de sus áreas de enfoque, composición del equipo, duración del desarrollo del producto, al menos. La investigación y salida al mercado ocurren simultáneamente, requiriendo un rediseño de los esquemas tradicionales de transferencia de tecnología [19]

2.1 Análisis envolvente de datos

El análisis envolvente de datos surge como una extensión de los estudios de Farrell (1957) [20], quien proporciona una medida satisfactoria de la eficiencia que tiene en cuenta las entradas. En su investigación Farrell realiza los siguientes supuestos:

- Las empresas operan bajo condiciones de rendimientos constantes a escala. Esto significa que el incremento porcentual de la salida es igual al incremento porcentual de la entrada.
- El incremento en la entrada por unidad de salida de un factor implica eficiencia técnica más baja.
- La función de producción eficiente es conocida.

Así la eficiencia técnica pone de manifiesto la capacidad que tiene una Unidad para obtener la máxima salida a partir de un conjunto de entradas, y se obtiene al comparar el valor observado de cada unidad con el valor óptimo que viene definido por la frontera de producción estimada [21]. En el modelo de Farrell supone que la frontera de producción es conocida; sin embargo esto no sucede así y por lo tanto es necesario estimarla [20]. El análisis envolvente de datos es un enfoque relativamente nuevo orientado hacia los datos utilizados para evaluar una serie de unidades de toma de decisión o *Decision Making Units* (DMUs) los cuales convierten múltiples entradas en múltiples salidas. La definición de tales DMUs es muy flexible. En los últimos años este tipo de análisis puede ser aplicado en muchos ámbitos, contextos y países [22].

Desde que el Análisis Envolvente de Datos, DEA, por sus siglas en inglés, fue introducido en el año 1981 por Charnes, Cooper y Rhodes [23], un número amplio de investigadores han aplicado esta herramienta para realizar evaluaciones de múltiples aspectos, ya que es una metodología fácil de aplicar para el modelaje procesos. Estos autores describieron el análisis DEA como un modelo de programación matemática aplicado a datos observacionales que proporciona una nueva forma de obtener estimaciones empíricas de relaciones tales como las funciones de producción y/o la posibilidad de superficies de producción eficientes que son pilares de las economías modernas [22].

Para el desarrollo del análisis envolvente de datos es necesario establecer el número de DMUs y de las entradas y salidas, lo cual debe ser realizado con mucha dedicación ya que de estos datos dependerá la calidad del análisis a obtener. Además debe tomarse en consideración si el modelo DEA a utilizar es orientado hacia las salidas o hacia las entradas. Un modelo orientado hacia las entradas buscará reducir al máximo las entradas dado un nivel de salidas mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción. Una unidad no es eficiente si es posible reducir sus entradas sin alterar sus salidas. Por otro lado, un modelo orientado hacia las salidas busca maximizar las salidas dado un nivel de entradas que permanezca dentro de las fronteras de producción, en este sentido una unidad no puede ser caracterizada como eficiente si es posible maximizar una salida sin incrementar las entradas o disminuir otras salidas [21].

2.2 Metodología

Para el presente análisis, los países representan los DMU's. Además se establecieron tres clúster de países de distintas regiones a nivel mundial que presentan pronósticos positivos en su crecimiento económico según los siguientes informes: *Accenture: Why artificial intelligence is the future of growth— macroeconomic view* [18], *Tata Consultancy: Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies* [14], y la Revista Integración y Comercio N° 44 del Banco Interamericano de Desarrollo [24]. Esta última institución presentó un volumen titulado *Algoritmolandia* en el cual se analizan los riesgos y oportunidades de las máquinas inteligentes en áreas que tienen importancia relevante para el perfil productivo latinoamericano, este informe está constituido por el aporte de más de 40 expertos en el área de IA y proviene del análisis de informes publicados por consultoras a nivel mundial especialistas en análisis de tendencias en economía [24].

