



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ECONOMÍA

**UNA APROXIMACIÓN EMPÍRICA AL CRECIMIENTO
ECONÓMICO: CASO PARA PAÍSES EMERGENTES Y
AVANZADOS**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE:
LICENCIADA EN ECONOMÍA**

PRESENTA:

HERNÁNDEZ CASTRO NADIA



TUTOR: DR. RAÚL CARBAJAL CORTÉS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., MARZO DE 2023



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A mi padre, Víctor Hernández Silva, por los viajes que nos ha tocado recorrer y que me permitieron extender mi conocimiento. A mi madre, Angélica Castro Alcázar, por su compañía y por nutrir mi camino.

A mis hermanas, Stephanie y Nathalie, por siempre ser mi ejemplo a seguir y ser parte de mi impulso personal y profesional.

A mi asesor, Dr. Raúl Carbajal, por su tiempo, dedicación y apoyo incondicional que me permitieron lograr alcanzar uno de mis mayores retos profesionales.

A mis sinodales, el Dr. Ernesto Bravo, el Dr. Jorge Calderón, el Dr. José Luis Clavellina y el Dr. Clemente Ruiz, por su amabilidad y tiempo para la culminación de la presente tesis.

A mi universidad, la Universidad Nacional Autónoma de México y al profesorado de la Facultad de Economía, que construyeron a una gran profesionista.

¡Gracias Nadia por creer en ti!

Índice

Introducción	1
CAPÍTULO PRIMERO	3
MARCO TEÓRICO: DESARROLLO ECONÓMICO Y GLOBALIZACIÓN	3
Clasificación Económica Mundial: Desarrollo Económico	3
Países Menos Adelantados (PMAs)	3
Caso 1: Países Emergentes o Países en Desarrollo	4
Caso 2: Países Avanzados o Países Desarrollados	5
Capacidad Productiva	9
Globalización y Revoluciones Tecnológicas	13
Hacia una sociedad del aprendizaje	15
Intervención gubernamental	20
Política cambiaria	21
Subsidios	22
Arreglos institucionales	22
Las patentes como barrera al acceso a la I+D	23
Alternativas de las patentes	28
CAPÍTULO SEGUNDO	30
MODELOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO CON TECNOLOGÍA.	30
Crecimiento económico - Modelo de Solow-Swan (1956)	31
Hacia un crecimiento transitorio	34
Estado estacionario	40
Regla de oro	46
Predicciones del modelo de Solow-Swan (1956)	50
Modelo de Solow-Swan con tecnología exógena	54
Modelo AK de Rebelo con crecimiento endógeno (1990)	58
Modelo de Romer 1986: Externalidades de Capital	63
CAPÍTULO TERCERO	67
MODELO ECONOMETRICO	67
Modelo de Convergencia absoluta y condicional.	67
Modelo Econométrico con Datos Panel	74
Conclusiones Finales	83
ANEXO I - Datos Panel	88
Bibliografía	103

Introducción

La evolución económica de cada país ha sido distinta a pesar de los avances tecnológicos que se tengan desarrollados hoy en día, es por ello que, la intención de la presente tesis es poder encontrar una explicación de porqué este crecimiento se sigue percibiendo lento para algunos países mientras que, otros siguen invirtiendo constantemente y hallando formas para mejorar estructuras y procesos que terminan directa o indirectamente influyendo en su economía o en el resto.

La presente tesis parte de una hipótesis en la que se supone que, el nivel de tecnología de un país depende mayormente de la Investigación y Desarrollo (I+D) que se realiza dentro y fuera de él. La I+D impulsa el crecimiento de una economía, ya que a partir de ella, se mejoran los procesos productivos, por lo que, durante la presente investigación, se pretende observar la evolución de las economías y la contribución de la inversión en herramientas que apoyen el desarrollo de la I+D que determina el progreso tecnológico de un país.

El título de la tesis está enfocado en un análisis comparativo para entender las diferencias en el crecimiento económico entre países avanzados y países emergentes, según el manejo que le dan a su inversión y las áreas en las que se desempeñan más, adecuado a sus demandas económicas, sociales y políticas para una mejora en su innovación e inserción de nuevas tecnologías en sus procesos productivos, y que además, son efectivas.

El capítulo primero es el *marco histórico* de la tesis, se desarrolla una propuesta para poder definir y comprender en qué se diferencia que un país sea líder o seguidor; comprender cuáles son las características que definen a un país como avanzado (país líder), o bien, cuáles son las características que define a un país como emergente (país seguidor) y entender sus avances en sus procesos productivos.

El capítulo segundo se puede tomar como el *marco teórico* de la investigación, donde se sugieren modelos explicativos para analizar propuestas que evalúan el crecimiento económico de un país a través de funciones de producción y que sobre todo, incluyeran el progreso técnico como un factor de crecimiento a largo plazo. Se partió del modelo neoclásico de Solow-Swan de 1956 y termina por enfocarse en modelos con crecimiento a largo plazo, denominados como endógenos.

Finalmente, en el capítulo tercero, se exponen dos evaluaciones empíricas, la primera tiene relación con el enfoque de una de las predicciones del modelo de Solow-Swan para analizar la convergencia de los países y una segunda evaluación, determinada a partir de un modelo econométrico con datos panel, que demostrará el desempeño de variables relacionadas a la investigación y desarrollo, con el fin de visualizar el alcance de estas y su influencia respecto al crecimiento económico de los países emergentes como de los avanzados.

CAPÍTULO PRIMERO

MARCO TEÓRICO: DESARROLLO ECONÓMICO Y GLOBALIZACIÓN

El *desarrollo económico* se considera como un proceso mediante (y durante), el cual se mejora la calidad de la vida de una sociedad, es decir, como un mejoramiento en el bienestar social (Mario M., José A. y Miguel S., 2007). El *crecimiento económico* se basa en el estudio del comportamiento de variables económicas como el *PIB per cápita*, incluso en su análisis se pueden incluir indicadores del bienestar social. El presente capítulo pretende comprender las diferencias que existen entre países emergentes y avanzados, a partir de sus cambios estructurales y cómo ello ha afectado o mejorado su desempeño, principalmente desde su capacidad productiva.

Clasificación Económica Mundial: Desarrollo Económico

El desarrollo económico es una línea de estudio donde se busca mejorar el ingreso, el bienestar y la capacidad económica, a través de la implementación de políticas económicas y públicas. Todo ello implica un proceso, en el que se proponen planes, proyectos y programas que vayan acorde a las necesidades de desarrollo que tiene cada país.

Países Menos Adelantados (PMAs)

El subdesarrollo o la falta de desarrollo se ha ubicado en un conjunto de países que no han alcanzado los niveles de progreso con respecto a los países más avanzados. El grupo de países más pobres se les clasificó como los Países Menos

Adelantados (PMAs), esta categoría de PMA fue creada en 1971 por las Naciones Unidas, se caracterizan por tener los siguientes rasgos:

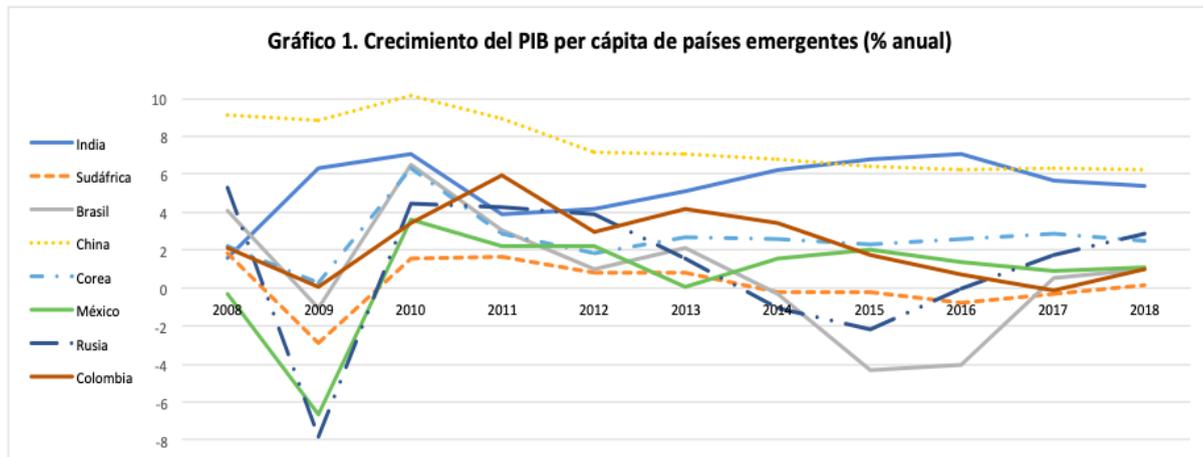
- ❖ Pobreza extrema
- ❖ *PIB per cápita* inferior a 750 dólares.
- ❖ Baja tasa de *inversión* y menor *nivel de ahorro*.
- ❖ Falta de servicios de *educación* y *sanidad*.
- ❖ *Monoexportación primaria*.
- ❖ Caída de la producción primaria y agrícola.
- ❖ Mínima participación en el *comercio mundial*.
- ❖ Dependencia de las exportaciones manufactureras.
- ❖ Alto crecimiento demográfico.
- ❖ Bajo grado de urbanización y de consumo de energía.
- ❖ Mercado interno restringido.

En el grupo de países menos adelantados (PMAs), según la UNCTAD (2019), lo conforman un total de 47 países. Entre los principales criterios que utiliza la UNCTAD para catalogar a los PMAs evalúa su *renta per cápita* y el *capital humano*. Debido a que el fin de la presente tesis es una comparación entre los países avanzados y emergentes, se tomarán también estos dos principales criterios con el objetivo de ir introduciendo la influencia que tienen a mayor o menor medida en estas dos variables.

Caso 1: Países Emergentes o Países en Desarrollo

Se califica a un país en desarrollo a aquel que su progreso económico y social está siendo impulsado y está en camino a convertirse en un país desarrollado. En el *Gráfico 1*, se expone el *PIB per cápita*, el *PIB per cápita* se le conoce por ser un indicador macroeconómico, una variable que representa la cantidad de dinero que le corresponde a cada habitante del país. En el gráfico, se muestran los datos que

corresponden a algunos países de América Latina, China y Corea, ya que son claros ejemplos de países que se categorizan como emergentes.

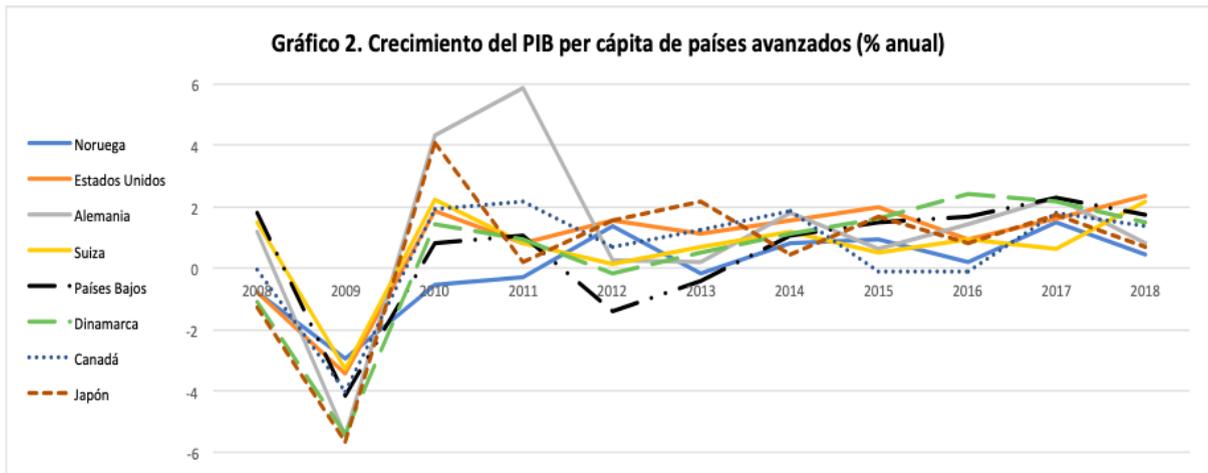


Elaboración propia con datos obtenidos de:
https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.KD.ZG?most_recent_value_desc=false

En las tendencias del crecimiento de su PIB *per cápita*, se aprecia una clara caída en el 2009 (a excepción de India), que se puede explicar por la crisis financiera derivada en el 2008 y a partir del 2010, se pueden observar picos de recuperación. Existe un bajo desempeño en el PIB *per cápita* en países como Brasil, que se ha intentado reactivar en los últimos años. China e India se destacan entre los demás, superando un porcentaje anual del crecimiento del PIB *per cápita* del 5% en los últimos años.

Caso 2: Países Avanzados o Países Desarrollados

Los países desarrollados son un conjunto de países que disfrutan de una renta *per cápita* alta, en este grupo se encuentran países pertenecientes a Europa, Estados Unidos, Canadá, Australia y Japón. En el *Gráfico 2*, se puede apreciar la tendencia del porcentaje de crecimiento anual de los ingresos de algunos países avanzados.



Elaboración propia con datos obtenidos de:

https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.KD.ZG?most_recent_value_desc=false

Al igual que en el *Gráfico 1*, se nota un desplome en el 2009, muy por debajo del -2% en todos los países, en cambio, en el 2010 se puede apreciar una pronta recuperación. Alemania parece destacar entre los demás, sin embargo, en el 2012 se alinea al mismo comportamiento que el resto. En el registro de los últimos años, se puede observar que Estados Unidos y Suiza presentan el mayor crecimiento anual.

A continuación, se evaluará el segundo criterio que toman para los PMAs, el *capital humano*, el cual es un índice compuesto que toma distintos indicadores como: el porcentaje de la población subalimentada; mortalidad infantil y materna; escolarización; y alfabetización. Con el objetivo de visualizar el desempeño de cada país, se decidió utilizar el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de este grupo de países, avanzados y emergentes.

El desarrollo es multidimensional, ya que incorpora los distintos aspectos universales que se identifican para medir el desarrollo económico, los cuales son:

- ❖ La salud

- ❖ La esperanza de vida
- ❖ La alfabetización (Nivel educativo)
- ❖ La vivienda
- ❖ La alimentación
- ❖ Servicios básicos (agua, luz, gas)

En su conjunto representan el Índice de Desarrollo Humano (IDH). Desde 1990 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) se dedica a publicar cada año un informe sobre el desarrollo humano, para definir el bienestar en el que cada país se encuentra, para ello, se calcula un índice, el cual considera tres dimensiones, eligiendo valores mínimos y máximos para cada uno de los indicadores.

Tabla 1. Límites para calcular el IDH		
Indicador	Valor máximo	Valor mínimo
Esperanza de vida al nacer (en años)	85	25
Tasa de alfabetización de adultos (%)	100	0
Tasa bruta combinada de matriculación (%)	100	0
PIB per cápita (PPA en US\$)	40,000	100

Fuente: PNUD (2019)

El desempeño que tenga un país en cada dimensión se expresa como un valor entre 0 y 1, entendiendo que entré más se acerqué al 1, cuenta con un IDH alto, a diferencia de si se va acercando más al cero. Para medirlo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de dimensión: } \frac{\text{valor real} - \text{valor mínimo}}{\text{valor máximo} - \text{valor mínimo}}$$

Arrojando la evaluación del IDH a una escala global, en la *Tabla 2* se resume el número de países que alcanzaron el nivel más alto de IDH hasta el más bajo, según los datos del 2019, 27 países alcanzaron un nivel de desarrollo humano muy alto, mientras que tan solo 18 de ellos presentaron un desarrollo bajo. Cabe destacar que la gran mayoría de países, 105 de ellos, presenta un IDH medio.

Nivel	Valor	Países
Muy alto	0,900 y superior	27
Alto	0,800-0,899	39
Medio	0.500-0,799	105
Bajo	inferior a 0,500	18

Fuente: PNUD (2019)

La *Tabla 3* muestra el ranking de los principales países que se caracterizan por tener un IDH muy alto, siendo de particular atención que en el listado se encuentran países avanzados como Noruega, Irlanda, Suiza, Islandia y Alemania. Contrarrestando los resultados, en la *Tabla 4* se ubican países emergentes que en el ranking del IDH se categorizan por tener un desarrollo humano medio.

Desarrollo Humano - Muy Alto						
IDH Ranking	País	IDH	Esperanza de vida al nacer (años)	Alfabetización (años)	Matriculación (años)	PIB per cápita a PPC en dólares
1	Noruega	0.957	82.4	18.1	12.9	66,494
2	Irlanda	0.955	82.31	18.7	12.7	68,371
2	Suiza	0.955	83.78	16.3	13.4	69,394
4	Islandia	0.949	82.99	19.1	12.8	54,682
6	Alemania	0.947	81.33	17.0	14.2	55,314
7	Suecia	0.945	82.8	19.5	12.5	54,508
8	Australia	0.944	83.44	22.0	12.7	48,085
8	Países Bajos	0.944	82.28	18.5	12.4	57,707
10	Dinamarca	0.94	80.9	18.9	12.6	58,662
16	Canadá	0.929	82.43	16.2	13.4	48,527
17	Estados Unidos	0.926	78.86	16.3	13.4	63,826
19	Japón	0.919	84.63	15.2	12.9	42,932
23	Corea	0.916	83.03	16.5	12.2	43,044

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del PNUD

<https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI>

Desarrollo Humano - Medio						
IDH Ranking	País	IDH	Esperanza de vida al nacer (años)	Alfabetización (años)	Matriculación (años)	PIB per cápita a PPC en dólares
52	Rusia	0.824	72.58	15.0	12.2	26,157
67	Seychelles	0.796	73.4	14.1	10.0	26,903
67	Trinidad y Tobago	0.796	73.51	13.0	11.0	26,231
69	Albania	0.795	78.57	14.7	10.1	13,998
70	Cuba	0.783	78.8	14.3	11.8	8,621
70	Irán	0.783	76.68	14.8	10.3	12,447
72	Sri Lanka	0.782	76.98	14.1	10.6	12,707
73	Bosnia y Herzegovina	0.78	77.4	13.8	9.8	14,872
74	Granada	0.779	72.4	16.9	9.0	15,641
74	México	0.779	75.05	14.8	8.8	19,160
83	Colombia	0.767	77.29	14.4	8.5	14,257
84	Brasil	0.765	75.88	15.4	8.0	14,263
85	China	0.761	76.91	14.0	8.1	16,057
114	Sudáfrica	0.709	64.13	13.8	10.2	12,129
131	India*	0.645	69.66	12.2	6.5	6,681

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del PNUD

<https://hdr.undp.org/data-center/human-development-index#/indicies/HDI>

*Para el caso de Rusia, está catalogada con un IDH Alto

Hasta el momento, se ha visto que los países avanzados que se caracterizan por tener un amplio desarrollo, reportan niveles de IDH muy altos y un crecimiento del PIB *per cápita* entre 0.5% y 2% anual, sin embargo, en los últimos años, países como India y China (países emergentes), están superándose en sus niveles de crecimiento del PIB *per cápita*, manteniéndose por arriba del 5% anual. Por otro lado, Rusia ha tenido un ascenso en sus niveles de crecimiento del PIB *per cápita*, incluso reportando por arriba de países avanzados en el 2018 y entra dentro de los países que tienen un IDH alto. A continuación, con el fin de profundizar el análisis, se describen los factores que determinan la capacidad productiva de un país, ya que a partir de esta capacidad se definen sus ingresos.

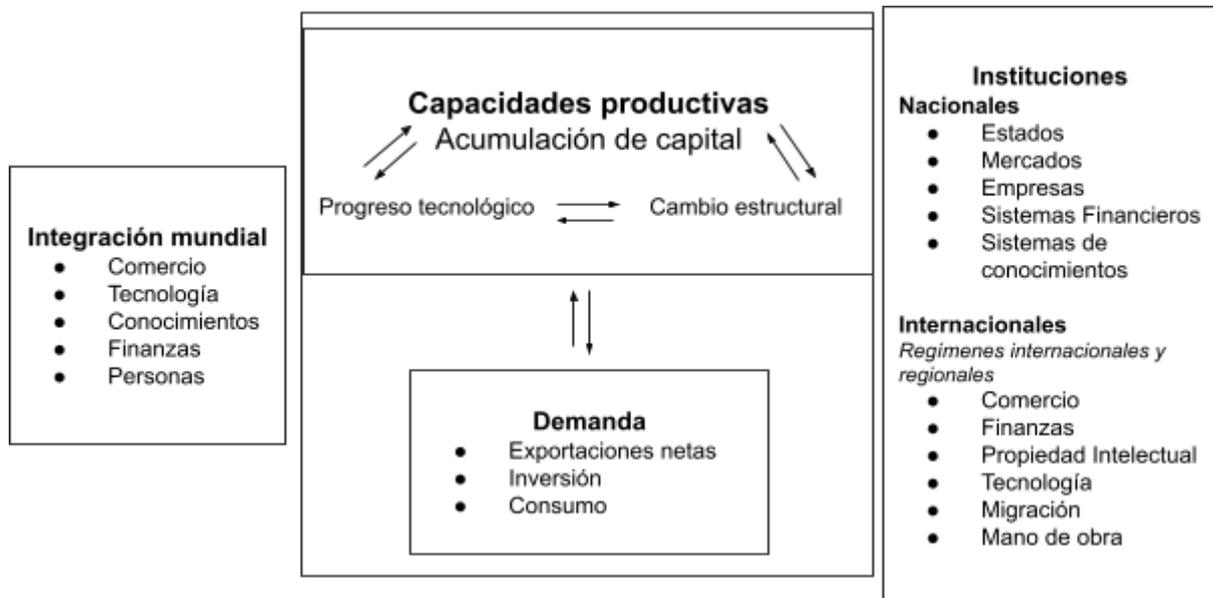
Capacidad Productiva

Una economía se mueve a partir del capital que este genera, por lo que, es importante focalizar el análisis en los procesos productivos de cada país, la forma en que están produciendo este capital y entender sus factores que crean el ambiente necesario para el desarrollo e implementación de herramientas con el fin de encontrar un crecimiento económico. Un informe creado por la UNCTAD (2006) describe los distintos factores que influyen en la capacidad productiva de los países.

En el *Cuadro 1* se incluyen tres principales procesos que se caracterizan por ser vías de desarrollo de las capacidades productivas: *la acumulación de capital*, el *progreso tecnológico* y el *cambio estructural*. La *acumulación de capital* hace referencia a los cambios de la oferta de recursos productivos; el *progreso tecnológico* es el desarrollo de las capacidades tecnológicas, mientras que el

cambio estructural son cambios en los tipos y densidad en la que está sujeta la producción de una economía.