Otra fuente de información utilizada como base para la selección de los países fue el ranking publicado por la OMPI del índice global de innovación del año 2018 [25]. El Índice Mundial de Innovación clasifica a 126 economías en función de 80 indicadores, desde los índices de presentación de solicitudes de derechos de propiedad intelectual hasta la creación de aplicaciones móviles, el gasto en educación y las publicaciones científicas y técnicas. Publicado anualmente desde 2007, el Índice Mundial de Innovación es actualmente uno de los principales instrumentos de análisis comparativo de que disponen los directivos de empresas, los encargados de la formulación de políticas y otras personas interesadas en conocer la situación de la innovación en el mundo. En él se tienen en cuenta la función fundamental de la innovación como motor del crecimiento económico y la prosperidad, así

como la necesidad de que exista una amplia visión de la innovación aplicable a las economías desarrolladas y emergentes [25]. Así mismo se utilizó como criterio de selección para los países el informe publicado por la Tata Consultancy Services: *Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies* [14].

Las variables seleccionadas de entrada y salida para cada caso dependieron de la disponibilidad de información confiable publicadas. En el **Cuadro 1** se muestran las variables de entrada y salida para los análisis por países o regiones. Las variables de entrada representan los recursos actuales en cuanto a la potencialidad económica de cada país, su estatus actual en cuanto innovación y los proyectos en fase de conceptualización de IA, se toman como el capital y los recursos humanos con el potencial necesario para desarrollar desde la actualidad el impacto que se espera obtener de la IA sobre las economías. Con respecto al análisis de las empresas que aplicaron IA por regiones, se definen las variables que se muestran en el **Cuadro 2**.

Cuadro 1. Definición de variables para el análisis de eficiencia.

Variables	Siglas	Clasificación	Definición
Pronóstico de la variación del incremento del Producto Interno Bruto del país o región	PPIB	Salida	Efecto neto de la IA sobre las economías a largo plazo para el 2035 o 2030 en estado estacionario. Es una medida del incremento de la ganancia que tendrá el país o región por la aplicación de la IA en sus economías [5].
Producto Interno Bruto del 2017 del país	PIB	Entrada	El PIB como concepto estadístico trata de medir la cantidad de bienes y servicios finales (destinados al consumo final o a la acumulación) que son objeto de transacción en el mercado, en un período de tiempo determinado (mes, trimestre, año) Normalmente la valoración de esta producción se hace a precios de mercado [26].
Número de <i>Startups</i> en IA por país	NSIA	Entrada	Los <i>startups</i> conceptualizan y desarrollan productos y servicios en este caso en el área de IA [27].
Ranking del Índice Global de Innovación.	RIGI	Entrada	Índice que toma en cuenta la innovación como motor de crecimiento y prosperidad [25]

Cuadro 2. Definición de variables para el análisis de las empresas por regiones.

Variables	Siglas	Clasificación	Definición
Inversión en el 2016 en Iniciativas de IA	Inv	Entrada	Millones de dólares invertidos por las empresas en el desarrollo de IA dentro de sus empresas [14]
Número de empresas que gastaron más de 250 millones de dólares en iniciativas de IA en la región	N	Entrada	Cantidad de empresas cuyo gasto excedió los 250 millones de dólares en iniciativas de IA [14]
Ingresos promedio de las empresas que están realizando inversiones en IA	IP	Salida	Dinero capitalizado como ingreso para la empresa [14]

Fuente: *Tata Consultancy: Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies* [14].