Cuadro 1. Forma de Desarrollo de las Capacidades Productivas



Fuente: UNCTAD (2006)

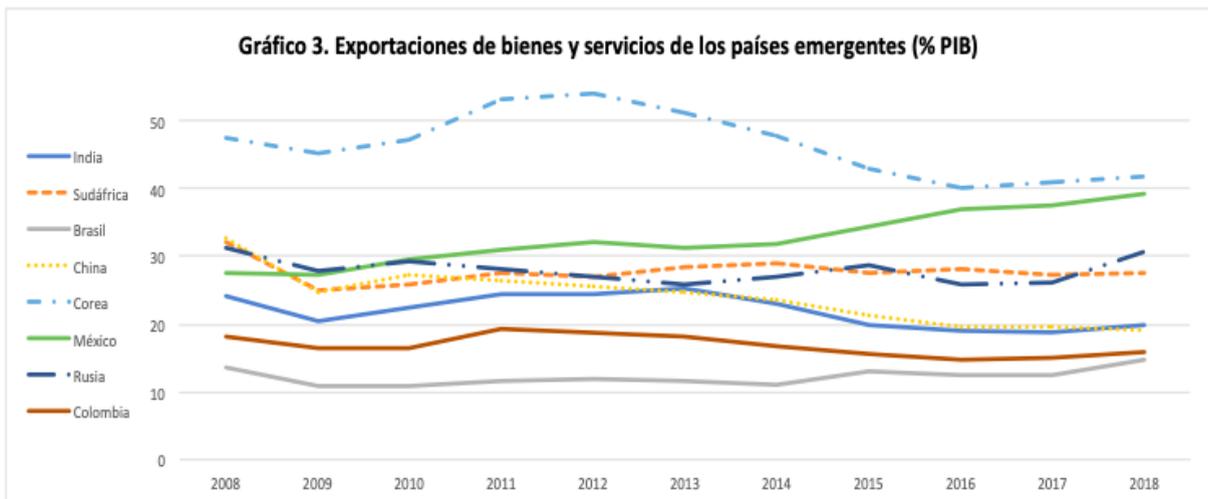
La *acumulación de capital* es el proceso de aumento de varios tipos de capital a través de la inversión, tales como el capital físico, como el capital humano. La inversión en el capital físico se puede dar a través de un aumento de las instalaciones, la maquinaria y el equipo utilizados por las empresas, o bien, los medios necesarios para las explotaciones agrarias, incluso puede incluir mantenimiento de las instalaciones. La inversión para la formación de capital humano depende del gasto público que se destine al sector de salud y educativo.

Por otra parte, el *progreso tecnológico* se caracteriza por ser un proceso que introduce nuevos bienes y servicios que ayudan a mejorar la organización y la producción mediante la innovación, a partir de nuevos métodos o herramientas de

trabajo. La innovación consiste en aplicar los conocimientos a la producción y para ello, requiere capacidades tecnológicas, como los conocimientos necesarios para introducir nuevos productos y estos procesos de producción y organización, o para mejorar los antiguos a través del capital humano guiado hacia un aprendizaje tecnológico.

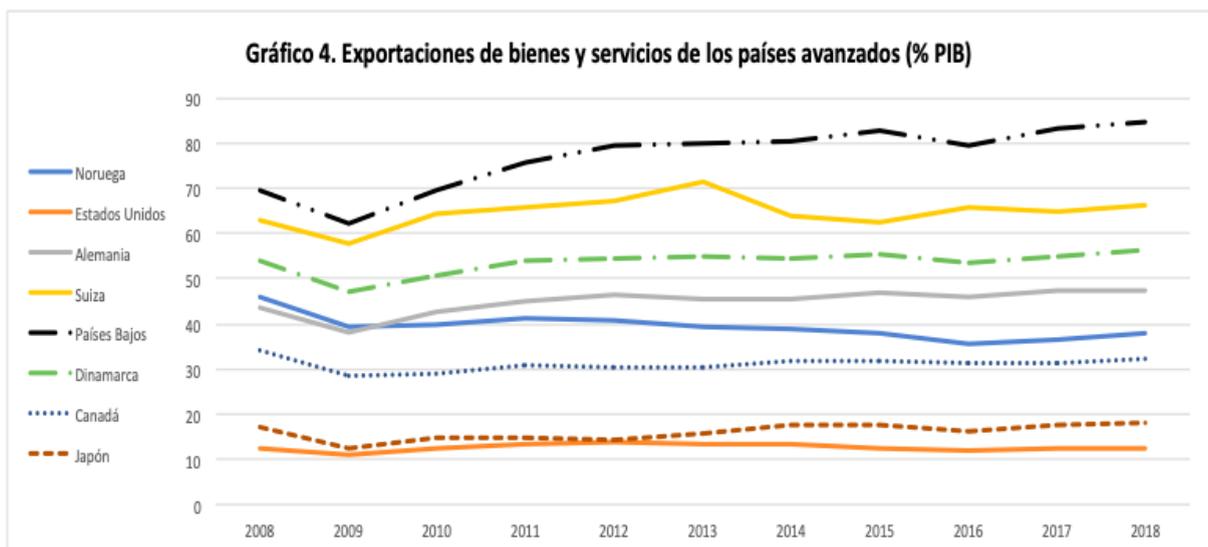
De las capacidades productivas se desprenden otras variables que influyen en su desempeño, como la demanda, que involucra elementos como las exportaciones netas, la estimulación en inversiones y el consumo, que está relacionado con los salarios reales y la renta real que puede definir un aumento o disminución en el consumo. A partir de estos elementos se puede medir el nivel de competitividad que tiene un país respecto al resto, determinado por las exigencias que exista en la demanda tanto interna como externa.

Con el propósito de comparar el nivel de competitividad de los países emergentes y avanzados, en los *Gráficos 3 y 4*, se muestra el porcentaje del PIB que representan las exportaciones de sus bienes y servicios. En primera instancia, se puede apreciar los altos niveles de exportación que tiene Corea respecto al resto de los países emergentes, registrando en el 2018 el 41.71% de exportaciones que influyen en su PIB, también se puede observar el continuo crecimiento que ha logrado ir manteniendo México en los últimos años.



Elaboración propia con datos obtenidos de:
<https://datos.bancomundial.org/indicador/NE.EXP.GNFS.ZS>

Para el caso de los países avanzados, se pueden apreciar las tendencias de Alemania, Dinamarca, Suiza y Países Bajos, que muestran niveles de exportación que influyen en su PIB superiores al 47%. Mientras que países como Estados Unidos y Japón tienen bajos niveles de exportación en los últimos años, a comparación del resto de países (emergentes y avanzados).



Elaboración propia con datos obtenidos de:
<https://datos.bancomundial.org/indicador/NE.EXP.GNFS.ZS>

El *cambio estructural* se puede desprender de los dos puntos anteriormente expuestos, ya que, por ejemplo, la inversión y la innovación pueden causar un cambio en los procesos de algunas actividades que por consiguiente, ocasionará

que ciertos sectores modifiquen su manera de obtener ganancias, de producir y se acoplen a las nuevas vertientes provocadas por la innovación. Esto se puede deber al tipo de integración mundial que tenga un país, por las instituciones nacionales e internacionales que se van ajustando a los contextos sociales, políticos y económicos que vayan surgiendo, se puede ejemplificar con eventos como las revoluciones tecnológicas, o bien, con la adopción de un sistema globalizado.

Globalización y Revoluciones Tecnológicas

Una sociedad evoluciona constantemente, se acoplan a los sistemas de creencias vigentes en un momento preciso que van modificando a su paso políticas económicas y sociales; provocando la creación de nuevos marcos institucionales, procesos productivos que se van adaptando a estas creencias. En la actualidad, la interconexión entre los países ha permitido buscar respuestas en el exterior, para extender y satisfacer el abanico de necesidades nacionales que pueda presentar cada país.

La CEPAL (2002) sustenta que la globalización está caracterizada por una gran movilidad de los capitales y de la mano de obra, principalmente basado en una reducción de los costos de transporte. Al incursionar en el libre comercio, los países desarrollados han presentado avances tecnológicos, que han cambiado su contexto de producción y comercio. Históricamente, cada avance en la tecnología, está acompañado de una revolución tecnológica.

Una revolución tecnológica puede ser definida como un poderoso y visible conjunto de tecnologías, productos e industrias nuevas y dinámicas, capaces

de sacudir los cimientos de la economía y de impulsar una oleada de desarrollo de largo plazo. (Carlota Pérez, 2002)

Carlota Pérez (2002) sostiene que el crecimiento económico desde finales del siglo XVII ha atravesado cinco etapas distintas, asociadas con cinco revoluciones tecnológicas (ver Tabla 4), lo describe como el *big-bang*, ilustrado como una explosión de nuevos productos industriales e infraestructuras, la cual conduce gradualmente al surgimiento de un nuevo paradigma tecno-económico capaz de guiar a los empresarios, gerentes, innovadores, inversionistas y consumidores, tanto en sus decisiones individuales como en su interacción.

Después del *big-bang*, los países pueden estar posicionados en uno de los tres grupos catalogados por Carlota Pérez. El primero caracterizada por aquellos que están *falling behind* que hace referencia a los que se están quedando atrás con los avances; *catching up* que serían los países que se están adentrando a los nuevos cambios y por último, se tiene a los *forging ahead* donde se ubican aquellos países que están tomando la delantera, como lo serían Estados Unidos y Alemania.

Las revoluciones industriales se fueron adaptando junto con un sistema globalizado, para hallar nuevas alternativas de innovación, investigación y desarrollo. Carlota Pérez (2002) considera que cada revolución tecnológica pasa por un periodo de *gestación* cuya duración puede ser muy larga, dando a entender que, las innovaciones contribuyen a configurarla ya que pueden haber existido durante mucho tiempo, pero de forma aislada así que, una vez integrada y potencializada trae un nuevo paradigma tecno-económico.

En la *Tabla 5*, se describen las cinco revoluciones tecnológicas propuestas por Carlota Pérez (2002). La primera revolución industrial, en Inglaterra, introdujo el mundo de la mecanización, condujo a una rápida extensión de la red de caminos, puentes, puertos y canales para dar soporte al flujo comercial. 15 años después se inauguró la edad de la máquina de vapor y los ferrocarriles, provocando un auge de la inversión en acciones de compañías constructoras de ferrocarriles.

Tabla 5. Cinco Revoluciones Tecnológicas Sucesivas, 1770-2000				
Revolución tecnológica	Nombre popular de la época	País o países-núcleo	Big-bang iniciador de la revolución	Año
PRIMERA	Revolución industrial	Inglaterra	Apertura de la hilandería de algodón de Arkwight en Cromford	1771
SEGUNDA	Era del vapor y los ferrocarriles.	Inglaterra (difundiéndose hacia Europa y EUA)	Prueba del motor a vapor Rocket para el ferrocarril Liverpool-Manchester	1829
TERCERA	Era del acero, la electricidad y la ingeniería pesada.	EUA y Alemania sobrepasando a Inglaterra	Inauguración de la acería Bessemer de Carnegie en Pittsburgh, Pennsylvania	1875
CUARTA	Era del petróleo, el automóvil y la producción en masa.	EUA y Alemania (rivalizando al inicio por el liderazgo mundial) Difusión hacia Europa	Salida del primer modelo-T de la planta Ford en Detroit, Michigan	1908
QUINTA	Era de informática y las telecomunicaciones.	EUA (difundiéndose hacia Europa y Asia)	Anuncio del microprocesador Intel en Santa Clara, California	1971

Fuente: (Carlota Pérez, 2002)

La tercera revolución se dió en 1875, con un salto tecnológico hacia la edad del acero y la ingeniería pesada, una enorme transformación que comenzó a cambiar la economía del mundo entero. Más adelante, se presenta la era del automóvil y la producción en masa, y en los últimos tiempos, desde la década de los setenta, se avecina la era de la información o sociedad del conocimiento.

Hacia una sociedad del aprendizaje

La inserción de nuevas tecnologías exige fomentar la educación, para actualizar y mejorar cualquier limitación que pueda impedir el libre movimiento del conocimiento. Debido a la diferencia de factores en la capacidad productiva, Vergara D. (2016) plantea que los países emergentes tienen el reto de *catching-up*, haciendo

referencia que el país tiene que “ponerse al día” en las mejores prácticas para poder avanzar en sus niveles de crecimiento, ya que, de lo contrario, entrarían en el grupo de países con bajos niveles de productividad, producción con escaso valor, insuficiente apoyo en actividades de innovación, desempleo estructural, entre otros factores.

La globalización lleva a una reestructuración del Estado-Nación¹, un nuevo paradigma donde se involucran nuevos agentes y mercados que se pueden interrelacionar a nuevos procesos económicos, siendo pieza clave el elemento tecnológico, ya que genera dinamismo, este dinamismo surge a partir de que, el factor tecnológico se materializa y empieza a generar riquezas, provocando así una *ventaja comparativa*.

Para los intereses de la presente investigación, se pretende probar que este dinamismo tecnológico proviene del desempeño que le destine cada uno de los países a la I+D, siendo esta la que representará la *ventaja comparativa* que tenga un país respecto a otro y que, además, inevitablemente impactará en otras actividades económicas, como en sus procesos productivos, sus productos o sus niveles de renta; este planteamiento se probará de manera empírica en el capítulo tercero.

Krugman (2006) define que un país tiene *ventaja comparativa* en la producción de un bien si el coste de oportunidad de producir dicho bien es menor para ese país que para los otros. Los economistas aluden al *coste de oportunidad* como aquello

¹ Tipo de organización política que se caracteriza por tener un territorio delimitado y configurado de manera autónoma.

que se debe renunciar para conseguirlo, entonces, el sacrificio que hace un país por producir un bien es menor comparado con el resto. La dirección que pretende tomar la presente tesis, es considerar las eficiencias estáticas asociadas con la ventaja comparativa y los beneficios dinámicos asociados con el aprendizaje.

Camino V. (2012) apunta que aquél que sea capaz de generar nuevo conocimiento con interés comercial, tendrá la llave para explotar económicamente el producto/proceso derivado. También, se debe considerar que hay ocasiones en que las empresas operan muy por debajo de sus capacidades, se tiene que voltear a ver la frontera de posibilidades de producción, para poder considerar corregir las diferencias en las operaciones, como la mezcla de productos y la estructura organizacional con el objetivo de encontrar esta ventaja comparativa.

Por lo tanto, la distinción de los países emergentes de los avanzados, está en el aprovechamiento y la aplicación que tienen de sus recursos y cómo es que se mueven en los mercados internacionales. Ferrer A. (1976) sugiere que la inserción de nuevas tecnologías lleva su propio ritmo de desarrollo, ya sea a mediano o largo plazo, al mismo tiempo en que las economías adoptan estrategias para la definición de nuevas políticas para la transferencia de tecnología y desarrollo.

Amézquita Pascual (2018) expone que, cada revolución en la producción implica un sistema educativo en el que la investigación y enseñanza se adapte a los nuevos tipos de organización, apoyando la idea de que el sistema educativo actual, se tiene que centrar en el mundo cada vez más automatizado, ejemplificando con categorías

como las *blockchain* y *big data*² para que estas mismas se puedan adaptar en cada uno de los estudiantes y puedan explotar su creatividad; reinventando nuevos recursos, ayudando a alinear la innovación y el talento.

Por otro lado, Stiglitz y Greenwald (2014) exponen que, el desarrollo consiste en transformar la vida de las personas y no sólo de la economía, por eso, se tienen que considerar políticas de educación o empleo a través de la doble óptica de cómo promover el crecimiento y de qué manera afecta directamente a los individuos. Los economistas abarcan a la *educación* dentro de la variable del *capital humano*, creada con el fin de cuantificar la inversión que se le destina a la población, abriendo la posibilidad de que existan otros modos de organizar la producción.

Hasta el momento se ha reflexionado que es importante un sistema educativo en el que se desarrollen nuevas habilidades en los estudiantes, considerándola complementaria para una mejor planificación y diseño del conocimiento, y a su vez, utilizar a la tecnología para nuevos proyectos que permitan un mejor avance. Stiglitz y Greenwald (2014), recomiendan considerar las capacidades de los individuos que conforman una sociedad, identificar las ventajas comparativas que tiene un grupo respecto a otro, esto con el fin de gestionar organizaciones y regulaciones que se puedan acoplar a los requerimientos de cada sector.

La globalización ha permitido ampliar la exposición de los individuos a nuevas ideas, a la localización de los contactos y la capacidad de comunicarse, brindando una mayor libertad al conocimiento dentro de un país. Las universidades y los institutos

² *Big Data* y las *Blockchain* son una estructura matemática que permite gestionar con eficiencia un mayor volumen de datos.

de investigación son claros ejemplos de espacios donde se crea un ambiente interactivo para mejorar el alcance y la profundidad de los contactos, se piensa que una interacción estructurada puede ser mejor, ya que los individuos podrían estimularse unos a otros. (Joseph E. Stiglitz y Bruce C. Greenwald, 2014)

El conocimiento tecnológico queda personificado en las máquinas³, y una máquina construida para un propósito a menudo se adapta para muchos otros. Por lo que, se puede traducir en que los nuevos métodos de producción pueden ser un catalizador para el aprendizaje. Acemoglu, D., Robinson J. y Verdier T. (2013) han planteado la hipótesis de que los países seguidores (emergentes) adopten el *modelo nórdico de bienestar*. El *modelo nórdico*, se caracteriza por tener fuerte inversión pública en educación, tecnología e infraestructura, donde se sigue un régimen político que apoya políticas que facilitan la innovación y asegura que los beneficios del crecimiento se compartan ampliamente.

Expuesto lo anterior, se recomienda que los países emergentes consideren una intervención gubernamental basado en el modelo nórdico, que destina recursos a la I+D y que además, ofrezca sistemas de protección social sólidas, ya que la investigación implica un riesgo, debido a que las retribuciones de esa inversión se darían en un mediano o largo plazo, el gobierno debería respaldar la incertidumbre que pueda existir de por medio.

³ Entendiendo la personificación de las máquinas como un conjunto de piezas o *ideas* ajustadas entre sí que se usan para facilitar o realizar un determinado trabajo, generalmente transformando una forma de energía en movimiento o trabajo.

Intervención gubernamental

El libre comercio asumió que había mercados perfectos, donde se quería encontrar implícito que había competencia perfecta, mercados de riesgo, pleno empleo y ninguna externalidad. Stiglitz y Greenwald incluso en su libro de *La creación de una sociedad del aprendizaje*, ejemplifican con las políticas del Consenso de Washington, políticas que se predicen sobre el supuesto de que los mercados, por sí mismos, son eficientes, y que, la principal fuente de ineficiencia de la economía surge de la intervención gubernamental.

Las políticas del Consenso de Washington (1989) empujaron la liberalización de los mercados de capitales y de los mercados financieros, sin embargo, no tomaron en cuenta la importancia del conocimiento local. Y el único papel que se le había otorgado al gobierno consistía en asegurar la estabilidad de precios y los derechos de propiedad. La economía se estaba dirigiendo hacia una eficiencia estática, el aprendizaje y el espíritu empresarial local se debilitaron, al igual que el crecimiento.

En aquel tiempo, se seguía la creencia de la mano invisible de Adam Smith que llevaría a que los mercados se adecuarán a una competencia perfecta, *eficientes en el sentido de Pareto*⁴, donde eventualmente la economía encontraría su equilibrio, sin embargo, no se ha demostrado que los mercados competitivos con innovación sean eficientes en el sentido de Pareto. Los mercados fracasan en asignar recursos de manera eficiente para la innovación y, más aún, fracasan en crear una *sociedad del aprendizaje dinámica*.

⁴ Un criterio útil para comparar resultados, al mejorar una situación sin empeorar el de ninguna otra.

Stiglitz y Greenwald (2014) recalcan que, uno de los problemas con los que se enfrentan muchos países emergentes es que están expuestos a altos niveles de volatilidad y tienen instituciones débiles para enfrentar esta situación, por lo que ahora, se suma una nueva variable y es el aprender a gestionar los riesgos. Una buena política industrial implica la asunción de riesgos, y al asumir riesgos, se pueden esperar fracasos, el enfoque no tiene que ver con elegir ganadores, sino con corregir las fallas del mercado en general.

La inestabilidad existente en los mercados llevan a las empresas a actuar con mayor resistencia al riesgo, como cuando ocurren crisis financieras, las primeras cosas que se recortan son las inversiones en investigación y desarrollo. Esto se debe a que el aprendizaje se orienta al futuro. La inestabilidad puede hacer que el capital sea menos accesible y más costoso, el aprendizaje requiere recursos, por ello, a continuación se presentan tres recomendaciones que mencionan Stiglitz y Greenwald en su libro de *La creación de una sociedad del aprendizaje*.

Política cambiaria

La tasa de cambio afecta la competitividad de la economías, ya que si presenta una inestabilidad, debido a que un país decide cambiar una regulación que afecta los flujos de dinero hacia el país o fuera de él, como cuando se decide aumentar o disminuir la tasa de interés⁵, afecta directamente al tipo de cambio; provocando un ambiente en donde la inversión en I+D se ve frustrada y la capacidad de exportar, compiten con las importaciones y no hay forma de que en el corto plazo la productividad pueda compensar las pérdidas.

⁵ El tipo de cambio obedece en gran medida a la oferta y demanda de dos monedas y ésta, a su vez, responde a las tasas. Un aumento o disminución en la tasa de interés lleva a una valorización de la moneda.

Considerando que es costoso para las empresas gestionar la volatilidad del tipo de cambio, sobre todo en los mercados emergentes y en los PMA. La sugerencia es que el gobierno podría absorber algunos de los riesgos macroeconómicos, gestionando activamente el tipo de cambio, evitando su volatilidad.

Subsidios

Es de particular importancia que los países emergentes, donde existe la necesidad de tener fuertes inversiones públicas en infraestructura, educación y tecnología se centren en crear políticas industriales diseñadas para adoptar subsidios en sectores que deberían expandirse, con el fin de mejorar la competitividad de los sectores de aprendizaje. El gobierno debería destinar sus esfuerzos en políticas más amplias para el sector financiero que esté más enfocado en el crédito, como a través de la creación de bancos de desarrollo o programas que brindan crédito a actividades que generan externalidades de aprendizaje.

Arreglos institucionales

Stiglitz, añade que, durante los últimos años, la educación se ha enfocado en invertir tiempo en el aprendizaje de memoria, un tipo de sistema educativo que se caracteriza por la reserva de conocimiento que puede aumentar la productividad (al menos de forma temporal, hasta que ese conocimiento se vuelva obsoleto), debería trascender a un tipo de aprendizaje que integre la experiencia, un sistema educativo en el que los individuos aprendan a aprender, enfocado principalmente a la adaptabilidad, ya que el mercado y el sistema gubernamental está en constante cambio. Desarrollar un marco cognitivo (ideologías) con el objetivo de preparar a los estudiantes a que desarrollen habilidades analíticas y cognitivas, Stiglitz los llama, seres racional e imaginativos.