Se realizaron tres análisis de eficiencia, conformando para ello tres clusters. El primero conformado por siete países, de los cuales cuatro se encuentran en las primeras veinte posiciones del Índice Global de Innovación (IGI) y tres son Latinoamericanos, considerados países emergentes en dicho índice, estos son Colombia, Chile y Brasil. Sobre estos países se consideró los datos de un

estudio realizado por la empresa *Accenture* acerca del pronóstico de crecimiento del PIB de dichos países por aplicación de IA para el 2035 [5]. Para el segundo clúster se incluye China y Norteamérica para comparar sus eficiencias relativas, Latinoamérica como área se incluye con el fin de contar con una perspectiva relativa con respecto a estas grandes economías y sus esfuerzos por alcanzar mayor eficiencia a través de la IA; para este análisis se utilizaron datos provenientes de la *PwC* para determinar el efecto neto de la IA sobre las economías a largo plazo para el 2030 [28]. Por último, como tercer cluster, se tienen datos de empresas ubicadas en Latinoamérica, Asia del Pacífico, Europa y Norteamérica, resultantes de un estudio realizado por la *Tata Consultancy Services* sobre las inversiones en IA y los ingresos obtenidos por las mismas [29].

En el **Cuadro 3** se muestran los datos para el análisis por país o región. La tasa de incremento del PIB para el 2035 es tomado del pronóstico realizado por *Accenture* y presentado en su informe *Why artificial intelligence is the future of growth—Macroeconomic view* [18]. El Producto Interno Bruto de cada país se obtuvo de los datos publicados por el Banco Mundial. El número de *startups* se obtuvo a partir del estudio realizado por Roland Berger en asociación con *Asgard Capital Verwaltung GMBH*, en el año 2017 titulado *Artificial Intelligence – A strategy for European startups. Recommendations for policymakers* [19], finalmente el Ranking del Índice Global de Innovación se obtuvo del reporte anual presentado por la OMPI en el año 2017 [25].

El **Cuadro 4** muestra los datos para el análisis entre China, Norteamérica y Latinoamérica, estos datos fueron extraídos en el caso del Incremento de Producto Interno para el 2030 del informe presentado por la *PwC* titulado *Sizing the prize: What’s the real value of AI for your business and how can you capitalise?* publicado en el 2017 [3]. Así mismo el PIB fue tomado de los datos publicados por Banco Mundial en su portal Web y el Numero de *Startups* los reportados por Roland Berger en asociación con *Asgard Capital Verwaltung GMBH*, en el año 2017 en el informe titulado *Artificial Intelligence – A strategy for European startups. Recommendations for policymakers* [19].

Cuadro 3. Datos para el análisis de eficiencia - Clúster 1.

País	Tasa del incremento del PIB para el 2035 (puntos)	PIB 2017 (Billones de Dólares)	NSIA	RIGI
Holanda	3,2	826,20	26	2
Suecia	3,6	538,04	55	3
USA	4,6	1.9391,00	1393	6
Chile	4,5	277,08	2	47
Colombia	4,5	309,19	1	63
Brasil	4,1	2.056,00	26	64
Japón	2,7	4.872,00	113	13

Cuadro 4. Datos para el análisis de eficiencia - Clúster 2.

País	Tasa del incremento del PIB para el 2030 (%)	PIB (Trillones de Dólares)	NSIA
China	26,1	21,05	383
Norteamérica	14,5	12,24	1524
Latinoamérica	5,4	5,96	41

El **Cuadro 5** muestra los datos para el análisis por empresas de las regiones que invirtieron en IA. La Fuente de los datos fue el informe de la *Tata Consultancy: Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies* (2017) [29].

Estos datos fueron analizados mediante el software *Frontier Analyst Application*® [30] a través del cual se aplicó el análisis envolvente de datos para medir la eficiencia técnica de cada país o región respectivamente.

Cuadro 5. Datos para el análisis de eficiencia- Clúster 3.

País/Región	Inversión en Iniciativas de IA en el 2016 (Millones de Dólares)	Número de Empresas que invirtieron más de 250 Millones de Dólares en iniciativas de IA	Ingreso Promedio de las Empresas que invirtieron en IA (Billones de Dólares)
Latinoamérica	55,83	2	20
Asia - Pacífico	56,52	8	15,9
Europa	63,97	15	23,5
Norteamérica	80,37	26	19,8

2.3 Resultados y discusión

Al analizar los datos y utilizando un modelo de rendimiento constante orientado a maximizar las salidas, se obtuvo los siguientes resultados. Para el análisis entre países del primer cluster se determinó que países como Holanda, Suecia, Chile y Colombia resultaron eficientes en la aplicación de IA como un nuevo factor de producción como se muestra en la **Figura 2**.

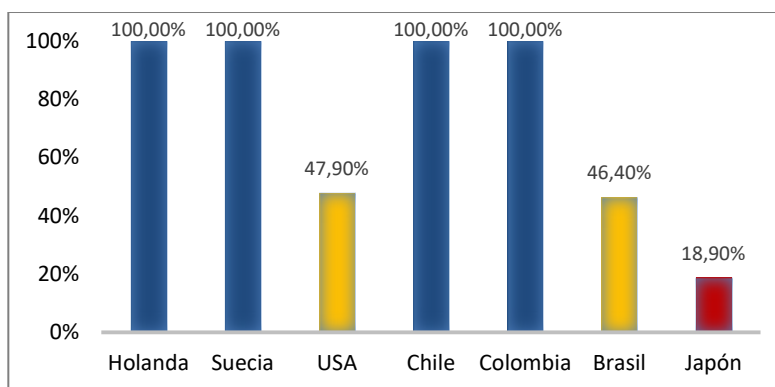


Figura 2. Eficiencia técnica para países del Clúster 1.

Holanda y Suecia destacan en el análisis, en concordancia con sus posicionamientos, segundo y tercer puesto respectivamente, en el Índice de Innovación Global 2018 publicado por la OMPI [25]. Además pertenecen a Europa, región donde se encuentran numerosos países innovadores y de *startups* a nivel mundial. En un estudio realizado en el 2015, acerca de la producción científica en Inteligencia artificial, se determinó que Holanda produce el 39% del material editorial en el área de IA con un total de 6 revistas dedicadas a esta área de la tecnología [31]. Holanda cuenta con iniciativas en estudios de IA para personas con poca formación en dicha tecnología en la ciudad de Ámsterdam. El programa, llamado *AI for Marketing & Growth*, está dirigido por la academia Tribu de crecimiento, especializado en la enseñanza de habilidades de crecimiento digital a través de cursos prácticos y entrenamiento para equipos corporativos [32]. Más aún esta ciudad holandesa cuenta con un centro denominado *Startup Village* en la cual se encuentran ubicadas startups en el área de IA tales como Scyfer y HAL24K [33].

Además la Unión Europea está creando planes a largo plazo para fomentar las investigaciones en IA a través de proyectos tales como: *FinTech Action Plan*, *European Artificial Intelligence-on-demand platform*, *Call for a High-Level Expert Group on Artificial Intelligence*, *Horizon 2020* [34]. Este último proyecto tendrá una inversión de 20 billones de dólares y se ejecutará entre el 2018 y 2020. Aunado a esto científicos europeos dedicados a IA publicaron una carta abierta en Abril del 2018 en la cual instan a los gobiernos a crear un instituto multinacional europeo dedicado a la Investigación en IA, para captar talentos y evitar la fuga de cerebros hacia grandes corporaciones de otras regiones [19]. Esto demuestra los grandes esfuerzos en el desarrollo local europeo de la IA como fuente de crecimiento de la región.

Con respecto a los países Latinoamericanos de Chile y Colombia son países que escalaron desde los puestos 46 y 65 al 42 y 63 respectivamente en el Índice de Innovación Global [25], Chile continuó siendo líder de la región Latinoamericana en cuanto a innovación. Con respecto a la IA a pesar de que estos poseen menor cantidad de *startups* que Brasil, tal parece que sus esfuerzos son más enfocados para generar más beneficio. En Chile la penetración que ha logrado la inteligencia artificial en la industria es de admirar, lleva años aplicándose de manera parcial en el país [28], teniendo una buena recepción, en una encuesta realizada por el INTAL-Latinbarometro se indagó acerca de la disposición de los Chilenos a viajar en un vehículo manejado por un robot y el porcentaje de respuestas afirmativas fue de 43% la más alta de toda la región, lo cual brinda un escenario muy prometedor para este tipo de tecnologías en el país [8].