El aprendizaje experimental implica observar lo que funciona y lo que no; además, tomando en cuenta que el aprendizaje se localiza geográficamente, debido a que el conocimiento relevante para una ubicación es menos relevante para otra, para ello, el gobierno tiene que decidir qué investigadores deben ser financiados y qué conocimientos se pueden derramar en varios sectores productivos.

Las patentes como barrera al acceso a la I+D

Actualmente se tienen las herramientas para poder capacitar al ambiente laboral, incluso aprovechando la apertura comercial derivada de la globalización, se redujeron costos, distancias, facilitó la comunicación y el procesar la información de manera mucho más rápida, sin embargo, ciertos países como Estados Unidos, están buscando incentivar su progreso tecnológico a través del uso de las *patentes*, para estimular sus invenciones localmente.

Autores como Rubiralta, M. (2000) defienden el uso de patentes como un acto emprendedor, ya que promueve la identificación, creación y comercialización de los resultados de la I+D incorporadas al portafolio institucional mediante los derechos de propiedad industrial e intelectual. Apropiándose así de ganancias vía derechos de propiedad, ejemplifica con la European Patent Office (EPO), o bien, para el caso de Estados Unidos con la US Patent Office (USPTO) creadas entre 1982-2002, instituciones que nacieron con la finalidad de promover programas universitarios destinados a la investigación.

Se debe recordar que crear una sociedad de aprendizaje requiere la creación de un ambiente económico que conduzca al aprendizaje. La libre movilidad de personas,

ideas y productos ayuda a difundir las ideas y puede ser un catalizador para el aprendizaje; sin embargo, se cree que si ocurre así, entonces cada empresa se beneficiará de forma gratuita de los esfuerzos de investigación de otros, provocando una desmotivación en la participación en investigación y desarrollo.

Huberman y Leo exponen en su trabajo intitulado *Anatomía de una Revolución*, que entre 1765 y 1789, el Parlamento Británico implementó una serie de leyes, entre ellas incluía que las nuevas máquinas, los planes con modelos de estas, no debían ser exportados fuera del país, los hombres experimentados que manejaban dichos implementos tenían prohibido salir de Inglaterra, y de hacerlo, pagarían con una multa y encarcelamiento; una medida radical tomada para que únicamente Inglaterra se beneficiara de la nueva maquinaria.

Dándole continuación a la historia, explican que el Parlamento Británico no tardó en descubrir que el plano de una máquina podía salir del país, pues un trabajador que decidiera compartir esta información en el exterior podía perfectamente aprenderlo de memoria, demostrando que las barreras políticas de este tipo se pueden romper. Por lo que, a pesar de que algunos inversionistas, logren tener éxito con su descubrimiento, y las ganancias parecen atractivas, las ideas pueden ser fácilmente divulgadas.

Hasta el momento, las patentes parecen ser la única alternativa para incentivar la inversión en I+D. En la *Tabla 6*, se indica el total de patentes presentadas, de países seleccionados, ante el Tratado de Cooperación en materia de Patentes o en una oficina nacional de patentes por los derechos exclusivos sobre un invento de un

producto o proceso que presenta una nueva manera de hacer algo o una nueva solución técnica a un problema. Una patente brinda protección respecto de la invención al dueño de la patente durante un período limitado que suele abarcar 20 años.

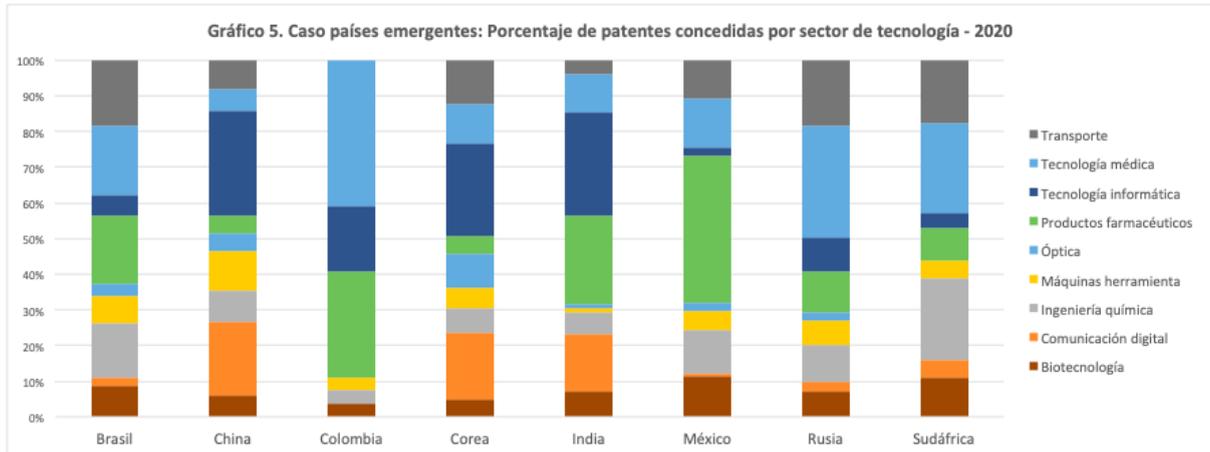
A continuación, en la *Tabla 6*, se enlistan la cantidad de patentes que entraron en vigor del 2015 hasta el 2020. Estados Unidos, Japón y China son los que se posicionan en los primeros lugares de participación, mientras que, Colombia, México y Brasil figuran al final de este listado. A través de los últimos años se puede apreciar el ascenso de solicitudes de patentes para que entraran en vigor, sin duda, los países le han puesto una gran importancia a patentar el origen de sus descubrimientos.

Tabla 6. Patentes en vigor: Países emergentes y avanzados seleccionados (2015-2020)						
País	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Estados Unidos	2,033,831	2,125,788	2,370,150	2,628,762	2,970,910	3,143,594
Japón	2,665,367	2,708,648	2,827,077	1,293,137	3,030,492	3,082,607
China	981,549	1,236,457	1,519,175	1,813,003	2,141,534	2,544,991
Corea	876,518	932,672	990,261	1,064,282	1,177,276	1,258,027
Alemania	505,475	549,117	676,356	804,640	971,835	1,014,964
Suiza	151,246	151,701	202,085	226,461	287,227	304,977
Países Bajos	93,520	100,246	137,192	164,552	204,415	217,926
Rusia	153,515	159,741	167,085	172,869	175,796	177,914
Canadá	109,963	115,009	127,426	141,719	154,428	162,794
Dinamarca	35,224	37,267	45,991	55,172	67,927	73,966
India	29,916	33,948	42,042	46,998	55,967	66,234
Noruega	20,482	21,750	25,384	30,182	34,393	37,240
Sudáfrica	11,282	11,499	12,702	14,668	14,619	15,884
Brasil	8,384	8,778	9,560	10,935	12,894	15,330
México	5,703	6,284	7,775	9,067	10,386	11,317
Colombia	843	845	1,073	1,313	1,721	2,021

Elaboración propia con datos obtenidos de:
<https://www3.wipo.int/ipstats/editIpsSearchForm.htm?tab=patent>

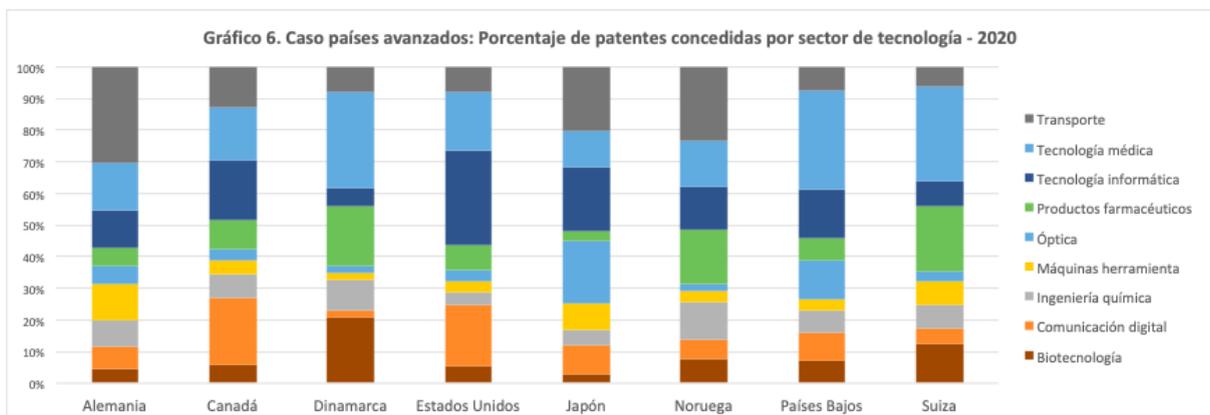
Para un mayor detalle, los gráficos 5 y 6, señalan el porcentaje de patentes concedidas por sector de la tecnología en el 2020; para el caso de los países emergentes se puede observar que el sector de Tecnología médica, cuenta con un alto porcentaje en países como Brasil, Colombia, Rusia y Sudáfrica. Otro sector con

alto porcentaje de patentes serían los productos farmacéuticos en países como Brasil, Colombia, India y México. Y finalmente, la Tecnología informática, que tiene el mayor peso en los países de China, Corea e India.



Elaboración propia con datos obtenidos de:
<https://www3.wipo.int/ipstats/editIpsSearchForm.htm?tab=patent>

Por otro lado, en los países avanzados los sectores con más patentes concedidas en el 2020, fueron principalmente en Transporte, como se muestra en el caso de Alemania. En Estados Unidos, se dieron mayormente en los sectores de Tecnología informática, Tecnología médica y Comunicación digital. En Dinamarca las patentes destacan en el sector de Biotecnología, Tecnología médica y Productos farmacéuticos.



Elaboración propia con datos obtenidos de:
<https://www3.wipo.int/ipstats/editIpsSearchForm.htm?tab=patent>

Las patentes fueron creadas con el objetivo de promover y defender la innovación, y por ello, se abrieron leyes de propiedad intelectual, sin embargo, las patentes han sido un tema de discusión, ya que como bien lo exponen Stiglitz y Greenwald (2014), una innovación patentada reduce el conjunto de ideas disponibles al que otros podrían tener acceso, por lo que, ha recaído en un crecimiento individual, rodeado de intereses particulares, impidiendo su expansión y su mejora.

Además, un crecimiento individual conlleva a un monopolio que genera rentas muy elevadas y esto representa ineficiencia, ya que debería estar disponible para el público. Stiglitz arroja un pensamiento *“cuando comparo el conocimiento con un vela que enciende otra vela sin que por ello disminuya su intensidad y resplandor originales”*, simbolizando metafóricamente la luz (el conocimiento) que puede iluminar a otras mentes creativas. Aunado a esto, se debe contemplar que lo que se está patentado, en realidad no es algo nuevo, las ideas no son propias.

Estados Unidos se posiciona como el líder de la innovación, no obstante, el hecho de que Estados Unidos tenga un mayor nivel de patentes no necesariamente significa que sea más innovador, pudo haber enfocado sus esfuerzos innovadores en aquellos sectores en los que las patentes son importantes y donde se alienta la búsqueda de ganancias, como en el sector tecnológico y médico, que hasta nuestros días, son sectores que han tomado una alta relevancia para investigadores y científicos.

Dicho lo anterior se tienen que valorar mejor las patentes, Stiglitz y Greenwald (2014) sugieren que para diseñar un régimen de propiedad intelectual se debe

responder a las siguientes preguntas: qué puede y qué no puede patentarse; cuánto tiempo debe durar la patente y cuánto alcance ha de tener. Comenzando incluso por reconocer los saberes tradicionales, en vez de patentarlas, como lo serían los avances matemáticos básicos que se utilizaron para la computadora, o el descubrimiento del *ADN*, que además, no estuvieron motivadas por ganancias monetarias.

Alternativas de las patentes

El sistema de patentes no solo no recompensa a los inventores sobre la base de sus contribuciones marginales, sino que establece un conjunto de distorsionados incentivos para las innovaciones, donde la actividad inventiva a menudo se dirige a crear un poder de mercado. La patente se otorga al primero que hace un descubrimiento (o que solicita una patente), y esto provoca que haya una carrera entre las ganancias sociales y privadas (monopólicas) (Joseph E. Stiglitz y Bruce C. Greenwald, 2014).

Con el fin de evitar esta carrera monopólica del conocimiento, Stiglitz y Greenwald ofrecen tres alternativas a las patentes, como primera opción, es crear un sistema *financiado por el gobierno*, en donde un investigador recibe dinero por su tiempo y por otros recursos que ha utilizado durante la investigación. Una segunda opción es utilizar un *sistema de premios* según la magnitud de la contribución y donde los investigadores son recompensados únicamente si su investigación resulta exitosa, a través del otorgamiento de premios por desarrollo de tecnologías.

Stiglitz y Greenwald proponen como una tercera alternativa, la adopción del *código abierto*, que tiene como objetivo fortalecer la naturaleza colaborativa de la investigación subsecuente, por ejemplo, hay empresas que han encontrado diversas formas de apropiarse de las ganancias, a través de la venta de servicios que se adapten a las necesidades de clientes particulares, como con la creación de un software basado en código abierto, por lo que demuestra ser una opción más sustentable para los usuarios finales, contrario al software de *código cerrado* que es un tipo de software patentado que no se distribuye al público.

Por otra parte, Stiglitz y Greenwald agregan que, si se sigue utilizando un sistema de patentes, este se debe enfocar en permitir otorgar licencias para el uso del conocimiento, reduciendo costos y ampliando la oportunidad a tener acceso al conocimiento, ejemplificando con el Acuerdo de Río (1992), donde se creó un marco para abordar los problemas del cambio climático mediante el otorgamiento de licencias obligatorias para obtener acceso a tecnología relacionada con la mitigación de las emisiones o; como el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (TRIPS) que hizo posible las licencias obligatorias para los medicamentos que salvan vidas.

Finalmente, la innovación inevitablemente invita a dejar de tomar la tecnología como algo fijo y empezar a colocar medidas que beneficien a un país con mejoras en su capacidad productiva que puedan llevarlos a un crecimiento económico. La clave del crecimiento, hasta el momento, ha sugerido centrar esfuerzos en el estado del conocimiento y las capacidades de aprendizaje, aperturado a través de políticas

públicas y estructuras económicas con sistemas de inversión que ayuden a esparcir y mejorar el aprendizaje dentro de una sociedad.

CAPÍTULO SEGUNDO

MODELOS DE CRECIMIENTO ECONÓMICO CON TECNOLOGÍA.

Por tecnología entendemos la “fórmula” o “conocimiento” que permite a las empresas “mezclar” capital y trabajo para producir un producto atractivo para los consumidores (...), también es necesario saber cómo mezclar los distintos ingredientes para llegar al producto final. (Xavier Sala i Martín, 2000)

La diferencia que ha existido en el crecimiento de los países ha sido un objeto de estudio por varios economistas, teorías que incluso con el tiempo se han ido ajustando a versiones más parecidas a la realidad. Este capítulo tiene como propósito presentar el marco teórico que respalde el modelo econométrico del capítulo tercero, con este objetivo, se explican tres modelos enfocados en el crecimiento económico, partiendo del modelo de Solow-Swan que ha servido de inspiración para muchos economistas.

Antes de profundizar en el tema, por crecimiento económico se entiende que, es la expansión del producto y la productividad de la economía a largo plazo, con el fin de alcanzar una estructura general de equilibrio. La teoría del crecimiento según Merton, R. (2000) se dedica a estudiar las propiedades de los estados estable (ese punto donde se halla el equilibrio), describiendo las riquezas y el crecimiento de una

economía que a partir de un punto lo hace de manera exponencial y se ve reflejado en distintas variables, en el producto, ocupación y el capital que van creciendo conjuntamente.

El estudio del crecimiento económico, se puede describir con dos coeficientes: la fuerza de trabajo requerida por unidad de producto y el capital requerido por unidad de producto, variables que se complementan necesariamente con el volumen de la población y el nivel de ahorro e inversión que concentre cada país. Expuesto lo anterior, a continuación se busca reflexionar sobre la mejor alternativa para evaluar de manera empírica, la influencia que tiene la tecnología (I+D) en el crecimiento económico.

Crecimiento económico - Modelo de Solow-Swan (1956)

El eje de estudio de la economía suele partir de la observación de la producción (Y), en el Diagrama 1, se pueden visualizar las cuatro formas en las que es utilizado el PIB (Producto Interno Bruto), que se compone de cuatro variables que conforman la *demanda agregada*: el consumo, la inversión, el gasto público y las exportaciones netas, y a su vez el PIB representará la *oferta*. En el Diagrama 2, se desglosan los factores que forman la producción desde el punto de vista de la oferta: el trabajo, el capital y la tecnología.

Diagrama 1. Componentes del PIB.

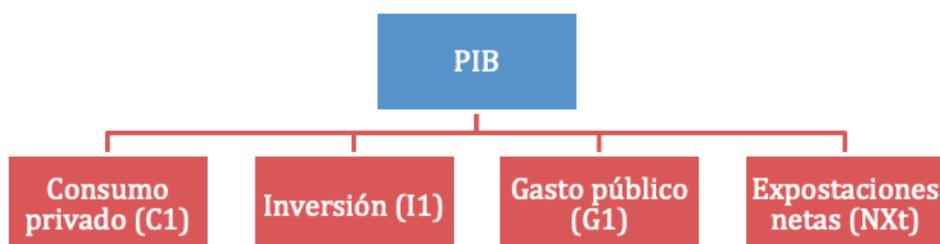
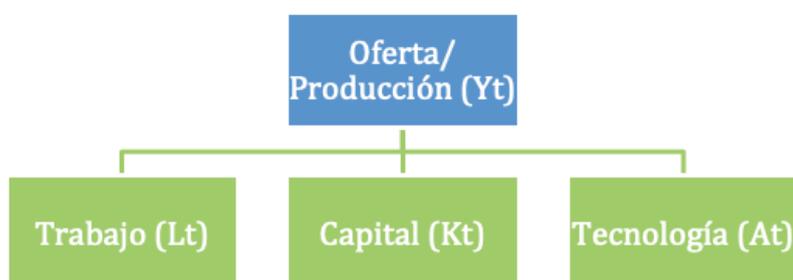


Diagrama 2. Componentes de la Producción.



El trabajo representa la cantidad de trabajadores que forman parte del proceso de producción. El capital está conformado por las herramientas, instrumentos o maquinaria necesaria para los procesos productivos y, como un tercer factor se tiene a la tecnología, que viene representando la fórmula de cómo combinar los dos factores anteriores (esta también puede ser entendida como conocimiento) para llevar niveles altos de producción. Estos factores en su conjunto, se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$Y_t = F(K_t, L_t, A_t)$$

El modelo Solow-Swan parte de la función de producción y su interpretación viene acompañada de cuatro supuestos. El primer supuesto es que, la función de producción tiene *rendimientos constantes a escala*, haciendo alusión a que una variable externa puede influir tanto en el producto como en el capital y el trabajo. Si se decide doblar los factores, el producto también lo hará, por lo tanto, es una función homogénea de grado 1.

$$\text{Para todo } \lambda, \text{ se cumple que } \lambda F(K, L, A) = F(\lambda K; \lambda L; \lambda A)$$

El segundo supuesto explica que los factores son positivos respecto a la función de producción pero son decrecientes con respecto al factor. Esto quiere decir que, los rendimientos de todos los factores son decrecientes, entonces, la productividad

marginal del capital es positiva pero decreciente, cada vez aporta menos a la función de producción. Esto se puede ver representado en las derivadas de la función de producción, como se muestra a continuación, es creciente en la primera derivada parcial y decreciente en la segunda derivada parcial:

$$\frac{\partial Y}{\partial K} > 0 \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial K^2} < 0$$

$$\frac{\partial Y}{\partial L} > 0 \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial L^2} < 0$$

Calculando la primera derivada se tiene la *productividad marginal*⁶ que se expresa de manera positiva, y se interpreta de la siguiente manera: cuando se aumenta el número de unidad del capital (K), se mantiene constante el trabajo, entendiéndose que el incremento de producción resulta de la última unidad de capital que se añade al proceso productivo. En la segunda derivada de la función respecto al capital es negativa, y por lo tanto, decreciente. Y se puede leer de la misma manera respecto al trabajo (L).

Y como último supuesto, es que la función de producción cumple con las condiciones de *INADA*, que surge del aumento de cada unidad, ya sea del factor de capital o del trabajo donde eventualmente su límite se encontrará en cero; o bien, también quiere decir que, cuando se tiene poca cantidad del factor, la productividad marginal tenderá a infinito. Las condiciones de *INADA* explican su continuidad, sabiendo que la variable del capital (K) o el trabajo (L) es cero cuando tiende a infinito y viceversa, el capital (K) o el trabajo (L) es infinito cuando tiende a cero.

⁶ La productividad marginal o producto marginal de un factor productivo es la variación en la cantidad producida de un bien, motivada por el empleo de una unidad adicional de ese factor productivo.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \frac{\partial Y}{\partial K} \rightarrow K = 0 \qquad \lim_{k \rightarrow 0} \frac{\partial Y}{\partial K} \rightarrow K = \infty$$

$$\lim_{L \rightarrow \infty} \frac{\partial Y}{\partial L} \rightarrow L = 0 \qquad \lim_{L \rightarrow 0} \frac{\partial Y}{\partial L} \rightarrow L = \infty$$

A manera de representarlo con una ecuación *Cobb-Douglas*⁷ se tiene que,

$$Y = F(K, L) = AK^\alpha L^{1-\alpha}$$

Donde Y se entenderá como la producción total; A representa una medida de productividad, mientras que K se caracteriza por la cantidad de capital físico que se emplea, y L engloba el número de trabajadores. Y el coeficiente α figura como un número comprendido entre cero y uno.

Hacia un crecimiento transitorio

Utilizando la función de producción *per cápita* a través de una función de producción Cobb-Douglas se iniciará el procedimiento para obtener la *Ley de Acumulación de Capital agregado* y para ello, a continuación, se desglosan y transforman las variables que la componen.

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha}$$

Se parte de los siguientes supuestos:

- 1) Modelo con tasas de ahorro constantes.

$$s = cte \rightarrow S_t = s_t Y_t \rightarrow 0 \leq s \leq 1 \dots (1)$$

La tasa de ahorro constante va a determinar que cada instante de tiempo es un porcentaje constante de la renta y está comprendido entre cero y uno. Se puede interpretar como que, cada instante de tiempo los individuos de una sociedad

⁷ La función Cobb-Douglas permite estimar la elasticidad del producto al capital y al trabajo, los cuales reflejan las productividades marginales de cada factor y sus contribuciones.

ahorran un porcentaje de su renta y por tanto, también consumen un porcentaje de su renta.

2) Tasa de depreciación constante

$$\delta = cte \rightarrow I_t = K_t + \delta K_t \rightarrow 0 \leq \delta \leq 1 \text{ (depreciación) ... (2)}$$

En la que cada instante de tiempo la inversión tiene dos componentes: la acumulación de capital y el número de maquinarias (K_t). La inversión está destinada a reponer capital que se deprecie en cada instante de tiempo, por lo que, en este modelo, siempre se debe suponer que hay un porcentaje del capital existente que se deprecia y de manera constante.

3) Tasa de crecimiento de la población constante.

$$n = cte \rightarrow \frac{L_t}{L_t} = n$$

La población de la economía coincide con el trabajo, el crecimiento *per cápita* es lo que determina el crecimiento de un país, además de que se puede comparar con la renta per cápita de los países.

Bajo estos tres supuestos se determinará la *Ley de Acumulación de Capital*, conocido como el proceso a través del cual se aumenta la capacidad productiva de una economía. En este punto, es importante preguntarse ¿cómo se reparte el producto de la economía? si en este modelo no se considera ni el sector público, ni el exterior, entonces lo hace a través del consumo e inversión que genera la economía, representado como:

$$y_t = C_t + I_t \Rightarrow \text{Producto}$$

Mientras que, la renta la van consumir o ahorrar, entonces se especificará como:

$$y_t = C_t + S_t \Rightarrow \text{Ingreso}$$

En seguida, se igualan ambas ecuaciones, la del producto y la del ingreso, el consumo se cancela de ambos lados y da como resultado que el ahorro (S_t) equivale al ingreso (I_t) .

$$C_t + I_t = C_t + S_t \rightarrow S_t = I_t$$

Como siguiente paso, se sustituyen $S_t = I_t$, con las ecuaciones (1) y (2), con el fin de obtener lo siguiente:

$$S_t = s_t Y_t \dots (1)$$

$$I_t = \widehat{K}_t + \delta K_t \dots (2)$$

$$s_t Y_t = \widehat{K}_t + \delta K_t$$

Posteriormente, se despeja la variación del capital (\widehat{K}_t), para obtener la ecuación de la *ley de acumulación del capital*, que es la diferencia del ahorro agregado menos la inversión necesaria para mantener ese capital agregado constante, por lo que matemáticamente se representa como:

$$\widehat{K}_t = s_t Y_t - \delta K_t \dots (3)$$

Si se incorpora la ecuación de acumulación de capital con la función de producción de Cobb Douglas, la *ley de la acumulación de capital* resultaría como:

$$\widehat{K} = sAK^\alpha L^{1-\alpha} - \delta K \dots (4)$$

La *ley de la acumulación de capital* será una herramienta de apoyo para determinar la *ecuación fundamental*, iniciando por dividir la ecuación (4) con el trabajo (L), con el objetivo de transformar los términos a *per cápita*.

$\frac{\widehat{K}}{L} = s \frac{AK^\alpha L^{1-\alpha}}{L} - \delta \frac{K}{L} \dots(5)$	$\frac{\widehat{K}}{L}$	$s \frac{AK^\alpha L^{1-\alpha}}{L}$	$\delta \frac{K}{L}$
Ley de la Acumulación de Capital/ L	a)	b)	c)

La ecuación (5), se va simplificando utilizando los siguientes elementos:

- a) El capital *per cápita* establecida por el capital agregado entre la población:

$$\frac{\widehat{K}}{L} = k$$

- b) La renta *per cápita* dada a partir de la renta agregada y la población:

$$y = \frac{AK^\alpha L^{1-\alpha}}{L} = \frac{AK^\alpha L^{1-\alpha}}{L^\alpha + L^{1-\alpha}} = A \frac{K^\alpha}{L^\alpha} = Ak^\alpha. \text{ Con el objetivo de simplificar el punto}$$

número 2, se multiplica el término de L en el denominador de la ecuación, para poder cancelar los términos iguales y reducirlo a su forma de Ak^α .

- c) Empezando por la parte del capital *per cápita* de la economía, que resulta del capital agregado entre la población ($k = \frac{\widehat{K}}{L}$), se puede transformar el capital *per cápita* en logaritmo para obtener las tasas de crecimiento:

$$\ln k = \ln K - \ln L$$

Tasa de crecimiento del capital *per cápita* = (Tasa de crecimiento de capital agregado - Tasa de crecimiento de la población)

A continuación, se deriva respecto al tiempo, logrando conseguir una tasa de crecimiento que se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{\widehat{k}}{k} = \frac{\widehat{K}}{K} - \frac{\widehat{L}}{L}$$

Se despeja el valor k de la ecuación anterior, logrando así aislar el valor del capital *per cápita*:

$$k = \frac{\widehat{K}}{K} k - \frac{\widehat{L}}{L} k \dots (6)$$

Sabiendo que $k = \frac{K}{L}$ y $\frac{\widehat{L}_t}{L_t} = n$, se prosigue a una sustitución de las expresiones

en la ecuación (6), por lo tanto, da como resultado:

$$\widehat{k} = \frac{\widehat{K}}{K} \frac{K}{L} - nk,$$

simplificando queda de la siguiente manera:

$$\widehat{k} = \frac{\widehat{K}}{L} - nk$$

Y con un despeje del capital aumentado, respecto al trabajo, se entiende que:

$$\frac{\widehat{K}}{L} = \widehat{k} + nk \dots (7)$$

Como siguiente paso, se sustituyen cada uno de los componentes expuestos en los puntos a), b) y c) de la ley de la acumulación de capital en la ecuación (7), resultando:

$$\frac{\widehat{K}}{L} = s \frac{AK^\alpha L^{1-\alpha}}{L} - \delta \frac{K}{L}$$

$$\widehat{k} + nk = sAk^\alpha - \delta k$$

Finalmente se obtiene la *ecuación fundamental del crecimiento*:

$$\widehat{k} = sAk^\alpha - \delta k - nk \dots (8)$$

La ecuación (8) representa el crecimiento de capital *per cápita* y refleja el ingreso *per cápita* de un país, que se obtiene mediante la diferencia que hay del crecimiento

en su nivel de ahorro *per cápita*, con el capital *per cápita*, dada la tecnología; menos la inversión necesaria que se requiere para solventar el capital y el crecimiento de la población trabajadora. Determina las claves y causas que aumentan el capital *per cápita* de un país, y por tanto, su renta *per cápita*.

$\hat{k} = sAk^\alpha - (\delta + n)k$	\hat{k}	$sAk^\alpha - (\delta + n)k$
Ecuación Fundamental del Crecimiento	Inversión de capital per cápita	Reposición de capital per cápita

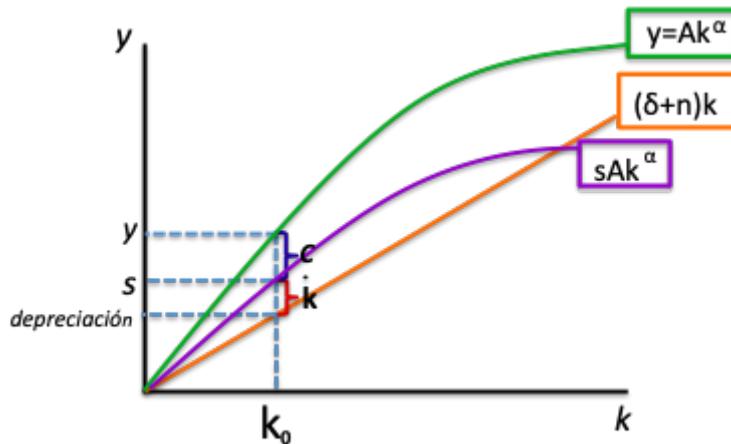
Teniendo en claro estas dos partes que forman la ecuación (expuestas en el cuadro), se puede inferir que cuanto menor es la tasa de crecimiento de la población y menor es la tasa de depreciación requerida para reponer el capital, mayor será el crecimiento económico. Además, cuanto mayor sea la parte destinada al ahorro, habrá mayor tecnología y consecuentemente un mayor crecimiento económico, aunque, hasta el momento, de manera transitoria.

En el Dibujo 1, se puede observar la representación gráfica del modelo de Solow-Swan. Partiendo de cualquier capital positivo (k_0), su producto está determinado por las siguientes variables:

- La función de producción (en verde), es la productividad marginal del capital que a su vez, se reparte en ahorro.
- La función de ahorro (en morado), es proporcional a la función de producción, tiene una forma similar pero para abajo, y además está comprendido entre cero y uno ($0 < s < 1$).

- Dentro del ahorro (considerando que el ahorro es igual a la inversión), el punto donde toca la depreciación (línea naranja) representa la inversión necesaria para reponer el capital que se deprecia.

Dibujo 1. Modelo Solow-Swan



La diferencia de la producción menos el ahorro es el consumo (C) y el espacio entre la curva de ahorro y la recta de depreciación, representa el crecimiento de capital \hat{k} .

Estado estacionario

El estado estable se refiere a la relación entre el capital y el trabajo, donde el ahorro de cada trabajador cubre exactamente la demanda de los productos de los nuevos empleados y la depreciación del capital. El estado estacionario se representa como:

$k^* = 0$. En la ecuación fundamental de crecimiento se puede apreciar de la siguiente manera:

$$sAk^\alpha = k^*(\delta + n)$$

por lo que,

$$0 = sAk^\alpha - (\delta + n)k$$

posteriormente se simplifican:

$$(\delta + n)k = sAk^\alpha \rightarrow \frac{(\delta+n)k}{k} = \frac{sAk^\alpha}{k}$$

$$(\delta + n) = \frac{sAk^\alpha}{k} \rightarrow (\delta + n) = sAk^{\alpha-1}$$

Después se divide por $k^{\alpha-1}$:

$$\frac{(\delta+n)}{k^{\alpha-1}} = sA \rightarrow (\delta + n)k^{1-\alpha} = sA$$

$$k^{1-\alpha} = \frac{sA}{\delta+n} \rightarrow (k^{1-\alpha})^{\frac{1}{1-\alpha}} = \left(\frac{sA}{\delta+n}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

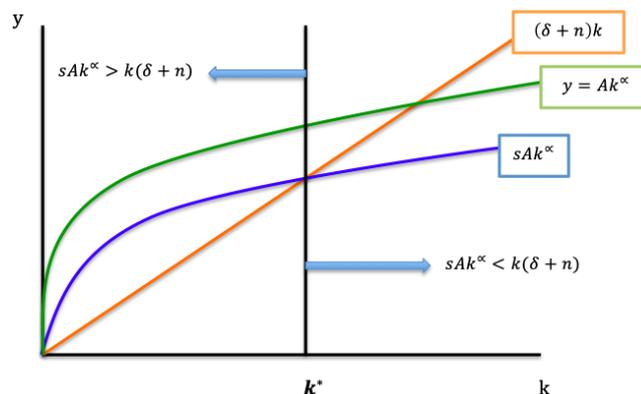
$$(k)^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha}} = \left(\frac{sA}{\delta+n}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \rightarrow k^* = \left(\frac{sA}{\delta+n}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

Utilizando la función de producción Cobb-Douglas, el estado estacionario se puede expresar como $\hat{k} = k^*$, o bien:

$$k^* = \left(\frac{sA}{\delta+n}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

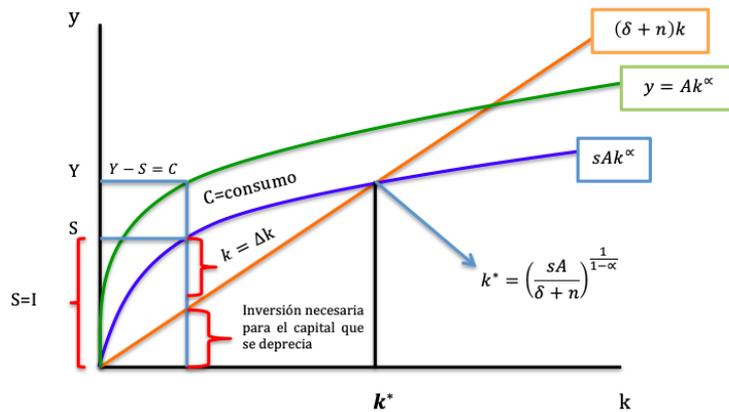
Gráficamente, Solow-Swan lo refleja de la siguiente manera:

Dibujo 2. Crecimiento del capital



El ritmo de crecimiento de capital será positivo siempre que la curva de ahorro esté por encima de la curva de depreciación, o bien, que la expresión del ahorro sea superior a los parámetros que determinan el ritmo de depreciación de capital.

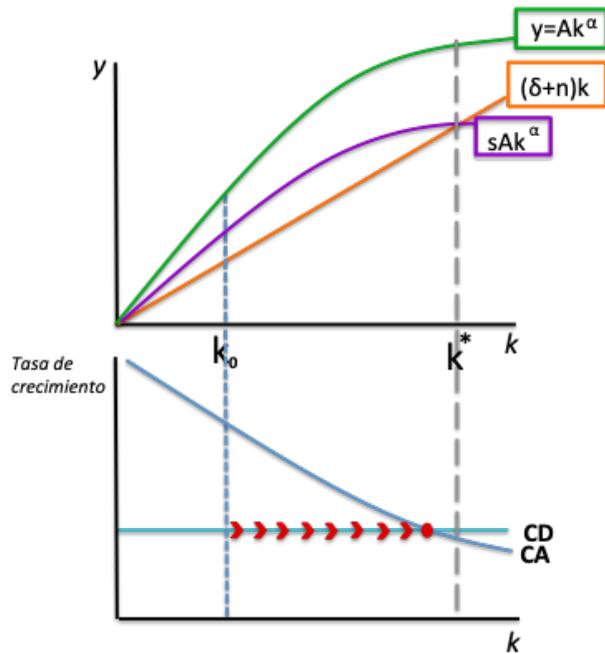
Dibujo 3. Estado estacionario



En el Dibujo 3, se muestra una curva en verde que representa la productividad marginal del capital, cuando el capital tiende a cero la pendiente es infinita, cuando el capital tiende a infinito, este es cero, cumpliendo las normas de *INADA*. Mientras que la tendencia de la función de ahorro es similar a la función de producción, ya que la tasa de ahorro está comprendida entre cero y uno. Se puede deducir que la economía converge hacia un estado estacionario, con rendimientos decrecientes.

En el Dibujo 4, se puede apreciar desde otra perspectiva, a medida que aumenta el capital con el tiempo, este va siendo menor, porque la curva de depreciación se mantiene constante y el ahorro se va reduciendo. Se supone que en este contexto, va a crecer el capital *per cápita*, la economía va a desplazarse a la derecha y a su vez, la función de producción va a recoger crecimiento de renta *per cápita*, hasta que llega a un momento en el que el capital se vuelve constante.

Dibujo 4. Estado estacionario y su tasa de crecimiento



Debido a los rendimientos decrecientes del capital por la Cobb-Douglas, la tasa $n + \delta$, deberá crecer al mismo nivel para mantener el ritmo constante del estado estacionario. Solow y Swan (1956) indican que sólo habrá crecimiento transitorio si el nivel de ahorro aumenta junto con la tecnología en la función de producción, por lo que, bajo este panorama no hay una forma de crecimiento económica sostenida a largo plazo.

Teniendo un crecimiento a corto plazo, eventualmente se llega a un estado estacionario en el que la economía deja de crecer y se mantiene constante en el tiempo, Solow y Swan lo denominan transitorio.

Corto Plazo

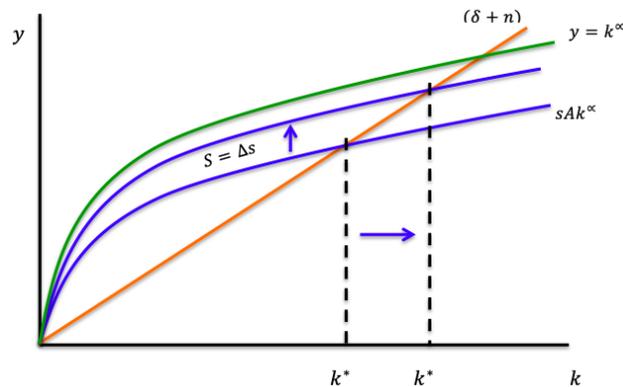
$$y_k = \frac{\hat{k}}{k_t} = sA_t k_t^{\alpha-1} - (n + \delta) > 0$$

Largo Plazo

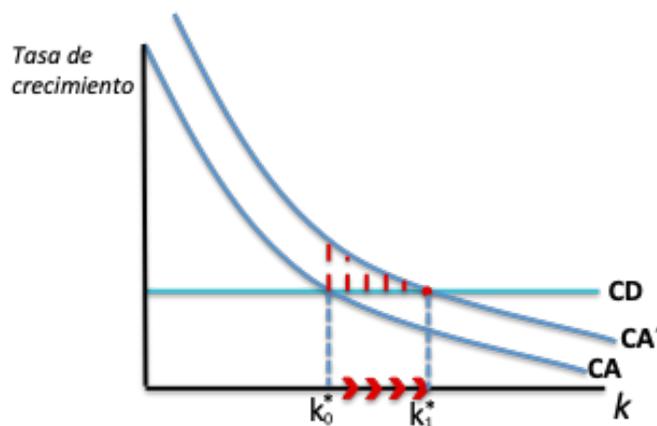
$$y^* = 0$$

El *crecimiento transitorio* se puede ver desde tres perspectivas.

Dibujo 5. Crecimiento transitorio con un aumento en la tasa de ahorro (s).



Dibujo 5.1 Crecimiento transitorio con un aumento en la tasa de ahorro (s).



En el Dibujo 5 y 5.1, se observa un aumento en la tasa de ahorro, se tiene que incentivar a los individuos que participan en la economía a que ahorren. Por lo que:

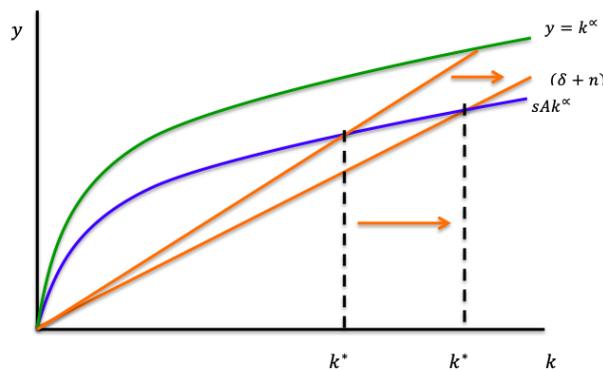
$$\uparrow s \rightarrow \uparrow \text{Ahorro} \rightarrow CA'' > CD \rightarrow \frac{\hat{k}}{k_t} > 0$$

Como consecuencia de los rendimientos decrecientes del capital, el crecimiento implica que crezca la tasa del capital, pero menos que proporcionalmente.

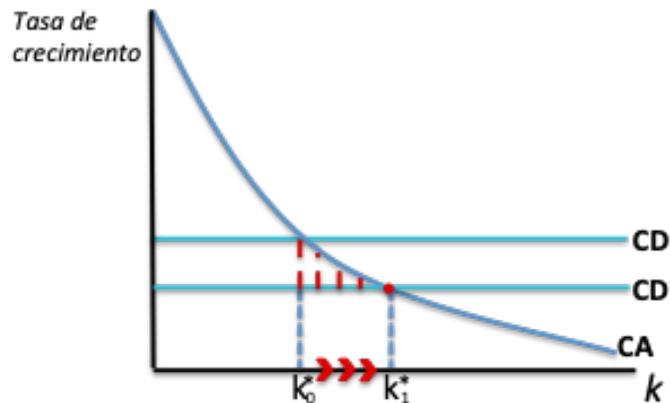
$$\frac{\hat{k}}{k_t} \rightarrow \uparrow y \rightarrow \uparrow sy \rightarrow \text{Estado Estacionario}$$

Si se reduce el ahorro, entonces aumenta la tasa de crecimiento del capital, cubriendo así las necesidades de inversión para que el capital se mantenga constante, o sea, $\frac{\hat{k}}{k_t} \rightarrow (\delta + n) k$.

Dibujo 6. Crecimiento transitorio con una reducción del ritmo de crecimiento de la población (n) y de la tasa de depreciación.



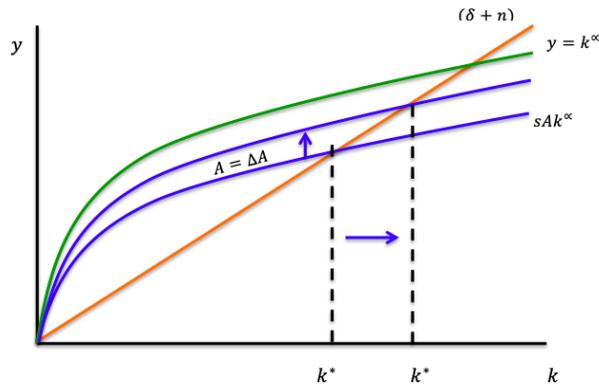
Dibujo 6.1. Crecimiento transitorio con una reducción del ritmo de crecimiento de la población (n) y de la tasa de depreciación.



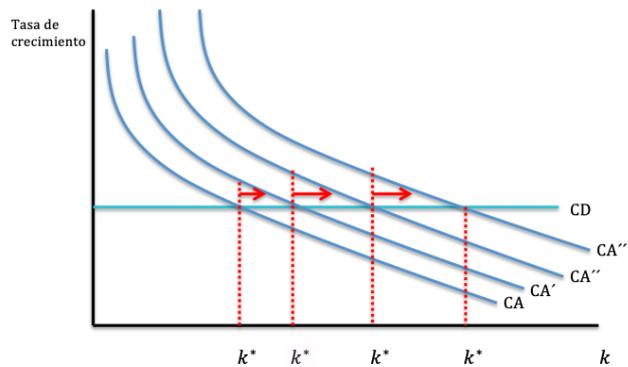
En el Dibujo 6 y 6.1, con una reducción en el ritmo de crecimiento de la población, se reduce a la par la depreciación, se realizan las inversiones necesarias para que el capital se mantenga constante y se empareje en un estado estacionario con respecto al ahorro, por lo que:

$$\uparrow y \rightarrow sy \rightarrow (\delta + n) k \rightarrow CA > CD$$

Dibujo 7. Crecimiento transitorio de un aumento del parámetro tecnológico (A).



Dibujo 7.1. Crecimiento transitorio de un aumento del parámetro tecnológico (A).