Como ejemplo de la innovación desarrollada en IA por los chilenos se encuentra Zippedi, esta iniciativa fue desarrollada íntegramente en el país gracias al apoyo de Corfo, Conicyt y de cadenas locales del retail, y es capaz de revisar cada noche los precios y el correcto posicionamiento de más de diez mil productos dispuestos en las góndolas de los locales, lo cual es un ejemplo de la tecnología desarrollada por los chilenos [28]. A pesar que USA y Japón son considerados grandes proveedores de tecnología en el área de IA, y resulten ser menos eficientes en el estudio, probablemente se deba a que sus esfuerzos son mucho mayores con respecto al resto de los países del análisis para mantenerse en los primeros puestos de la IA. USA en este año 2108 retrocedió en el índice global de innovación del puesto 4 al puesto 6; sin embargo sigue siendo un líder mundial en innovación, este descenso puede significar la desaceleración en la producción de la innovación tecnológica.

Se tiene que durante los últimos cinco años a pesar que sigue siendo un líder en cuanto a *startups* y ofertas de capital en IA, la equidad con el resto del mundo se ha reducido de 75% a 50% en cuanto a IA, así mismo el número de patentes publicadas referidas a IA solo creció de 108 a 130 entre el 2016 y 2017 [6]. Sin embargo USA sigue trabajando en planes para afianzarse como líderes en IA, este país cuenta con la mayor cantidad de artículos publicados en el área, 15.317 entre el 2011 al 2014, además de contar con la mayor cantidad de personas trabajando en IA, aproximadamente 850.000, y la mayor inversión privada (66%), quizás todo este esfuerzo no se vea reflejado en el crecimiento proyectado.

Un informe publicado por la Casa Blanca en el último año del mandato de Barack Obama, *“Preparing for the Future of Artificial Intelligence”*, definen estrategias del país para convertirse en líderes mundiales en IA, incluye propuestas de inversión de 4.000 millones de USD dólares para investigación de vehículos autónomos, la inversión directa de más de 1.200 millones de USD dólares en tecnologías relacionadas con la IA por parte del gobierno, el liderazgo militar -mención especial a los drones, así como la inversión en I+D realizada por el *National Institutes of Health* (NIH), así como el Departamento de Empleo y el de Educación en la mejora de sus áreas gracias a la IA [35].

Con respecto a Japón, el gobierno plantea que la IA sea clave para el futuro de este país. Se ha intensificado el uso de la inteligencia artificial y la robótica estrategias de desarrollo, instando a las empresas a invertir más en investigación de nuevas tecnologías, sin embargo han sido relativamente lentas en aprovechar las oportunidades que presenta la IA [36]. Japón sigue a la vanguardia en hardware como los robots, sin embargo esta fortaleza es mermada frente a exigencias de software para su funcionamiento, y puedan así ser competitivos en el mercado internacional [36].

La **Figura 3** muestra los resultados del análisis al comparar China con Norteamérica y Latinoamérica, clúster 2, resultando eficiente con respecto a Norteamérica en cuanto a sus pronósticos de crecimiento utilizando la IA como factor de producción. China es un país que viene en crecimiento con respecto a la innovación, este país ascendió del puesto 22 en el 2017 al puesto 17 en el 2018 del índice global de innovación [25], posicionándose dentro de los 20 países más innovadores a nivel mundial. Este avance se debe a sus esfuerzos en innovar en el área de IA, es así como las nuevas empresas de IA de China se llevan el 48% de los dólares dirigidos a *startups* de IA a nivel mundial en 2017, superando a Estados Unidos por primera vez por cuota de dólares.