Finalmente en el Dibujo 7 y 7.1, se contempla un incremento en el conocimiento tecnológico, considerando su comportamiento como en la realidad. Se aprecia un aumento en la tasa de crecimiento de la tecnología, donde A , crece cada vez más, pasando a cada estado estacionario. $\frac{\hat{A}}{A} > 0$, sin embargo, se debe considerar que con este modelo de Solow, no se explican las mejoras tecnológicas.

$$Si \uparrow A = Tecnología \rightarrow \uparrow y \rightarrow sy \rightarrow Ak^\alpha \rightarrow Ahorro CA > CD \rightarrow \frac{\hat{k}}{k_t} > 0$$

$$\uparrow y \rightarrow \uparrow sy \rightarrow CA > CD \rightarrow (\delta + n)k$$

Regla de oro

La regla de oro logra definir el estado más adecuado para la economía, no es aquel que maximiza el ingreso, ni el que maximiza el capital *per cápita*. En realidad, a lo

que se refiere el estado estacionario con regla de oro es, el punto donde se maximiza el consumo, por lo que, el equilibrio se encontrará donde se maximiza el bienestar del consumo. La obtención matemática de la regla de oro en el estado estacionario se representa como:

$$k_{oro}^* = \left(\frac{\alpha A}{\delta + n} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad s_{oro} = \alpha$$

Y se obtiene a partir de la ecuación fundamental de crecimiento:

$$\hat{k} = sAk^\alpha - (\delta + n)k$$

Con el fin de lograr maximizar el consumo, se debe considerar que el consumo se define como:

$$C = (1 - s)y \rightarrow c = y - sy \rightarrow c + sy = y$$

$$sy = y - c$$

Y sustituyendo la ecuación de sy , se obtiene lo siguiente:

$$\hat{k} = (Ak^\alpha - c) - (\delta + n)k$$

La ecuación se iguala a cero ya que el crecimiento del capital en el estado estacionario es cero, entonces:

$$0 = (Ak^\alpha - c) - (\delta + n)k$$

La ecuación de $(Ak^\alpha - c)$ representa el ahorro, no como un porcentaje del ingreso, sino, como la diferencia que existe con respecto al consumo. Despejando el consumo se obtiene:

$$c = Ak^\alpha - (\delta + n)k$$

Con el fin de hallar el valor del capital que maximiza el consumo, se calcula la derivada parcial del consumo.

$\frac{\partial C}{\partial k} = 0$, es el condición para maximizar el consumo

$$\text{Se deriva, } \frac{\partial C}{\partial k} = \alpha A k^{\alpha-1} - (\delta + n) k \rightarrow 0 = \alpha A k^{\alpha-1} - (\delta + n) k$$

A continuación se despeja cada factor:

$$\alpha A k^{\alpha-1} = (\delta + n)$$

El $k^{\alpha-1}$ se cambia a $k^{1-\alpha}$:

$$\frac{\alpha A}{k^{1-\alpha}} = (n + \delta) \rightarrow \alpha A = (n + s) k^{1-\alpha} \rightarrow k^{1-\alpha} = \frac{\alpha A}{(n+\delta)}$$

Se tiene entonces lo siguiente:

$$k^{1-\alpha} = \frac{\alpha A}{(n+\delta)}$$

$$(k^{1-\alpha})^{\frac{1}{1-\alpha}} = \left(\frac{\alpha A}{n+\delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

Finalmente, siguiendo el procedimiento se consigue el estado estacionario que cumple con la regla de oro, por lo que:

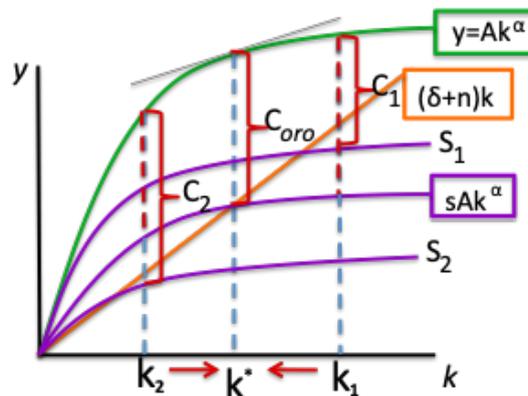
$$k^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha}} = \left(\frac{\alpha A}{n+\delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \rightarrow k^{\frac{1-\alpha}{1-\alpha}} = \left(\frac{\alpha A}{n+\delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

$$k_{oro}^* = \left(\frac{\alpha A}{n+\delta}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \rightarrow k^* = \left(\frac{sA}{\delta+n}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

De manera representativa, el Dibujo 8, demuestra al punto donde se alcanza la *Regla de Oro*, visible con la siguiente expresión: $\alpha A k^{\alpha-1} = (\delta + n)$ que se mueve hacia arriba, donde se maximiza el consumo. En una situación de maximización de

consumo, también se cumple que la tasa de ahorro coincide con el coeficiente de capital $s_{oro} = \alpha$.

Dibujo 8. Regla de oro



En el Dibujo 8 también se puede observar que existen dos casos que indican la eficiencia e ineficiencia dinámica de transición que puede suceder hasta alcanzar el estado estacionario en regla de oro:

En el caso 1, se supone que hay *ineficiencia dinámica* porque se pierde el bienestar, las tasas de ahorro son altas desde un inicio, lo cual provoca que el consumo (C_1) se reprima $s_1 > s_{oro} = \alpha$. La tasa inicial de ahorro (s_1) es superior a la óptima (Regla de Oro), por lo que, implicaría inducir a los ciudadanos a ahorrar menos y consumir más. A medida que se reduce el capital y aplicando la ley de rendimientos decrecientes, el ahorro va disminuyendo hasta que se obtenga la inversión necesaria para que el capital se mantenga constante.

$$\downarrow S^* \rightarrow \downarrow k^* \rightarrow \downarrow s \rightarrow \downarrow c \rightarrow CA < CD \rightarrow \hat{k} < 0$$

En el Dibujo 8, se puede observar la situación inicial C_1 que aumenta para ajustarse hasta llegar al punto de regla de oro c_{oro} . Se puede notar que durante todo el

proceso de ajuste, desde el momento cero hasta el infinito, los niveles de consumo son superiores a los iniciales.

En el caso 2, se encuentra una *eficiencia dinámica* que se da en una situación donde los niveles de ahorro son bajos $s_2 < s_{oro} = \alpha$, por lo tanto, para alcanzar los niveles de consumo máximo en regla de oro se tendrían que tomar medidas para que los individuos ahorrasen más y consumieran menos, provocando un periodo de sacrificio donde los individuos renunciarían al consumo presente.

$$\uparrow S^* \rightarrow \uparrow k_{oro}^* \rightarrow \uparrow s \rightarrow \downarrow c \rightarrow \uparrow \text{Ahorro}$$

La curva de ahorro estaría por encima de la curva de depreciación, se tendrían incrementos en el capital y que con el tiempo se irían agotando.

$$CA > CD \rightarrow \uparrow \hat{k} > 0 \rightarrow \text{Implica un aumento de } \hat{k} > 0$$

Predicciones del modelo de Solow-Swan (1956)

El modelo de Solow-Swan llega a dos predicciones, la primera ya anteriormente expuesta, es que, la economía tiene un crecimiento transitorio, lo cual se puede traducir como que no hay crecimiento económico a largo plazo. Para desarrollarlo matemáticamente, se retoma la ecuación fundamental y la tasa de crecimiento económico *per cápita* del capital, para obtener:

$$Y_k = \frac{\hat{k}}{k_t} = sA k_t^{\alpha-1} - (n + \delta)$$

Con la finalidad de obtener la tasa de crecimiento del capital *per cápita*, se utiliza la ecuación fundamental de la acumulación de capital y se divide por el capital *per cápita*.

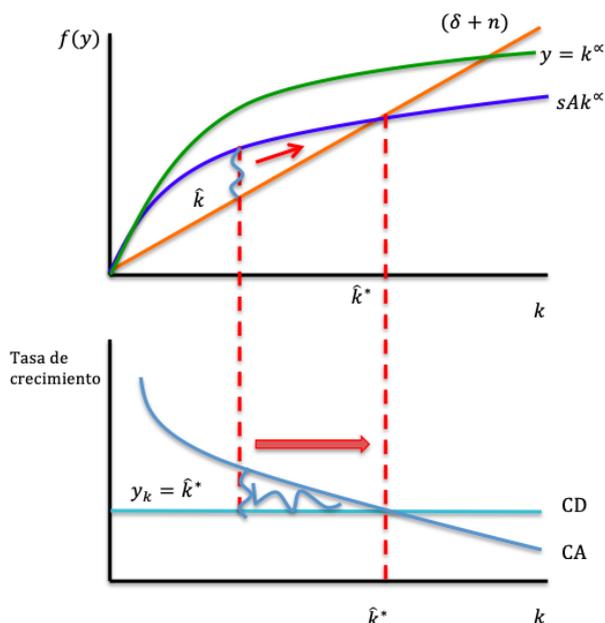
$$\hat{k} = sA k^\alpha - (\delta + n) k$$

$$\frac{\hat{k}}{k_t} = sA \frac{k_t^\alpha}{k_t} - (n + \delta) \frac{k_t}{k_t}$$

Por lo que se tiene:

$$Y_k = \frac{\hat{k}}{k_t} = sA k_t^{\alpha-1} - (n + \delta)$$

Dibujo 9. Ritmo de crecimiento del capital per cápita.



En el Dibujo 9, basado en los movimientos de las curvas de depreciación (CD) y de ahorro (CA), se puede observar el ritmo de la tasa de crecimiento del capital *per cápita*, que a su vez, determina los demás ritmos de crecimiento con respecto a la tecnología, el producto y el consumo. Se puede interpretar como que el crecimiento del consumo *per cápita* coincide con el crecimiento del ingreso *per cápita* y que además, está determinado por el crecimiento del capital *per cápita*.

Explicado con expresiones matemáticas las tasas de crecimiento, se aplican logaritmos y se considera a la tecnología como una variable constante.

$$y = Ak^\alpha \rightarrow \ln y = \ln A + \alpha \ln k$$

$$\frac{\hat{y}}{y} = \frac{\hat{A}}{A} + \alpha \frac{\hat{k}}{k}$$

A continuación, se aplican también logaritmos y tasas de crecimiento al consumo, resultando lo siguiente:

$$c = (1 - s) y \rightarrow \ln c = \ln (1 - s) + \ln y$$

$$\frac{\hat{c}}{c} = \frac{(1-s)\hat{y}}{1-s} + \frac{\hat{y}}{y}$$

La segunda predicción, trata sobre la presencia de una convergencia económica en la que las distintas economías, pobres y ricas eventualmente se dirigen hacia un mismo crecimiento económico. Hay dos tipos de convergencia que puede existir entre los países, la convergencia absoluta y la convergencia condicional. La *convergencia absoluta*, es cuando dos países sólo se diferencian por sus niveles de ingreso, en el que y_p representa el ritmo de crecimiento del país pobre y y_R que es para el ritmo de crecimiento del país rico, se tiene que:

$$y_R > y_p$$

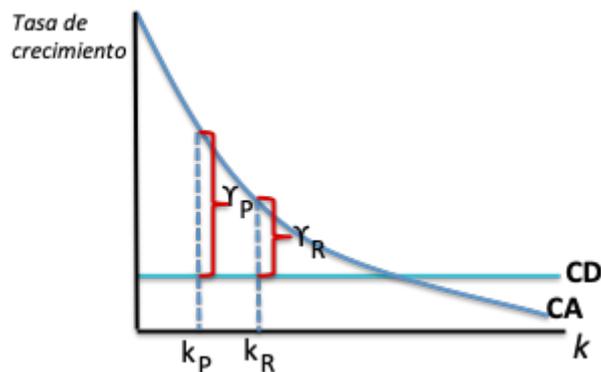
$$k_R > k_p$$

El modelo predice que cuanto más pobre es un país, mayor es su ritmo de crecimiento convergido con los países ricos, ya que supone que hay capacidad excedente que puede ser cubierta intensamente por el país pobre, lo que significa que la dotación de niveles de inversión y del producto al ser menores en los países pobres, podrán con el tiempo nivelar esas diferencias con los países ricos.

En el Dibujo 10, la convergencia absoluta demuestra que el ritmo de crecimiento de los países no depende tanto de su nivel de riqueza inicial, sino de lo alejados que estos se encuentran del equilibrio a largo plazo. A pesar de sus diferencias iniciales,

entre el país rico y el pobre, eventualmente ambos, en un largo plazo, lograrán converger al final. En realidad, no sucede así, ya que existen diferencias en el comportamiento de sus variables, por ejemplo, se podría intuir que los niveles de ahorro y de tecnología que tiene el país rico, son superiores.

Dibujo 10. Convergencia absoluta.



Por otro lado, la *convergencia condicional*, apoya la idea de que los países se diferencian según sean sus ritmos de crecimiento en las tasas de ahorro, en sus tasas de crecimiento de la población, de su nivel tecnológico, etc. Y toma el país rico y_R como el que tiene mayor ritmo de crecimiento.

$$y_R > y_P$$

$$k_R > k_P$$

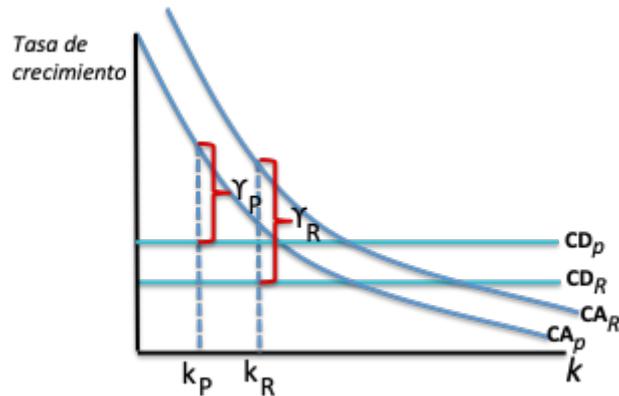
$$s_R > s_P$$

$$A_R > A_P$$

Entonces, la convergencia condicional defiende que el ritmo de crecimiento de los países no depende tanto de su nivel de riqueza inicial, sino de lo lejos que están de su equilibrio. En el Dibujo 11, se puede observar que al país pobre le queda poca

trayectoria de crecimiento, por lo que su crecimiento es pequeño, mientras que el país rico muestra una trayectoria mayor de crecimiento.

Dibujo 11. Convergencia condicional.



Modelo de Solow-Swan con tecnología exógena

El modelo de Solow-Swan predice que una economía puede crecer con tecnología a largo plazo de forma exógena. Una variable exógena, es conocida como aquella cuyo valor está determinado por factores externos, por lo que, se puede entender que es una variable que se forma fuera de un modelo.

El modelo de Solow-Swan se transforma de manera que se incorpora el progreso tecnológico, la especificación de la función de producción es la siguiente:

$$Y_t = K_t^\alpha (A_T L_t)^{1-\alpha}$$

$A_T L_t$, representa el trabajo eficiente, es decir, el trabajador no solamente aporta sus horas de trabajo, sino también sus conocimientos. A continuación, se transformará en función del capital por unidades de trabajo eficiente, a través de la ecuación fundamental del modelo con progreso técnico:

$$\widehat{k}_t = \frac{K_t}{A_t L_t}$$

Retomando las expresiones de producción que se iguala con el consumo y la inversión $Y_t = C_t + I_t$; la renta que se distribuye entre consumo y ahorro

$$Y_t = C_t + S_t \text{ y la inversión de acumulación de capital que se deprecia } I_t = \widehat{k}_t + \delta k_t.$$

Se sustituyen para obtener la ley de acumulación de capital agregado de la economía:

$$\widehat{k}_t = sY_t - \delta k_t. \dots (1)$$

Y al incorporar la especificación del progreso técnico se tendría que:

$$Y_t = k_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha} \dots (2)$$

Si se decide transformar la ley de acumulación en términos de capital por unidad de trabajo eficiente, el paso siguiente es combinar la ecuación (1) y (2), obteniendo así:

$$\frac{\widehat{k}_t}{A_t L_t} = s \frac{k_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha}}{A_t L_t} - \delta \frac{k_t}{A_t L_t}$$

$\frac{\widehat{k}_t}{A_t L_t}$	$\frac{k_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha}}{A_t L_t}$	$\frac{k_t}{A_t L_t}$
Representa el capital agregado dividido por capital eficiente. Capital por trabajo eficiente: $\frac{\widehat{k}_t}{A_t L_t} = \widehat{k}_t$	Capital por unidad de trabajo eficiente elevado a α : $\frac{k_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha}}{A_t L_t (A_t L_t)^{1-\alpha}} = \widehat{k}_t^\alpha$	Capital por unidad de trabajo eficiente.

Para la tercer expresión presentada en el cuadro de arriba se busca definir la ecuación fundamental del crecimiento, empezando por aplicar logaritmos:

$$\ln k_t = \ln K_t - \ln A_t - \ln L_t$$

Se deriva respecto al tiempo para despejar la variación de capital por unidad de trabajo eficiente:

$$\frac{\widehat{K}_t}{\widehat{k}_t} = \frac{K_t}{k_t} - \frac{A_t}{A_t} - \frac{L_t}{L_t}$$

Crecimiento de capital por unidad de trabajo eficiente	Crecimiento de capital agregado	Crecimiento de la tecnología	Crecimiento de la población
$\frac{\widehat{K}_t}{\widehat{k}_t}$	$\frac{K_t}{k_t}$	$\frac{A_t}{A_t}$	$\frac{L_t}{L_t}$

A continuación, se despeja la variación de capital por unidad de trabajo eficiente (\widehat{K}_t)

$$\widehat{K}_t = \widehat{k}_t \frac{K_t}{k_t} - \widehat{K}_t (g - n)$$

$$\widehat{K}_t = \frac{k_t}{A_t L_t} - \frac{K_t}{k_t} (g - n) \widehat{k}_t$$

$$\frac{K_t}{A_t L_t} = \widehat{k}_t + (g - n) \widehat{k}_t$$

$$\widehat{k}_t + (g + n) \widehat{k}_t = s \widehat{k}_t^\alpha - \delta \widehat{k}_t$$

Finalmente, la ecuación fundamental de crecimiento resultaría de la siguiente manera:

$$\widehat{K}_t = s \widehat{k}_t^\alpha - (g + n + \delta) \widehat{k}_t$$

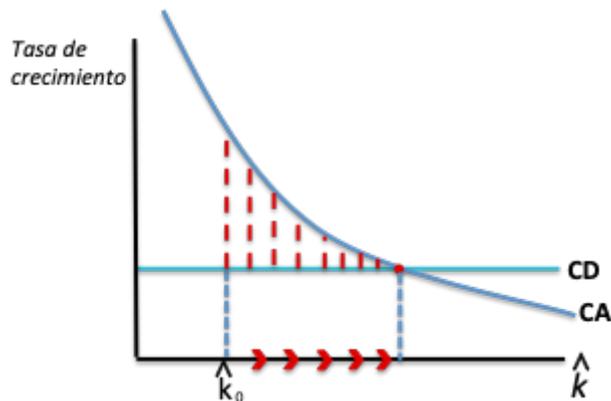
Y en términos *per cápita* quedaría como: $\frac{\widehat{K}_t}{\widehat{k}_t} = s K_t^{\alpha-1} - (g + n + \delta)$

Curva de ahorro (CA)	Curva de depreciación (CD)
$s K_t^{\alpha-1}$	$(g + n + \delta)$

Gráficamente se puede interpretar que el modelo de Solow-Swan con tecnología exógena cuenta con un crecimiento continuo, en el Dibujo 12 se puede observar que

la curva de ahorro está por encima de la curva de depreciación, es evidente que conforme va aumentando el capital por unidad de trabajo eficiente, su ritmo de crecimiento va disminuyendo, hasta que se llega a un estado en el que hay capital por unidad de trabajo eficiente constante.

Dibujo 12. Crecimiento continuo



Su crecimiento por unidad de trabajo eficiente se encuentra cuando $\frac{\widehat{K}_t}{\widehat{k}_t} = 0$. Y a su vez, también se puede interpretar que su crecimiento desagregado es cero: $\frac{K_t}{k_t} - \frac{A_t}{A_t} - \frac{L_t}{L_t} = 0$.

Si el crecimiento tecnológico se despeja hacia la derecha, matemáticamente se refleja como:

$$\frac{K_t}{k_t} - \frac{L_t}{L_t} = \frac{A_t}{A_t} = g$$

Y a su vez, g se puede igualar con el crecimiento del capital *per cápita* de la economía:

$$\frac{K_t}{k_t} = g$$

Demostrando que en estado estacionario el capital *per cápita* tiene un ritmo igual a g , que coincide con el ritmo de crecimiento donde la renta y el consumo son positivos, dependientes de la variable g , caracterizada por ser exógena.

El modelo de Solow-Swan supone que el progreso técnico se encuentra intrínseco dentro del factor A , sin embargo, a pesar de los esfuerzos por tratar de incorporar a la tecnología como un factor de crecimiento continuo para una economía, el modelo no logra definir los parámetros que lo comprenden. Por eso, los nuevos modelos de crecimiento, proponen cambiar los supuestos de las funciones de producción neoclásicas, para ser capaces de construir modelos de crecimiento que expliquen el crecimiento ellos mismos y que no tengan que recurrir a variables exógenas al modelo.

Modelo AK de Rebelo con crecimiento endógeno (1990)

El modelo AK de Rebelo de 1990 considera una función de producción lineal con tecnología AK, representado como: $Y = AK$. El modelo AK de Rebelo se caracteriza en que todos los factores de producción son una forma de capital, define el acervo de capital incorporado a la calidad de la mano de obra, por tanto, el trabajo es asimilado al capital humano, que es acumulable y se añade al capital físico; un capital destinado a invertir en salud, educación, etc.

La particularidad de su función de producción en comparación con el modelo de Solow-Swan difiere en que no tiene el comportamiento de rendimientos decrecientes

($\frac{\partial Y}{\partial K} < 0$ $\frac{\partial^2 Y}{\partial K^2} < 0$) y tampoco cumple con las condiciones de *INADA*, por tanto,

Rebelo a través de su modelo lineal es capaz de explicar crecimiento de forma endógena. Mostrando su representación matemática y retomando las siguientes ecuaciones:

$$Y = C + I \rightarrow \text{Reparto del producto}$$

$$Y = C + S \rightarrow \text{Reparto de la renta}$$

Que a su vez, se integran con las siguientes expresiones, para obtener la ley de acumulación de capital, similar al desarrollado en el modelo de Solow-Swan:

$I = \widehat{K} + \delta K$, donde la inversión se iguala con la acumulación de capital más la reposición necesaria del capital que se deprecia.

$S = sY$, expresando un ahorro con un porcentaje constante de la renta

Entonces, la ley de acumulación de capital, considerando la función de producción de Rebelo, se representa como:

$$\widehat{K} = sAK - \delta K$$

Si se transforma en términos *per cápita*, se divide sobre el trabajo L , resultaría:

$$\frac{\widehat{K}}{L} = \frac{sAK}{L} - \frac{\delta K}{L}$$

Y finalmente, se busca obtener la ecuación fundamental que considera los rendimientos crecientes del capital, mismo que generan crecimiento económico a largo plazo. Matemáticamente se expresa como:

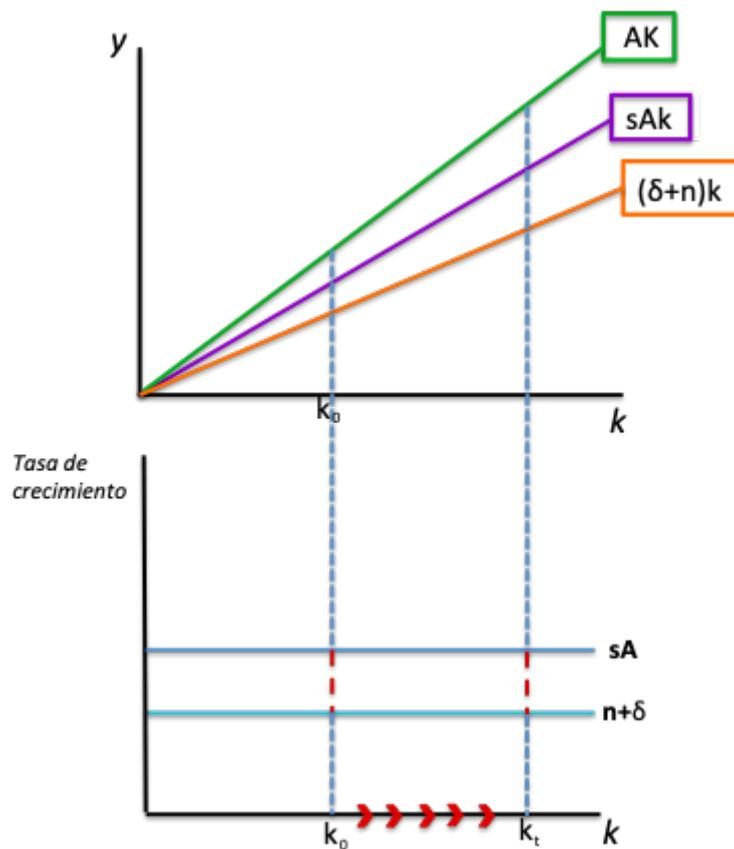
$$\widehat{k} = sAk - (\delta + n)k$$

La tasa de crecimiento a largo plazo del modelo de Rebelo de capital matemáticamente se representa de la siguiente manera:

$$\frac{\widehat{k}}{k} = sA - (\delta + n) \neq 0$$

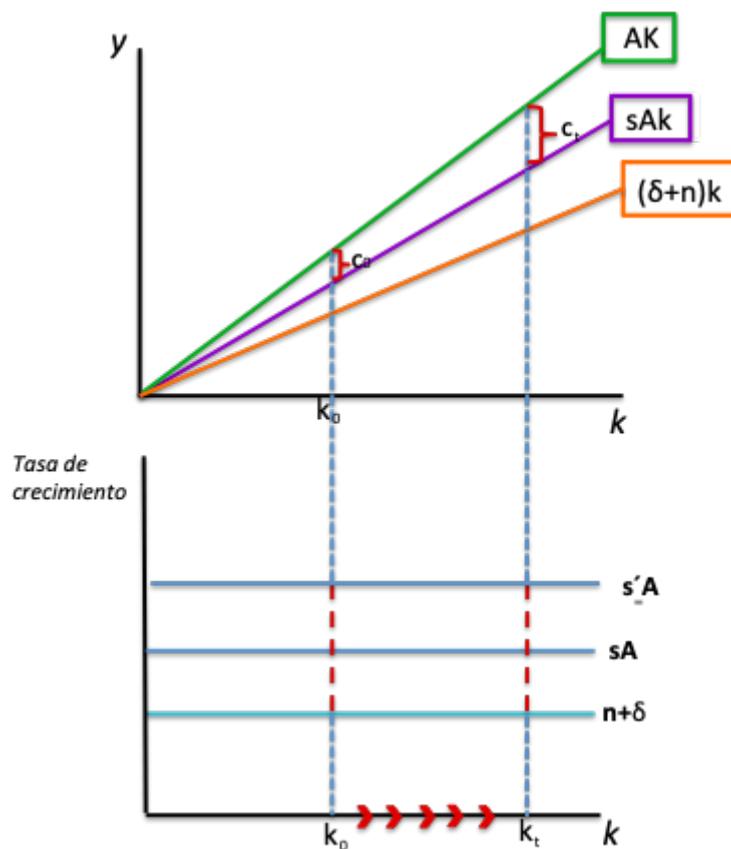
La tasa de crecimiento del capital depende positivamente de la tasa de ahorro y el nivel de tecnología y negativamente de la tasa de crecimiento de la población y la depreciación. En el Dibujo 13, se puede observar una representación gráfica del modelo lineal de Rebelo (1990).

Dibujo 13. Crecimiento económico en el modelo AK de Rebelo



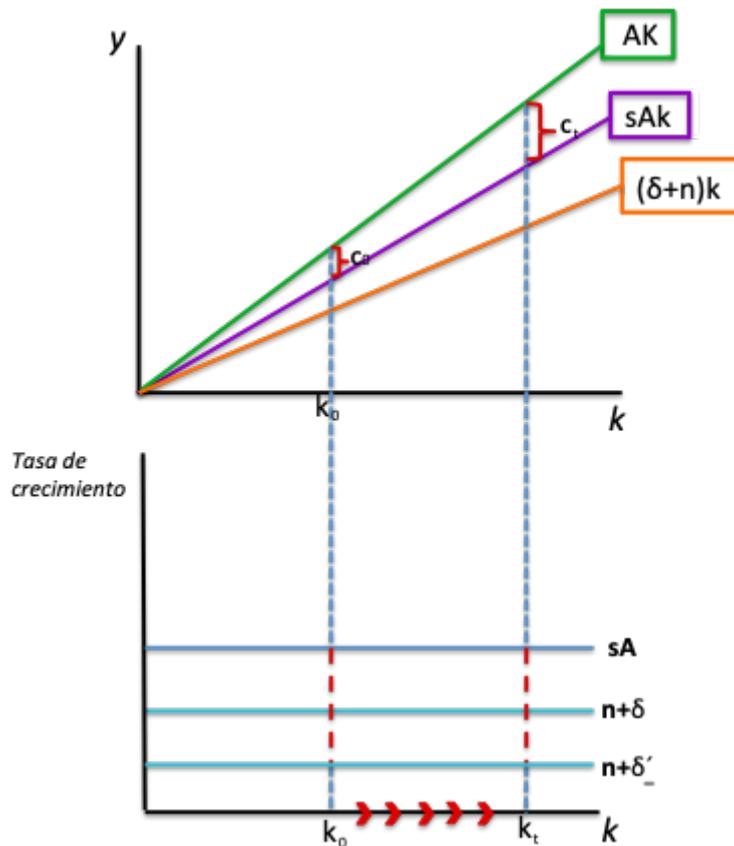
En el Dibujo 13, se puede apreciar cómo ninguna de las curvas se intersectan y además, las curvas de producción ($Y=Ak$) y la de ahorro (sAk) se encuentran por arriba de la curva de la depreciación (línea naranja), reflejando así la existencia de un crecimiento a largo plazo y continuo. No hay presencia de la regla de oro, no hay un máximo de consumo, simplemente hay un ritmo de crecimiento que depende del nivel de ahorro y del nivel de producción que se tenga.

Dibujo 13.1. Crecimiento económico en el modelo AK de Rebelo con un aumento en el ahorro o la tecnología



En el Dibujo 13.1 y 13.2 se pueden observar la tasa de crecimiento en el modelo AK de Rebelo, donde su crecimiento depende de sA , o sea del nivel de ahorro y de la depreciación ($\delta + n$). El Dibujo 13.1, demuestra que cuanto mayor sea s y A , mayor será el crecimiento, mientras que en el Dibujo 13.2, se puede decir que cuanto menor sea el ritmo de crecimiento de la población, o menor sea el ritmo en el que se deprecia el capital, habrá mayor crecimiento económico.

Dibujo 13.2. Crecimiento económico en el modelo AK de Rebelo con una disminución en la población y depreciación del capital.



En el modelo de Rebelo muestra una alternativa para obtener un crecimiento en el largo plazo o, un crecimiento sostenido al conservar la hipótesis de competencia perfecta y al tener la igualdad entre la tasa de crecimiento óptimo y la tasa de crecimiento del equilibrio competitivo. Para ello basta con eliminar el factor trabajo de la función de producción o considerar el trabajo como un tipo de capital acumulable que se puede añadir al capital físico para formar el concepto de capital global y de tener una elasticidad del producto respecto a K igual a 1.

Modelo de Romer 1986: Externalidades de Capital

Romer en su modelo de (1986) hace referencia al capital agregado como la externalidad que acumula inversión, en el sentido de que, cuanto más se invierte, más se genera conocimiento, consecuencia del aprendizaje por la práctica (*learning by doing*) ya que, cuanto más se conoce, más incentivos hay para invertir. Una vez captado el conocimiento, eventualmente ocurrirá su desbordamiento, extendiéndose al resto de los sectores productivos. La función de producción con externalidades de capital, Romer la introduce como:

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha} \kappa^\eta$$

Donde κ^η representa la externalidad positiva y el parámetro η engloba el peso que tiene la externalidad en la función de producción, que incorpora el conocimiento, innovación, etc. El modelo de Romer identifica la externalidad con el capital agregado como $\kappa = K$ por lo que, sustituye la externalidad por el capital agregado, para representar la producción agregada con externalidades como:

$$Y = AK^{\alpha+\eta} L^{1-\alpha}$$

Se transforma en términos *per cápita*, para obtener la expresión de la renta *per cápita* con externalidades de capital, siguiendo los siguiente pasos:

$$\frac{Y}{L} = \frac{AK^{\alpha+\eta} L^{1-\alpha}}{L}$$

$$\frac{Y}{L} = \frac{AK^{\alpha+\eta} L^{1-\alpha}}{L} \frac{L^\eta}{L^\eta}$$

$$\frac{Y}{L} = \frac{Ak^{\alpha+\eta}}{L^{\alpha+\eta}} L^\eta$$

$$y = Ak^{\alpha+\eta} L^\eta$$

Se simplificó la función de producción, suponiendo que el trabajo *per cápita* no crece, es decir, es cero o constante.

A través de la ecuación fundamental del crecimiento de la acumulación del capital con externalidades de capital se puede obtener la tasa de crecimiento:

$$\text{Ecuación fundamental con externalidades de capital} \rightarrow \hat{k} = sAk^{\alpha+\eta}L^\eta - \delta k$$

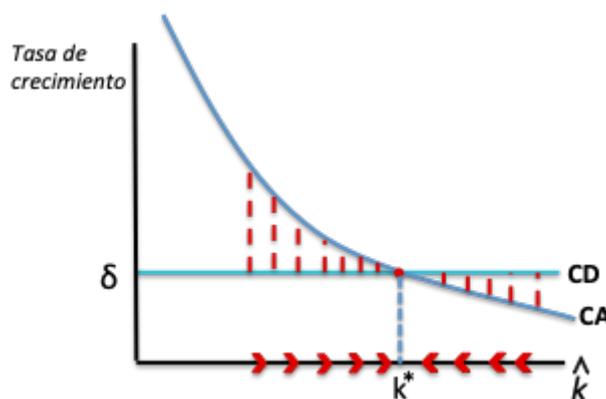
$$\text{Dividiendo la expresión por capital } \textit{per cápita} \rightarrow \frac{\hat{k}}{k} = \frac{sAk^{\alpha+\eta}L^\eta}{k} - \delta \frac{k}{k}$$

$$\frac{\hat{k}}{k} = sAk^{\alpha+\eta-1}L^\eta - \delta$$

Por la forma que tiene la tasa de crecimiento del modelo de Romer (1986), se puede inferir que el crecimiento económico va depender del comportamiento de su exponente $\alpha + \eta - 1$. A continuación, se exponen tres casos que pueden resultar del modelo:

Caso 1: $\alpha + \eta < 1$, la externalidad es pequeña con poco impacto en el conocimiento. En el Dibujo 14 se puede observar que tiene un comportamiento similar al modelo neoclásico de Solow-Swan, donde el capital *per cápita* de un país es un tanto mayor, cuanto mayor sea su población preparada con conocimiento, aunque, este llegará a un punto de estado estacionario constante en equilibrio.

Dibujo 14. Crecimiento con externalidad pequeña ($\alpha + \eta < 1$).



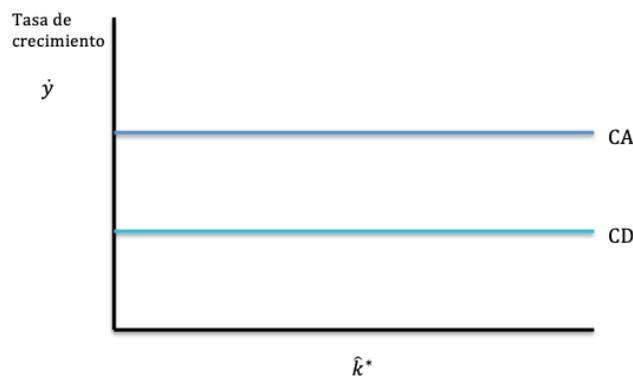
Su comportamiento también se puede entender a partir de la siguiente expresión:

$$\hat{k} = \left[\frac{sAL^\eta}{\delta} \right]^{\frac{1}{1-\alpha-\eta}}, \text{ donde la renta per cápita depende positivamente del ahorro y del$$

progreso técnico y, negativamente de la depreciación del capital.

Caso 2: $\alpha + \eta = 1$, rendimientos de escala constantes sobre los factores acumulables, hay un crecimiento constante con conocimiento igual a la unidad y que ocurre en un largo plazo muy similar al expuesto por Rebelo (1990).

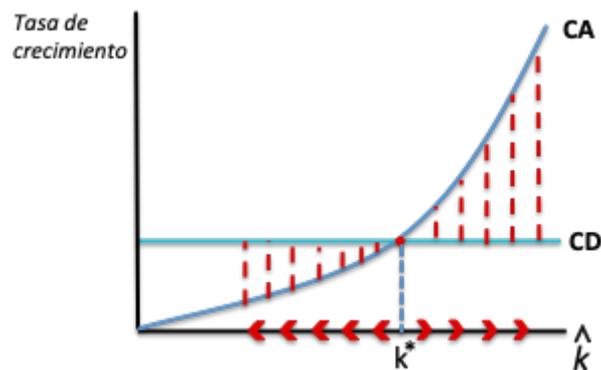
Dibujo 15. Tasa de crecimiento con externalidad pequeña ($\alpha + \eta = 1$).



En el Dibujo 15 se puede observar que no hay ningún tipo de crecimiento, su tasa de crecimiento se mantiene constante y careciendo de dinamismo.

Caso 3: $\alpha + \eta > 1$, presenta una función de producción con rendimientos crecientes sobre los factores acumulables. La tasa de crecimiento está en constante aumento y cuenta con una externalidad grande que eleva el crecimiento económico.

Dibujo 16. Crecimiento con externalidad grande ($\alpha + \eta > 1$).



En el Dibujo 16 se puede apreciar que el dinamismo, tiende a ascender en un largo plazo, por lo que, sí existen las condiciones para crear capital *per cápita* y, cuando hay niveles altos de capital *per cápita*, el crecimiento es positivo. También se puede inferir que, es la mejor alternativa de los tres casos, ya que existe crecimiento económico derivado de las altas tasas de crecimiento que surgieron a partir del conocimiento y el cambio técnico. Por otro lado, es importante considerar que si el capital *per cápita* continúa desplazándose hacia la izquierda, después del punto de equilibrio, la economía tenderá a destruirse, ya que su curva de ahorro está por debajo de la curva de depreciación.

CAPÍTULO TERCERO

MODELO ECONOMÉTRICO

Los planteamientos en este capítulo esperan cumplir con los resultados que se presentaron en los modelos con crecimiento económico tipo exógeno y endógeno, con el fin de determinar la mejor alternativa para explicar la realidad de una economía que se espera que crezca con progreso técnico a largo plazo, con el enfoque de cuando una economía decide invertir en I+D y, sobre todo en su capital humano.

Modelo de Convergencia absoluta y condicional.

En este primer apartado, se presentará un modelo inspirado en una de las predicciones expuestas en el modelo de crecimiento neoclásico de Solow-Swan; su denominada convergencia absoluta y condicional. Como estudios similares, se utilizó como base la destacada investigación de convergencia económica entre países, de Barro y Sala-i-Martin (1991), en su trabajo estudian el comportamiento de las tasas de crecimiento de los ingresos personales *per cápita* de los 48 estados continentales de los Estados Unidos de Norteamérica desde 1880 hasta 1988, y sus tasas de crecimiento promedio del PIB real *per cápita*.

Para la presente investigación, se pretende identificar si hay existencia de convergencia absoluta o condicional, para un grupo total de 20 países seleccionados de economías avanzadas y emergentes, el análisis parte de una regresión lineal entre los niveles del PIB real *per cápita* nacional y sus tasas de

crecimiento promedio anual, dadas entre los años de 2008 a 2018, utilizando una base de datos del Banco Mundial.

Las tasas de crecimiento de los valores del PIB *per cápita* real se calcularon aplicando logaritmos naturales a la fórmula $(1/T) \ln (Y_i, t/Y_i, t-T)$, en representación al estudio empírico que Barro y Sala-i-Martin utilizaron. El cálculo de los valores del coeficiente de convergencia condicional, con el parámetro β ; y se utilizó una regresión para determinar la convergencia absoluta, calculando las desviaciones estándar de las distribuciones de valores nacionales del PIB real *per cápita* (convergencia tipo σ), para ver su tendencia en el tiempo.

Empíricamente, se utiliza el parámetro β – *convergencia*, para explicar el crecimiento de las economías pobres y ricas, que en este conjunto de economías se espera una relación inversa entre la tasa de crecimiento de la renta y el nivel inicial de dicha renta; si el coeficiente resulta con un signo positivo, indica que existe convergencia, mientras que el signo negativo, mostraría la existencia de divergencia. Por otro lado σ – *convergencia*, representará la dispersión de la renta real *per cápita* entre grupos de economías que tiende a reducirse con el tiempo.

La hipótesis de β – *convergencia* sugiere que esta tasa de crecimiento es una función negativa del nivel de renta en t-1. Por ejemplo, la tasa de crecimiento se podría escribir como:

$$\log(y_{i,t}) - \log(y_{i,t-1}) = \alpha - \beta \log(y_{i,t-1}) + \mu_{it} \dots (1.1)$$

donde μ_{it} contempla el margen de error que pueda existir en la función de producción, la tasa de ahorro, etc. β es una constante positiva, por lo que, se encuentra en un rango de $0 < \beta < 1$. Un mayor coeficiente β corresponde a una mayor tendencia hacia la convergencia.

Se supone a μ_{it} con una media de cero, es la misma varianza para todas las economías de estudio y es independiente en el tiempo. Si se suma $\log(y_i, t)$ en ambos lados de la ecuación (1.1), se puede observar que la renta real *per cápita* de la economía puede aproximarse mediante la siguiente ecuación:

$$\log(y_i, t) = \alpha + (1 - \beta) \log(y_i, t - 1) + \mu_{it} \dots (1.2)$$

Mientras que la varianza se identifica matemáticamente como:

$$\sigma_t^2 = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N (\log(y_i, t) - \mu_t)^2 \dots (1.3)$$

Donde μ_t es la media muestral de $\log(y_i, t)$. Si el número de observaciones, N, es grande, entonces la varianza muestral se aproxima a la varianza poblacional, y se puede utilizar la ecuación (1.2) para derivar la evolución de σ_t^2 en el tiempo, resultando:

$$\sigma_t^2 = (1 - \beta)^2 * \sigma_{t-1}^2 + \sigma_u^2 \dots (1.4)$$

La expresión (1.4) refleja una ecuación en diferencias de primer orden, que es estable si $0 < \beta < 1$. Si no existe β - *convergencia*, de modo que $\beta \leq 0$, no puede haber σ - *convergencia*, en otras palabras, β - *convergencia*, es una condición necesaria para la existencia de σ - *convergencia*.

$$\sigma_t^2 = (\sigma^2)^* + \left[\sigma_0^2 - (\sigma^2)^* \right] * (1 - \beta)^{2t} \dots (1.5)$$

donde $(\sigma^2)^*$ es el valor de estado estacionario de σ_t^2 , o sea, el valor de σ^2 cuando

$\sigma_t^2 = \sigma_{t-1}^2$, viene dado por:

$$(\sigma^2)^* = \sigma_\mu^2 / [1 - (1 - \beta)^2].$$

La dispersión de estado estacionario disminuye cuando β aumenta, pero aumenta con la varianza de la perturbación, σ_μ^2 . La ecuación (1.5) supone que, $0 < \beta < 1$, entonces σ_t^2 se aproxima monótonamente a su valor de estado estacionario $(\sigma^2)^*$, dado que se trata de una función exponencial del tiempo donde la base de la exponencial es menor que uno, el término que multiplica a este exponencial puede ser positivo o negativo, por lo que, a lo largo de la trayectoria hacia $(\sigma^2)^*$, el valor de σ_t^2 puede aumentar o disminuir.

Si la varianza inicial resulta superior al final, entonces σ_t^2 se reduce a lo largo de la transición hacia el estado estacionario, por lo que hay $\sigma - convergencia$. Si por el contrario, la varianza inicial es inferior a la final, entonces σ_t^2 aumenta a lo largo del tiempo. σ_t^2 podría aumentar durante la transición si $\beta > 0$, por lo que puede haber $\beta - convergencia$ y $\sigma - convergencia$.

Xala-I-Martin, empíricamente demuestra que hay por lo menos dos maneras de trabajar los datos, la primera es limitando el estudio al conjunto de economías parecidas, en el sentido de que están pobladas por individuos con preferencias

similares, por lo que se acercarán al mismo estado estacionario y tenderán a acercarse entre ellas. La segunda manera de llevar los datos es a través de la utilización de regresiones múltiples. Un conjunto de economías presenta β – *convergencia* condicional si la correlación parcial entre crecimiento y renta inicial es negativa, en otras palabras, con la regresión que se utilice será con datos de sección cruzada del crecimiento sobre la renta inicial.

Resultado de la evaluación de la tasa de crecimiento de los países emergentes.