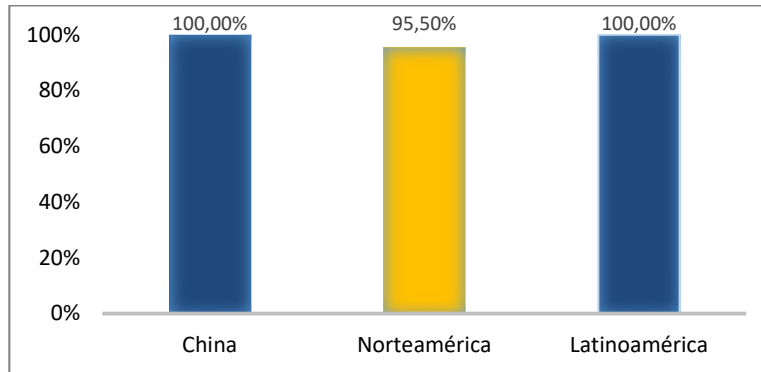


Figura 3. Eficiencia técnica determinada para el Clúster 2.

En el 2016 China representó sólo el 11,3% de la financiación mundial para *startups* en IA. Además para el año 2017 se registraron 2175 patentes relacionadas con *Machine learning*, *Deep Learning* e IA, esto registra un incremento del 207,5% con respecto al año 2016 [6]. Adicionalmente los gobiernos locales Beijing y Tianjin están construyendo centros de investigación en IA a un costo de 2,3 mil millones de USD dólares y 5 mil millones de USD dólares, respectivamente [19].

La **Figura 4** muestra los resultados de la eficiencia técnica obtenida por empresas de las regiones de Latinoamérica, Norteamérica, Europa y Asia del Pacífico. Se obtuvo que las empresas ubicadas en Latinoamérica y Europa resultaran eficientes en el análisis, mientras que Norteamérica y Asia Pacífico ineficientes. Empresas de distintos sectores están aplicando IA en sus procesos en mayor o menor porcentaje según un estudio publicado por la *Tata Consultancy Services*, las empresas de energía, telecomunicaciones, automotriz y al detal son las que están aplicando IA hoy en día en mayor proporción a nivel mundial [29].

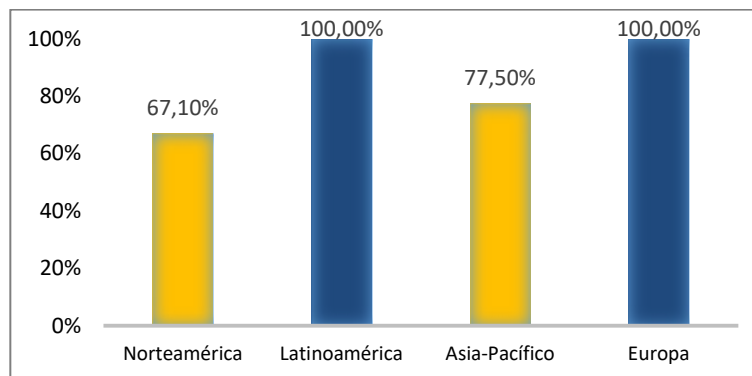


Figura 4. Eficiencia técnica para empresas que invierten en IA, Clúster 3.

Las empresas con las mayores mejoras de ingresos y costos en IA en 2015 compartieron cinco características principales: a) superaron a las empresas con las mejoras más pequeñas de IA por un factor de cinco; b) utilizaron la IA más ampliamente en sus organizaciones, y especialmente en áreas que parecen ser secundarias para generar ingresos a corto plazo; c) se enfocaron en áreas que afectan directamente su capacidad para ganar (y perder) dinero; d) prestaron más atención a abordar los temores de desempleo; y e) asegurarse de que sus departamentos de IT no temen usar IA en cualquier otro lugar, excepto en IT [13]. Lo esperado sería que a mayor cantidad de inversión mayor sería el beneficio que se espera obtener de la misma, sin embargo, la IA es una tecnología que se encuentra en pleno desarrollo y sus aportes a las productividades de las empresas aún están por verse y medirse en términos de impacto económico.

3. Conclusiones

Europa y los países que pertenecen a esta región resultaron ser eficientes en el pronóstico del uso de la Inteligencia Artificial como nuevo factor de producción, lo cual es una reafirmación de la potencialidad que ve esta región y sus países en esta tecnología como fuente de crecimiento económico, dado que sus posiciones en los índices globales de innovación son altos y sus esfuerzos presentes en Inteligencia Artificial en sus economías se evidencian en sus políticas públicas desarrolladas por cada país y la región.

Latinoamérica y países como Chile y Colombia resultaron ser eficientes. Sin embargo, los esfuerzos son puntuales y su eficiencia radica en que las pocas inversiones en Inteligencia Artificial se espera generen un crecimiento económico. Esta región percibió un ascenso en el Índice global de innovación y sus políticas económicas de estado hasta el momento de este estudio no promueven la IA como un factor importante para el crecimiento económico de los países o de la región.

Mediante los análisis de eficiencia técnicos realizados con los datos utilizados USA, y la región a la cual pertenece, Norteamérica, resultaron las menos eficientes en los tres análisis. Se evidenció una desaceleración en sus procesos de innovación debido a un descenso en el índice global de innovación con respecto a años anteriores y un pronóstico de crecimiento mediante el uso de Inteligencia Artificial inferior a otros países y regiones del mundo.

China resultó eficiente en el estudio, debido al incremento en el número de investigaciones y patentes publicadas en el área de Inteligencia Artificial, además de un ascenso en el índice global de innovación entre el 2016 y 2017 y políticas públicas que apoyan la integración de IA en su economía es un país que se está enfocando en hacer crecer su economía basándose en la IA.

Referencias

- [1] J. Mc Carthy; M. Minsky; N. Rochester; C. Shannon. A proposal for the darthmouth summer research project on artificial intelligence, August 31, 1955. *AI Magazine*, 27(4):12, 2006.
- [2] J. H. Fetzer. What is Artificial Intelligence?. *Artificial Intelligence: Its scope and limits. Studies in Cognitive Systems*, 3-27, Springer, Dordrecht, 1990. [OnLine](#)
- [3] A. Rao; G. Verweij. Sizing the prize. What's the real value of AI for your business and how can you capitalise?. *Pwc España*, 2017. [OnLine](#)
- [4] E. Brynjolfsson; D. Rock; S. Chad. Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: A Clash of Expectations and Statistics. *NBER Workshop on AI and Economics*, 2018.
- [5] M. Purdy; P. Daugherty. How AI Boosts industry profits and innovation, *Accenture*, 2017.
- [6] CB Insights. Top AI Trends to watch in 2018, pp. 1-2, 2018. [OnLine](#)