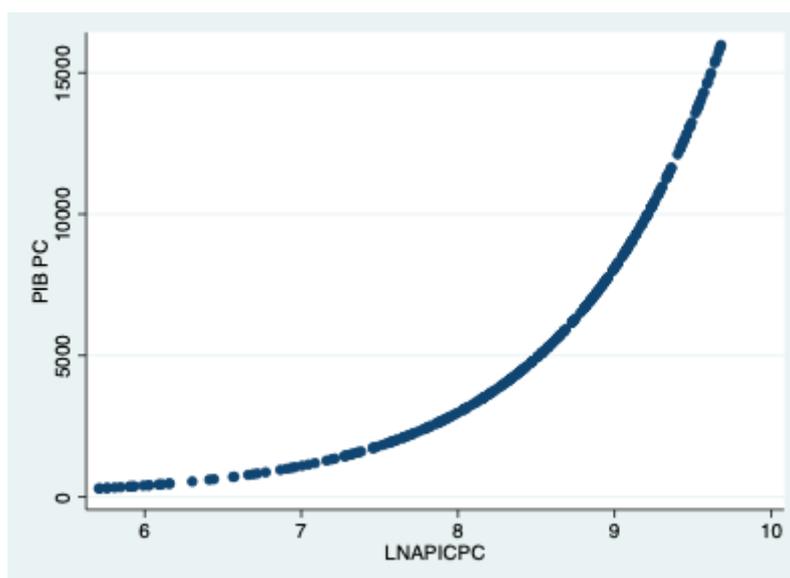
```
. reg DiferenciaPIB LNAPICPC
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	300
Model	94.7196175	1	94.7196175	F(1, 298)	=	93.45
Residual	302.053523	298	1.01360243	Prob > F	=	0.0000
Total	396.773141	299	1.32700047	R-squared	=	0.2387
				Adj R-squared	=	0.2362
				Root MSE	=	1.0068

Diferencia~B	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
LNAPICPC	.5776409	.0597547	9.67	0.000	.4600463 .6952354
_cons	-4.804585	.5036076	-9.54	0.000	-5.795663 -3.813507

Esta primera regresión, es el resultado de la evaluación de la tasa de crecimiento de los países emergentes, se puede observar que β es un valor entre 0 y 1, significa que su parámetro converge en 0.57 y además, es positivo, por lo tanto, hay presencia de convergencia condicional. Por otro lado, su desviación estándar muestra una dispersión de 0.59 para su convergencia absoluta. Gráficamente, se puede apreciar una correlación positiva entre el PIB *per cápita* y su tasa de crecimiento, medido a través de su logaritmo.

Países emergentes: PIB per cápita y Tasa de crecimiento.



Resultado de la evaluación de la tasa de crecimiento de los países avanzados.

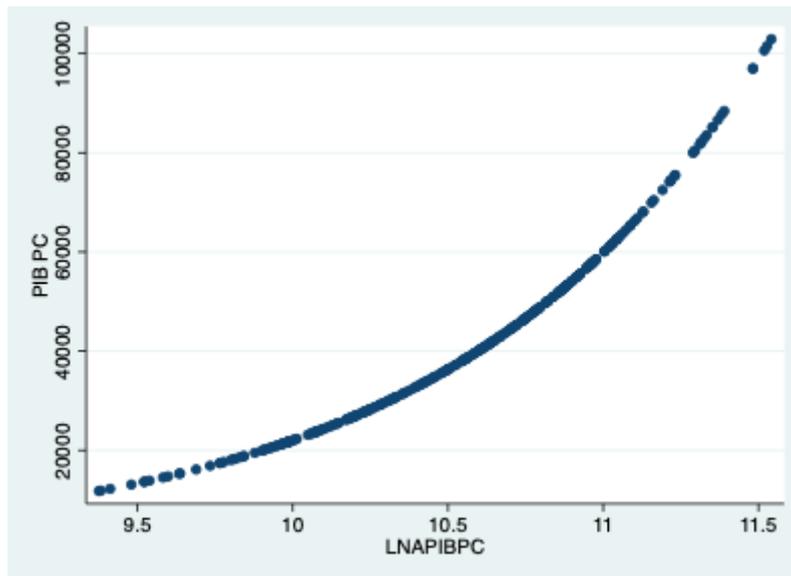
```
. reg DiferenciaPIB LNAPIPC
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	300
Model	7.20265015	1	7.20265015	F(1, 298)	=	14.73
Residual	145.755983	298	.489114038	Prob > F	=	0.0002
Total	152.958634	299	.511567336	R-squared	=	0.0471
				Adj R-squared	=	0.0439
				Root MSE	=	.69937

Diferencia~B	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
LNAPIPC	.3370603	.0878348	3.84	0.000	.1642053 .5099154
_cons	-3.513192	.9260161	-3.79	0.000	-5.335551 -1.690832

En esta segunda regresión, conformada por los países avanzados, se obtuvo un parámetro β de 0.33, un coeficiente más bajo a comparación del obtenido con los países emergentes, por lo que, se puede suponer que su nivel de dispersión es superior, aún así, continúa existiendo convergencia condicional para los países avanzados, en los años de 1990 y 2019 y una desviación estándar de 0.87 para su convergencia absoluta. De igual manera, el gráfico presenta una correlación positiva entre el PIB *per cápita* de los países avanzados, con sus tasas de crecimiento.

Países avanzados: PIB per cápita y Tasa de crecimiento.



Resultado de la evaluación de la tasa de crecimiento de los países Avanzados y Emergentes.

`. reg DiferenciaPIB LNAPICPC`

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	600
Model	74.1458428	1	74.1458428	F(1, 598)	=	77.82
Residual	569.781724	598	.952812247	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.1151
				Adj R-squared	=	0.1137
Total	643.927567	599	1.07500429	Root MSE	=	.97612

Diferencia~B	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
LNAPICPC	.2660125	.0301552	8.82	0.000	.2067895 .3252355
_cons	-2.495908	.2878033	-8.67	0.000	-3.061137 -1.93068

Finalmente, realizando una regresión que incluye los datos de los países avanzados como de los emergentes, se obtuvo un resultado del parámetro β de 0.26, un coeficiente aún menor que las β s anteriores, más cercana a 0, por lo que, se puede inferir que se obtiene un parámetro β superior cuando el grupo de países presentan características económicas similares.

Según la evidencia encontrada hasta el momento, la predicción de Solow-Swan de convergencia condicional y absoluta, es cierta, ya que estos tienden a converger positivamente entre 0 y 1. Se notó un mejor desenvolvimiento de las variables, separando los países según su tipo de categoría (avanzados y emergentes), los países emergentes muestran una mayor convergencia de su renta *per cápita*.

Modelo Econométrico con Datos Panel

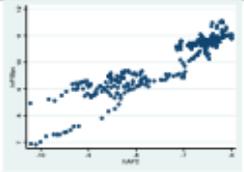
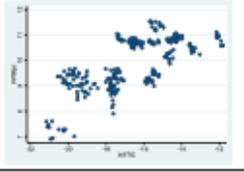
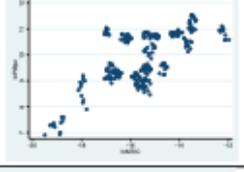
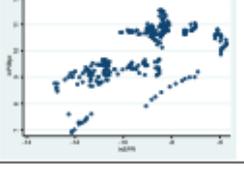
Un modelo econométrico es una representación que permite estimar de manera empírica el comportamiento de las variables que se elijan evaluar entre sí, con el fin de interpretar el comportamiento y desarrollo de uno o varios países y con ello, poder realizar predicciones. En este último apartado, se busca evaluar la importancia que se le puede destinar a invertir en variables de innovación e investigación para el progreso técnico y, determinar de qué manera podría contribuir en el crecimiento económico de un país.

Stiglitz y Greenwald (2014) plantean que el crecimiento de la productividad es resultado de tres variables que apuntan hacia un desarrollo dinámico, caracterizándose como dinámico porque no sólo se situaría en un sector, sus efectos inevitablemente se derramarán hacia otros, tal como lo propone Romer en su modelo de 1986.

La primer variable expuesta por Stiglitz y Greenwald, son los esfuerzos de *investigación y desarrollo (I+D)*, en segundo lugar, considera las mejoras en el *capital humano*, que se puede esparcir a través de la migración de la mano de obra hacia los demás sectores de la economía, o todo ese conocimiento acumulado que

aunque se desarrolle en un sector, también migrará naturalmente hacia otros sectores y por último, el *aporte institucional* que se tendría que ir desarrollando en respuesta a las necesidades de un sector.

Presentación de las variables:

Variable	Tipo	Unidades	Relación gráfica respecto al PIB	Signo esperado
PIB (Producto Interno Bruto)	Dependiente, cuantitativa	US\$ a precios actuales		
APC (Artículos en publicaciones científicas y técnicas)	Independiente, cuantitativa	Número de publicaciones realizadas		Positivo
XTIC (Exportaciones de productos TIC)	Independiente, cuantitativa	% exportaciones de productos		Positivo
MTIC (Importaciones de bienes TIC)	Independiente, cuantitativa	% del total de importaciones de bienes		Positivo
SPR (Solicitud de patentes, residentes)	Independiente, cuantitativa	Número de solicitudes		Negativo

Base de datos obtenida del Banco Mundial (ver Anexo 1)

Se utiliza al PIB como una variable *proxy*⁸ para medir el crecimiento económico de un país ya que determina la cantidad de bienes y servicios que están siendo consumidos en un país o de un país.

Basado en el modelo de Romer (1986) que predice que el crecimiento económico es el resultado de un proceso de I+D en la que las decisiones de inversión en capital y en infraestructura genera crecimiento económico. Con el fin de evaluar

⁸ Una variable *proxy*, es una variable estadística a la cual no se le atribuye un interés por sí misma. La variable proxy debe poseer una fuerte correlación, pero no necesariamente lineal o positiva, con el valor inferido.

empíricamente el impacto que tiene la capacidad tecnológica, se utiliza como indicadores de input a las *importaciones de bienes TIC* y como indicadores de output entrarían las *exportaciones de productos TIC, los artículos de publicación científico y técnica* que se espera tengan una influencia positiva respecto al PIB y por último, *la solicitud de patentes de residentes y no residentes* que según lo expuestos en el capítulo primero, se espera que tengan una influencia negativa sobre el crecimiento de un país. Por último, se incluye la variable de la población para poder obtener las tasas de crecimiento de las variables.

El modelo econométrico se organizó con datos panel⁹, contemplando una dimensión espacial de 24 países, repartido en 12 países denominados como avanzados y 12 emergentes (ver tabla de abajo) y, una temporalidad de 10 años que parte del 2007 al 2018, que refleja el total de años en el que se encontró información disponible para las variables propuestas para este modelo econométrico.

No.	Emergentes	Avanzados
1	India	Noruega
2	Sudáfrica	Estados Unidos
3	Brasil	Alemania
4	China	Israel
5	Corea	Países Bajos
6	México	Dinamarca
7	Rusia	Canadá
8	Colombia	Japón
9	Polonia	Austria
10	Argentina	Singapur
11	Chile	Francia
12	Turquía	Bélgica

```
. xtset country_num Year
      panel variable:  country_num (strongly balanced)
      time variable:  Year, 2007 to 2018
                   delta:  1 unit
```

⁹ Los datos panel son un conjunto de datos donde se observan las mismas unidades (por ejemplo, individuos, empresas, países, escuelas) durante más de un período de tiempo.

Matemáticamente se evaluó la siguiente función en términos de tasas de crecimiento:

$$\ln PIBpc = C + \beta \ln\left(\frac{APC}{POP}\right) + \beta \ln\left(\frac{XTIC}{POP}\right) + \beta \ln\left(\frac{MTIC}{POP}\right) - \beta \ln\left(\frac{SPRN}{POP}\right) + \xi$$

β representa el coeficiente que se espera estimar y ξ es el factor error que incluye todo lo que las variables explicativas no logran determinar, aquellas que no son observables o bien, las variables omitidas. Si estas variables omitidas son constante en el tiempo, incluso si son heterogéneas a través de las unidades, en los datos panel se estimará consistentemente el efecto de la variable de tratamiento sobre los resultados, considerando esto, existen varios tipos de estimadores para datos de panel, en este apartado sólo se evaluará el modelo con dos métodos, el de mínimos cuadrados ordinarios agrupados (POLS) y por efectos fijos (FE). A continuación, se muestran las evaluaciones con ayuda del programa estadístico STATA con el fin de hallar los mejores estimadores y la viabilidad de los mismos.

Como un primer acercamiento, se generó una regresión como un panel agrupado, esto quiere decir, que toma la base de datos como un tipo de *pool*¹⁰, muy similar a la manera en que se analizan los datos de corte transversal, para determinar la regresión, relacionando el logaritmo natural del PIB *per cápita* con el logaritmo natural de las variables explicativas, STATA lo calcula utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios¹¹.

¹⁰ Modelo agrupado que no está considerando el tiempo de una observación sobre otra.

¹¹ El método de los mínimos cuadrados se utiliza para calcular la recta de regresión lineal que minimiza los residuos, esto es, las diferencias entre los valores reales y los estimados por la recta.

reg lnPIBpc lnAPC lnXTIC lnMTIC lnSPR

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	288
Model	253.537156	4	63.3842891	F(4, 283)	=	536.94
Residual	33.407566	283	.118047936	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.8836
				Adj R-squared	=	0.8819
Total	286.944722	287	.999807395	Root MSE	=	.34358

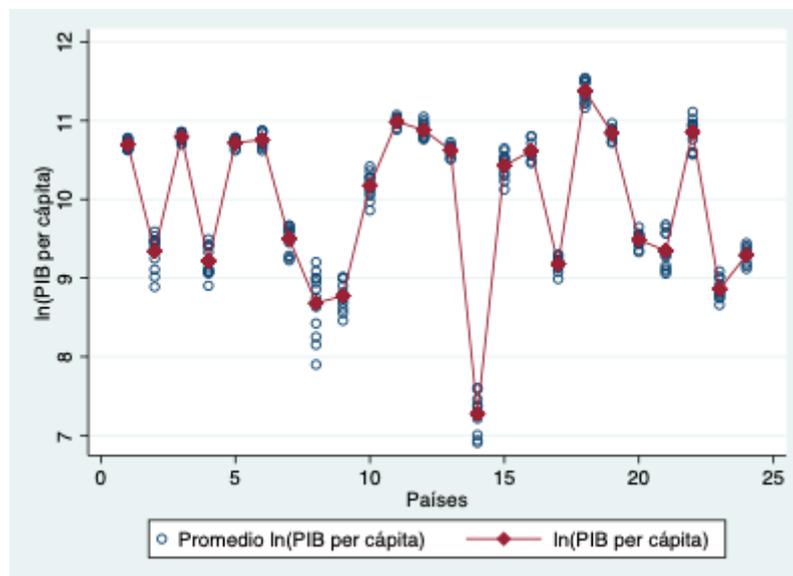
lnPIBpc	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
lnAPC	.7300726	.0410123	17.80	0.000	.6493448	.8108004
lnXTIC	-.1019295	.0191176	-5.33	0.000	-.1395602	-.0642987
lnMTIC	.2155828	.0262248	8.22	0.000	.1639624	.2672033
lnSPR	.0708004	.0213171	3.32	0.001	.0288402	.1127606
_cons	17.66876	.2453219	72.02	0.000	17.18587	18.15165

Según el resultado de la R^2 , el modelo puede explicar la variable del PIB en un 88.19%. La prueba F, es una prueba de hipótesis conjunta de las variables independientes, y si ésta resulta menor que 0.05, demuestra que las variables independientes son significativas para explicar la variable dependiente, que en este caso lo son, ya que su probabilidad fue de 0.00. Observando la significancia individual de las variables, se puede apreciar que todas las variables son significativas para el modelo, al demostrar una probabilidad inferior al 0.05.

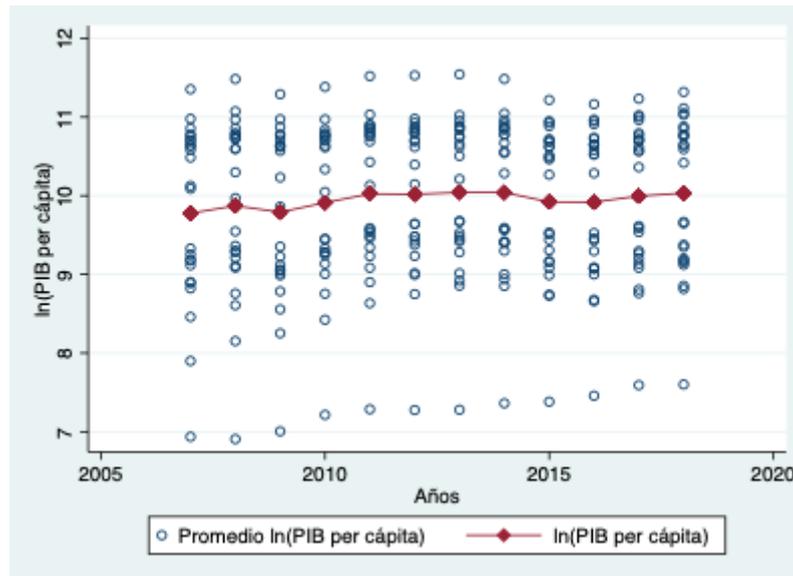
Partiendo de esta primer estimación de los coeficientes y el nivel de significancia que resultó, se podría proceder con otras pruebas para seguir evaluando su viabilidad, sin embargo, se debe considerar que las observaciones de los datos panel cuentan con características invariables en el tiempo o invariables entre los países, por lo que, se puede suponer que habrá presencia de heterogeneidad que no son observables tanto en el resultado, como en el tratamiento en cada período y por lo tanto, sin controlar esto, se estaría omitiendo el sesgo de la variable y, los

errores individuales estarán correlacionados con las observaciones y los MCO serán inconsistentes.

Ahora, con el fin de evaluar estas inconsistencias, para cada país, se graficó el promedio del *PIB per cápita*, el primero, incluye la trayectoria del *PIB per cápita* de cada uno de los países, con el fin de observar las diferencias estructurales económicas que pueden existir entre ellos. El punto rojo indica el promedio del *PIB per cápita* de un país y la línea trazada en rojo es el valor. Este primer gráfico, demuestra que cada país tiene características propias que hace que tengan una trayectoria del producto distinta, se tienen valores un poco más arriba o más abajo del promedio, o bien, rondan muy cerca del promedio y además, la mayoría lo hace entre un rango de 9 y 11.



El segundo gráfico, muestra el promedio del *PIB per cápita* comparado con las tasas de crecimiento de cada país a través del tiempo, es decir, se tomaron todos los países de cierto año para promediarlos, de esta manera, visualmente se tiene la siguiente tendencia del promedio global y se puede apreciar que en los últimos años va en ascenso.



Finalmente, para evitar que estas características no observables invariables en el tiempo y en el producto de cada país, se optó por modelizar las variables con efectos fijos para poder controlar los problemas de heterogeneidad que se pueden derivar de las diferencias estructurales de cada país, recolectadas por uno de los coeficientes de efectos fijos.

Ajustando el modelo para estos imperfectos, da otro tipo de resultado, es decir, supone que el error (ξ_{it}) puede descomponerse en dos partes, en una fija, constante para cada país (v_i) y otra aleatoria que cumple los requisitos MCO (u_{it}) ($\xi_{it} = v_i + u_{it}$), lo que es equivalente a obtener una tendencia general por regresión dando a cada observación un punto de origen distinto.

Una alternativa que ofrece STATA para eliminar esta heterogeneidad es realizando una regresión para paneles de datos con efectos fijos, en esta segunda estimación, es posible que cambien los niveles de significancia previos. En la segunda regresión, con efectos fijos, se puede observar que las variables en su conjunto

continúan siendo significativas, comparado con la regresión con datos agrupados, se puede observar que la única variable que dejó de ser significativa es la variable de importaciones de bienes TIC (MTIC), el resto muestran un nivel de significancia individual inferior al 0.05, por ello, se decidió retirar como variable explicativa a la variable MTIC.

```
. xtreg lnPIBpc lnAPC lnXTIC lnMTIC lnSPR, fe
```

```
Fixed-effects (within) regression      Number of obs   =      288
Group variable: country_num           Number of groups =      24

R-sq:                                  Obs per group:
    within = 0.2610                    min =          12
    between = 0.3918                   avg =         12.0
    overall = 0.3866                   max =          12

corr(u_i, Xb) = 0.2858                 F(4,260)        =      22.96
                                         Prob > F         =      0.0000
```

lnPIBpc	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
lnAPC	.3165541	.0522686	6.06	0.000	.2136303	.4194778
lnXTIC	-.0980713	.0321041	-3.05	0.002	-.1612884	-.0348542
lnMTIC	-.0654218	.0830761	-0.79	0.432	-.2290095	.0981659
lnSPR	.1193608	.0344016	3.47	0.001	.0516195	.1871021
_cons	10.75273	1.340935	8.02	0.000	8.112256	13.39321
sigma_u	.82150602					
sigma_e	.13830009					
rho	.97243957	(fraction of variance due to u_i)				

```
F test that all u_i=0: F(23, 260) = 64.64          Prob > F = 0.0000
```

La regresión obtenida con este último ajuste muestra que las variables independientes continúan con su nivel significancia, además, no hay una evidencia para rechazar el uso de efectos fijos, considerado que el F test parte de los siguientes criterios:

Ho: Efectos Fijos no son significativos → P-value > 0.05

Ha: Efectos Fijos son significativos → P-value < 0.05

Finalmente, se encontró un modelo que, según la base de datos propuesta, se adapta mejor para explicar la variable del *PIB per cápita*. Los coeficientes determinados por esta última regresión con efectos fijos, muestran que las variables con una relación positiva con respecto al *PIB per cápita* resultaron ser todas a excepción de la *exportación de productos TIC* (XTIC).

```
. xtreg lnPIBpc lnAPC lnXTIC lnSPR, fe
```

```
Fixed-effects (within) regression      Number of obs   =      288
Group variable: country_num           Number of groups =       24

R-sq:                                  Obs per group:
    within = 0.2593                    min =          12
    between = 0.5856                   avg =         12.0
    overall = 0.5727                   max =          12

corr(u_i, Xb) = 0.4923                 F(3,261)        =      30.45
                                         Prob > F         =      0.0000
```

lnPIBpc	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
lnAPC	.3173391	.0522211	6.08	0.000	.2145108	.4201674
lnXTIC	-.1052475	.0307612	-3.42	0.001	-.1658192	-.0446758
lnSPR	.1196805	.0343742	3.48	0.001	.0519944	.1873666
_cons	11.65512	.695917	16.75	0.000	10.2848	13.02545
sigma_u	.75005173					
sigma_e	.13819941					
rho	.96716547	(fraction of variance due to u_i)				

```
F test that all u_i=0: F(23, 261) = 82.86          Prob > F = 0.0000
```

Si los *Artículos de Publicaciones Científicas y Técnicas* y la *Solicitud de Patentes, Residentes* aumentan en una unidad, el *PIB per cápita* lo hará en un 0.31 y 0.11, respectivamente, mientras que si las *exportación de productos TIC* aumenta en una unidad, el *PIB per cápita* disminuirá en 0.10, esto quiere decir que los signos esperados para las variables de *SPR* y *XTIC* resultaron ser contrarias.