- [7] Boston Consulting Group & MIT Sloan Management Review. Reshaping Business with Artificial Intelligence, 2017.
- [8] A. Ovanessoff; E. Plastino. Una explosión de Productividad. *Integración y Comercio* 44:29-47, 2018.
- [9] G. Beliz. Las cinco revoluciones de la inteligencia artificial en America Latina. *Integración y Comercio*, 8-15, 2018.
- [10] P. Aghion; B.F. Jones; C.I. Jones. Artificial intelligence and economic growth (No. w23928), *National Bureau of Economic Research*, 2017.
- [11] J. Prokopenko. La gestión de la productividad. Manual practico, Ginebra: Organización Internacional del Trabajo, 1989.
- [12] K. Schwab. *The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond*. World Economic Forum. Enero 2016. [OnLine](#)
- [13] A. I. Basco, G. Beliz, D. Coatz and P. Garnero, *Industria 4.0 Fabricando El Futuro*, Buenos Aires: Banco Interamericano de Desarrollo, 2018.
- [14] S. Ramaswamy; H. Vin. *Getting Smarter by the Day: How AI is Elevating the Performance of Global Companies*. IT Services Business Solutions Consulting, 2017.
- [15] V. Mohammadi; S. Minaei. Artificial Intelligence in the Production Process. *Engineering Tools in the Beverage Industry*, Woodhead Publishing, 27-63, 2019.
- [16] Real Academia Española, *Diccionario de la Real Academia Española*, 2018.
- [17] R. Solow, Technical change and the aggregate production function, *The Review of Economics and Statistics*, 39(3):312-320, 1957.
- [18] M. Purdy; P. Daugherty. *Why Artificial Intelligence is the future of growth*, Accenture, 2016. [OnLine](#)
- [19] R. Berger, *Artificial Intelligence - A Strategy for European Startups*. Recommendations for policy makers, Asgard – Human Venture Capital, Berlin, 2018.
- [20] M. J. Farrel, The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120(3): 253-290, 1957.
- [21] V. Coll; O.M. Blasco. Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos, Edición Electrónica Eumet.Net, 2006. [OnLine](#)
- [22] W. Cooper; L. M. Seiford; J. Zhu. Data Envelopment Analysis. *Handbook on Data Envelopment Analysis. International Series in Operations Research & Management Science*, serie 71, 573 pages, Boston: Springer, 2004.
- [23] A. Charnes, W. W. Cooper and E. Rhodes, Evaluating program and managerial efficiency: an application of data envelopment analysis to program follow through, *Management science*, 27(6):668-697, 1981.
- [24] A. Estevadeordal; G. Beliz; E. Estevez y otros. Algoritmolandia: inteligencia artificial para una integración predictiva e inclusiva de América Latina. *Revista Integración y Comercio, BID*, 22(44), 2018. [OnLine](#)
- [25] Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). *Sobre el Índice Mundial de Innovación*. Julio 2018. [OnLine](#)
- [26] J. Martínez. El PIB (per cápita) como indicador de sostenibilidad. *Boletín de Estudios Economicos*, 65(200):283-308, 2010. [OnLine](#)
- [27] A. Vashistha, Transformando los Servicios Globales, *Integración y Comercio* 44: 83-97, 2018.
- [28] D. Aguirre. *La revolución, aporte y desarrollo que ha generado la inteligencia artificial en Chile*. PwC PricewaterhouseCoopers International, Febrero 2018. [OnLine](#)
- [29] S. Ramaswamy, H. Vin, *Getting Smarter by the Sector: How 13 Global Industries Use Artificial Intelligence*, Tata Consultancy Services, 2017.
- [30] B. S. Ltd, *Frontier Analyst Data Envelopment Analysis Software*, 2018. [OnLine](#)
- [31] A. M. Ravelo, S. C. de la Fe. La producción científica en Inteligencia Artificial. *Ciencias de la*

Información, 47(2):25-32, 2016.

- [32] D. Oude Kote. *Amsterdam leading the way in artificial intelligence*, *Artificial Intelligence for growth*, Amsterdam septiembre 2017, [OnLine](#)
- [33] D. Oude Kote. *Amsterdam AI startups to keep an eye on in 2017*. Amsterdam septiembre 2017, [OnLine](#)
- [34] European Commission. High-Level Expert Group on Artificial Intelligence. Robotics and Artificial Intelligence. [OnLine](#)
- [35] A. Pender. Por qué la Inteligencia Artificial marcará una nueva era para la humanidad, Microsoft News, 2018. [Online](#).
- [36] M.Lundin; S.Eriksson. Artificial Intelligence in Japan (R&D, Market and Industry Analysis). *EU-JAPAN Centre For Industrial Cooperation*. 39 pages, 2016, [Online](#)

Sobre la autora

Carla Yohana Fajardo de Andara

Ingeniero Químico. Magister Scientiarum en Mantenimiento Industrial. Candidata a Doctora en el programa de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Barquisimeto, Venezuela. Profesora e Investigadora en la UNEXPO, Barquisimeto, Venezuela.

Correo: cfajardo@unexpo.edu.ve

[Google Scholar](#).

[ORCID](#)