Los resultados obtenidos en esta última evaluación de las variables puede predecir que los artículos de publicaciones científicas tienen la mayor influencia sobre las tasas de crecimiento de una economía, y aunque en menor medida, también lo hacen la solicitud de patentes. Interpretándose desde el punto de vista de la investigación, estas variables defienden el incentivar la innovación como una de las respuestas que hacen crecer la economía de un país. Por otro lado, la variable de exportaciones de productos TIC mostró un valor negativo para las tasas de crecimiento, por lo que se puede sugerir que, el desarrollo de tecnologías a través de las exportaciones, no necesariamente representan un crecimiento para el país.

Conclusiones Finales

En el capítulo primero se vió que el crecimiento de los países avanzados se caracteriza por tener un índice de desarrollo humano muy alto y que su crecimiento de PIB *per cápita* anual oscila entre el 0 y 2% en los últimos años. Estos países, se han logrado acoplar a un factor de estabilización social y política de largo plazo, presentando altos niveles de bienestar; y además, cuenta con una rápida transformación estructural, por la adaptación de tecnología en su actividad productiva, por lo que van *forging-ahead* respecto a los avances tecnológicos.

Por otro lado, se vió que el país emergente se caracteriza por tener un índice de desarrollo humano medio (alto en el caso de Rusia). India y China superan el 2% anual del crecimiento del PIB *per cápita* en los últimos años. En términos de capacidad productiva, países como India, Corea, China o Rusia se pueden considerar como países que están adelantándose a nuevos avances tecnológicos,

mientras que otros países como de América Latina siguen más un método de *catching-up*; para este último subgrupo de países, se recomienda una estrategia más dinámica, enfocada en identificar su propia ventaja comparativa.

Los países emergentes, sobre todo de América Latina, debe dedicar fondos a su actividad de I+D y asociarlo a algún proceso productivo con altos niveles de aprendizaje; considerando tres de los pilares necesarios para que tenga éxito una estrategia de desarrollo, pensando en la participación de los agentes que se involucran en el crecimiento de una economía (los mercados, el gobierno y los consumidores). Se sugiere la adaptación de una política pública basada en el modelo nórdico de bienestar, dedicada a la inversión pública, en educación, tecnología e infraestructura.

Se incita una participación de los gobiernos más activa a través de políticas industriales que gestionen mejor los riesgos externos, en específico, con una regulación más activa del tipo de cambio; subsidiar sectores que se puedan expandir, con la creación de bancos de desarrollo y otorgamiento de créditos que generen externalidades de aprendizaje y finalmente; arreglos institucionales con un tipo de aprendizaje basado en habilidades cognitivas y analíticas.

El gobierno necesita desempeñar un papel importante no sólo para corregir las fallas de mercado, sino el apoyar el financiamiento a la investigación básica y brindar educación de alta calidad. El conocimiento no se difunde por sí mismo, tiene que ser transmitido y recibido. El aprendizaje requiere esfuerzo y recursos, y con ello, se propuso impedir la creación de monopolios en la transmisión del

conocimiento para romper con las ineficiencias que se generan en un régimen de propiedad intelectual, en especial si es pobremente diseñado.

El segundo capítulo partió del modelo neoclásico de Solow-Swan de 1956, quienes fueron los primeros en representar una expresión que evalúa los factores que determinan el comportamiento de la producción de un país. El crecimiento económico supone la expansión de variables macroeconómicas como el ahorro, la producción de bienes y servicios, el consumo de los individuos, la inversión privada, la posesión de factores como mano de obra productiva, capital físico y capital humano, entre otros.

El modelo de Solow-Swan es considerado como el modelo exógeno de crecimiento y combina el capital, la mano de obra y la tecnología para generar crecimiento; en la que los países hallaran un estado estacionario donde el consumo se maximiza. Debido a que la presente tesis tomó un enfoque hacia el factor tecnológico, se observó, a través del desarrollo del modelo de Solow-Swan, que en realidad, no existe un crecimiento económico con progreso técnico a largo plazo, además de que el factor tecnológico lo toman bajo un carácter externo a las influencias del modelo.

Los modelos de Paul Romer (1986), y Rebelo (1991) establecieron, que, por medio de externalidades y con la introducción del capital humano, se generaba un mayor crecimiento económico en el largo plazo. Rebelo con su modelo *AK* toma como inspiración y simplifica los modelos endógenos anteriores para plantear de manera simple el trabajo, bajo su carácter de capital humano; reduce los rendimientos

decrecientes producto de la acumulación de capital, asumiendo la optimización de recursos y plantea el uso óptimo de ahorro y consumo.

En el primer modelo de Romer de 1986, considera que las externalidades tecnológicas positivas están estrechamente ligadas a la acumulación de un factor K , o dicho de otra forma, son el producto de un factor K , cabe mencionar que, en este modelo de Romer, K , no es necesariamente el capital físico, más bien representaría el “conocimiento”, pero implícitamente se está refiriendo al capital físico, admite que el stock de capital puede servir como indicador del stock de conocimiento (*learning by doing*) como un tipo de externalidad que puede mantener un crecimiento de la economía a largo plazo.

En el capítulo tres, parte con la evaluación de la predicción Solow-Swan sobre la convergencia absoluta y condicional, a través de una regresión lineal entre los niveles del PIB real *per cápita* nacional y sus tasas de crecimiento promedio anual, se encontró la existencia de convergencia absoluta en la desviación estándar calculada a partir de sus tasas de crecimiento y, en su convergencia condicional (estimada a través de la correlación parcial entre su crecimiento y renta inicial) se encontró una mayor nivel de convergencia separando los países según su tipo de categoría (avanzados y emergentes), en la que los países emergentes muestran una mayor nivel de convergencia de su renta *per cápita*.

Finalmente, con el fin de responder la hipótesis de la presente tesis que defiende la contribución de variables relacionada a la I+D que influyen en el crecimiento económico de un país y en el aumento de su productividad, en el tercer capítulo, se

realizó un último análisis empírico utilizando un modelo econométrico que incluía un conjunto de variables enfocadas al capital humano que acumulan y generan conocimiento, en la que se pudo determinar la relación positiva que tienen los artículos de publicaciones científicas y técnicas con respecto al crecimiento económico de un país.

Por otro lado, a pesar de defender la generación de otras alternativas a las patentes (ya que las patentes monopolizan el conocimiento), en el modelo econométrico, las patentes sí representaron un crecimiento para el país, pero, contrarrestando con lo mencionado en el capítulo uno, los países, y sobre todo los avanzados, podrían haber enfocado sus esfuerzos innovadores en aquellos sectores en los que las patentes son importantes y donde se alienta la búsqueda de ganancias, como en el sector tecnológico y médico.

Finalmente, con los resultados obtenidos en el último análisis empírico se podría percibir una sensación proteccionista en el acceso a la innovación, ya que adquirir tecnologías del exterior podría utilizarse para expandir los avances tecnológicos para los procesos productivos internos de un país, sin embargo, la evaluación no lo reflejó. El presente tema de investigación podría sugerir otros focos de análisis para identificar y profundizar el peso e importancia que le otorgan los países a otros indicadores económico-tecnológicos para su crecimiento económico.

ANEXO I - Datos Panel

Country	Year	PIB	SPR	APC	XTIC	MTIC	POP
India	2007	1.21674E+12	6296	43627.4	1.07419744 4	7.37868909 9	1183209471
Sudáfrica	2007	3.33075E+11	915	5938.9	1.32210016 2	8.75762578 2	49119766
Brasil	2007	1.39711E+12	4194	31059.14	1.85935823	9.79799436 4	190130445
China	2007	3.55034E+12	153060	215206.94	29.3407280 7	24.5457725 9	131788500 0
Corea	2007	1.17261E+12	128701	41496.3	25.4912181 5	13.2638727 9	48683638
México	2007	1.0527E+12	629	9611.38	17.7136189 8	13.5052003 6	109170503
Rusia	2007	1.29971E+12	27505	30268.45	0.22087306 3	8.60391593 6	142805114
Colombia	2007	2.06182E+11	128	1587.54	0.14707906 3	10.8793648 9	43737512
Polonia	2007	4.29029E+11	2392	22172.08	5.66218949 1	7.72939794 4	38120560
Argentina	2007	2.87531E+11	937	5684.67	0.26240380 7	9.97075036 2	39684303
Chile	2007	1.72566E+11	403	3265.02	0.52513720 2	7.47473552 6	16530201
Turquía	2007	6.81337E+11	1810	21729.57	2.68895143 7	5.03073500 6	69581854
Noruega	2007	4.00937E+11	1225	7730.01	1.22436475 2	7.76557891 2	4709153
Estados Unidos	2007	1.44742E+13	241347	391909.59	11.7174025 8	12.8047318 8	301231207
Alemania	2007	3.42558E+12	47853	89413.66	5.89379309 8	8.86003462 3	82266372
Israel	2007	1.79162E+11	1615	11192.87	2.71706433 2	8.47664719 2	7180100
Países Bajos	2007	8.48559E+11	2079	25669.59	14.1817875	15.3713070 9	16381696
Dinamarca	2007	3.19423E+11	1660	9007.63	4.65489395 5	8.63646036 8	5461438

Canadá	2007	1.46882E+12	4998	52152.72	3.58791065 5	8.29856410 5	32889025
Japón	2007	4.57975E+12	333498	109981.96	13.1623187 9	11.4619416 9	128001000
Austria	2007	3.89186E+11	2385	9902.9	4.67134906 6	6.19880040 2	8295487
Singapur	2007	1.80942E+11	696	8281.13	34.1397826 2	28.8614029 3	4588599
Francia	2007	2.66059E+12	14722	63610.5	4.84306718 5	7.17397306 8	64016227
Bélgica	2007	4.70922E+11	454	13798.7	2.69880898 6	3.79327752 2	10625700
India	2008	1.1989E+12	6425	48998.11	0.97330194 9	4.08829509 8	120066976 2
Sudáfrica	2008	3.16132E+11	860	6343.81	1.08787449 7	7.81522791 8	49779472
Brasil	2008	1.69586E+12	4280	35489.96	1.60130723 3	9.06716822 2	192030362
China	2008	4.59431E+12	194579	249048.56	27.7085255 3	21.1874081 1	132465500 0
Corea	2008	1.04734E+12	127114	44094.48	21.4067337 2	11.4762448	49054708
México	2008	1.10999E+12	685	10459.3	19.5344641 2	16.1124320 4	110815272
Rusia	2008	1.66085E+12	27712	31798.41	0.16747849 3	7.79243660 4	142742366
Colombia	2008	2.42187E+11	126	2374.14	0.14988134 5	10.1428228 3	44254972
Polonia	2008	5.33609E+11	2488	23942.43	6.95290768 6	8.14199366 9	38125759
Argentina	2008	3.61558E+11	801	6270.29	0.20766643 7	8.28904441 1	40080159
Chile	2008	1.79663E+11	531	3734.74	0.57308637	6.17254360 8	16708255
Turquía	2008	7.70462E+11	2221	22100.91	1.82345726 9	3.91062101 2	70418612
Noruega	2008	4.6225E+11	1150	7921.48	1.22182798 7	7.06836985 3	4768212
Estados Unidos	2008	1.47699E+13	231588	393978.95	10.6162575 6	11.8362551	304093966

Alemania	2008	3.74526E+12	49240	91903.9	5.42120518 1	8.42016742 3	82110097
Israel	2008	2.16712E+11	1528	11328.61	10.2700461 2	7.84521430 9	7308800
Países Bajos	2008	9.5187E+11	2421	26599.89	11.5701138 4	13.0018023 5	16445593
Dinamarca	2008	3.53361E+11	1634	9245.54	3.37223995 7	7.20008817 5	5493621
Canadá	2008	1.55299E+12	5061	53295.51	3.10093810 4	7.94442108 5	33247118
Japón	2008	5.10668E+12	330110	108241.42	11.8392317 2	9.68366669 1	128063000
Austria	2008	4.32052E+11	2298	10329.47	4.33693999 2	5.68756430 4	8321496
Singapur	2008	1.93612E+11	793	8749.9	34.2413086 1	26.5794809 2	4839396
Francia	2008	2.9303E+12	14658	66459.77	4.26273971 1	6.53926996 4	64374979
Bélgica	2008	5.17328E+11	575	14434.37	2.58307693 7	3.56151757 5	10709973
India	2009	1.34189E+12	7262	54797.65	3.45017711 4	7.78860069 9	121772621 7
Sudáfrica	2009	3.29753E+11	822	7114.73	1.25712394	8.67769833 4	50477013
Brasil	2009	1.667E+12	4271	38551.09	1.52523652 1	9.24169879 3	193886505
China	2009	5.1017E+12	229096	286371.91	29.6510537 8	21.8997053 3	133126000 0
Corea	2009	9.43942E+11	127316	45913.84	21.8709902 9	12.9548729 1	49307835
México	2009	9.00045E+11	822	10717.65	21.6636460 2	19.599314	112463886
Rusia	2009	1.22264E+12	25598	32520.93	0.27751029 9	7.27912911 6	142785349
Colombia	2009	2.32398E+11	128	2716.76	0.22275262 4	8.81107507 2	44750054
Polonia	2009	4.39738E+11	2899	23849.79	9.37349680 1	9.29908395 1	38151603
Argentina	2009	3.32976E+11	640	6897.38	0.17657497 8	9.66304502 4	40482786

Chile	2009	1.71413E+11	343	3979.09	0.61400517 2	7.31746620 7	16886184
Turquía	2009	6.49273E+11	2555	25155.09	1.97935876 5	5.02477514	71321406
Noruega	2009	3.8619E+11	1246	8796.57	1.54436904 4	7.67091066 6	4828726
Estados Unidos	2009	1.44781E+13	224912	399350.31	10.7084204 7	14.3971175	306771529
Alemania	2009	3.41126E+12	47859	95453.2	5.16496339 2	8.79815015 4	81902307
Israel	2009	2.07953E+11	1387	11173.52	16.3841123 2	9.72339766 6	7485600
Países Bajos	2009	8.71519E+11	2575	28565.69	12.3618551 3	13.6585031 4	16530388
Dinamarca	2009	3.21241E+11	1518	9760.09	3.39007825	7.86273640 5	5523095
Canadá	2009	1.37463E+12	5067	55378.23	3.47230496 6	8.41555514 1	33628895
Japón	2009	5.28949E+12	295315	109131.25	12.0822553 9	11.3637682 2	128047000
Austria	2009	4.01759E+11	2263	10893.44	4.01233469 8	5.97245403 8	8343323
Singapur	2009	1.94152E+11	750	8985.24	33.6207921 7	26.5944049 5	4987573
Francia	2009	2.70089E+12	14100	68273.77	4.25801579 5	7.07368823	64707035
Bélgica	2009	4.83254E+11	669	14951.67	2.49508272 8	3.86542688 1	10796493
India	2010	1.67562E+12	8853	62436.88	1.99803560 8	6.30845334	1234281163
Sudáfrica	2010	4.17365E+11	821	7601.07	1.19781338 7	9.24791657 1	51216967
Brasil	2010	2.20884E+12	4228	41666.17	1.01287387 1	9.33024154 9	195713637
China	2010	6.08716E+12	293066	312516.81	29.1249080 4	20.3998760 3	133770500 0
Corea	2010	1.14407E+12	131805	50589.14	21.4015148 9	11.8798276 5	49554112
México	2010	1.0578E+12	951	11318.23	20.1667820 2	19.2254573 6	114092961

Rusia	2010	1.52492E+12	28722	33827.39	0.22337576 1	8.52989334 9	142849468
Colombia	2010	2.86563E+11	133	3168.15	0.14913064 8	9.62986495 8	45222699
Polonia	2010	4.79834E+11	3203	24753.55	9.62582351 7	9.80982480 7	38042794
Argentina	2010	4.23627E+11	552	7236.62	0.11183435 4	9.01625502 7	40788453
Chile	2010	2.17105E+11	328	4111.13	0.40801957 1	7.86839561 7	17062531
Turquía	2010	7.76993E+11	3180	26486.52	1.83732826 1	4.47065923 9	72326992
Noruega	2010	4.28757E+11	1117	9050.18	1.43052151 2	7.45459186 9	4889252
Estados Unidos	2010	1.5049E+13	241977	408817.1	10.5551422 1	14.2246207 6	309327143
Alemania	2010	3.39967E+12	47047	97252.08	5.28316751 7	9.54270635 7	81776930
Israel	2010	2.34655E+11	1450	10914.56	12.2884915 3	9.20145412 3	7623600
Países Bajos	2010	8.47381E+11	2527	29159.31	12.4566414 3	14.5387007 2	16615394
Dinamarca	2010	3.21995E+11	1626	10285.53	3.65167370 4	7.95715605 7	5547683
Canadá	2010	1.61734E+12	4550	56294.52	2.76449970 6	8.43006951 4	34004889
Japón	2010	5.75907E+12	290081	109024.97	10.6767694 4	11.9820825 2	128070000
Austria	2010	3.92275E+11	2424	11108.33	3.94819967 3	5.79607181 2	8363404
Singapur	2010	2.39809E+11	895	9917.7	34.0829216 9	27.5449267 5	5076732
Francia	2010	2.64519E+12	14748	68745.84	4.41396600 3	7.33343326 7	65027505
Bélgica	2010	4.81421E+11	620	15211.5	2.03336909 9	3.80777555 9	10895586
India	2011	1.82305E+12	8841	74142.9	2.18267048 6	5.97356235 2	125028793 9
Sudáfrica	2011	4.58202E+11	656	8293.8	1.0095719 1	8.18951847 1	52003759

Brasil	2011	2.61616E+12	4695	44353.74	0.70538212 1	8.73665132 7	197514541
China	2011	7.5515E+12	415829	326770.84	26.7601820 6	17.9992439	134503500 0
Corea	2011	1.25322E+12	138034	53719.87	17.9854902	10.4279293 5	49936638
México	2011	1.18049E+12	1065	11859.26	16.9951078 8	17.2843058 2	115695468
Rusia	2011	2.04593E+12	26495	35924.38	0.23729723 3	7.15667910 2	142960908
Colombia	2011	3.34944E+11	183	3541.21	0.09754767 4	8.50046870 8	45662747
Polonia	2011	5.28301E+11	3879	25734.96	7.04352626 8	7.33268950 7	38063255
Argentina	2011	5.30163E+11	688	7733.75	0.10578420 9	8.46459726 2	41261490
Chile	2011	2.51225E+11	339	4475.84	0.42044986 5	7.07225421 8	17233584
Turquía	2011	8.38763E+11	3885	27305.85	1.65463742 2	3.82590269 4	73443254
Noruega	2011	4.98283E+11	1122	9687.88	1.03223111 9	6.92565163 6	4953088
Estados Unidos	2011	1.55997E+13	247750	423958.81	9.50920926 8	12.8381063 7	311583481
Alemania	2011	3.74931E+12	46986	100768.62	4.63975367 7	8.00396292 6	80274983
Israel	2011	2.62294E+11	1360	11248.86	10.6898090 4	8.72504942 3	7765800
Países Bajos	2011	9.05271E+11	2585	30041.53	11.3118536 6	12.6896535	16693074
Dinamarca	2011	3.44003E+11	1574	11405.13	3.39905507 2	7.89353955 7	5570572
Canadá	2011	1.79333E+12	4754	57594.93	2.48344974 3	7.98597774 4	34339328
Japón	2011	6.23315E+12	287580	111258.23	9.22832843 7	10.1385986 4	127833000
Austria	2011	4.31685E+11	2154	11767.52	3.7939034	4.93610638 1	8391643
Singapur	2011	2.79351E+11	1056	10212.4	28.3277759 8	23.0399132 2	5183688

Francia	2011	2.86516E+12	14655	70612.25	4.22783754 6	6.72194132 9	65342789
Bélgica	2011	5.2333E+11	636	15806.72	1.71670854 3	3.3917283	11038264
India	2012	1.82764E+12	9553	80493.3	1.98005089 1	5.31103108 8	126578024 3
Sudáfrica	2012	4.34401E+11	608	9105.71	1.18112578	7.46907265 1	52832659
Brasil	2012	2.46523E+12	4798	48282.01	0.55364534 4	8.68950225 1	199287292
China	2012	8.53223E+12	535313	329015.38	27.0555774 7	19.5557640 6	135419000 0
Corea	2012	1.27843E+12	148136	56267.53	17.1644711 7	9.79152060 1	50199853
México	2012	1.20109E+12	1294	12585.07	16.8587552 5	16.5074228 2	117274156
Rusia	2012	2.2083E+12	28701	35999.98	0.31303660 2	7.49734189 4	143201721
Colombia	2012	3.70921E+11	213	4124.71	0.12146672 7	8.97310809 4	46075721
Polonia	2012	4.98524E+11	4410	27969.55	7.03729778 9	8.19576203 5	38063164
Argentina	2012	5.45982E+11	735	7842.75	0.10601512 3	8.30985959 6	41733271
Chile	2012	2.67176E+11	336	4967.15	0.41541986 8	7.17404468 8	17400359
Turquía	2012	8.80556E+11	4434	28451.45	1.73349574 3	4.18130360 1	74651046
Noruega	2012	5.09506E+11	1009	10281.23	0.79372305 6	7.07552739 3	5018573
Estados Unidos	2012	1.6254E+13	268782	427996.8	9.03157676 8	12.8132797 9	313877662
Alemania	2012	3.52714E+12	46620	105433.18	4.50682251 6	7.84257720 8	80425823
Israel	2012	2.58417E+11	1319	11622.78	11.7006615 5	8.85601804 8	7910500
Países Bajos	2012	8.38923E+11	2375	31045.38	10.5297503 6	12.4931810 9	16754962
Dinamarca	2012	3.27149E+11	1406	12390.58	3.28308271 2	8.07388449 4	5591572

Canadá	2012	1.82837E+12	4709	59607.51	2.27037803 2	7.32260911 6	34714222
Japón	2012	6.27236E+12	287013	109643.54	9.14675100 5	10.2401786 1	127629000
Austria	2012	4.09402E+11	2258	12201.72	3.88946779 8	5.14142896 7	8429991
Singapur	2012	2.95087E+11	1081	10837.09	27.9069128 1	23.0398111 8	5312437
Francia	2012	2.68367E+12	14540	72628.77	4.06820614 6	6.25325234 2	65659814
Bélgica	2012	4.96153E+11	755	16548.11	1.72634577 4	3.20450942 9	11106932
India	2013	1.85672E+12	10669	86348.11	1.59177277 5	5.77512190 2	1280842119
Sudáfrica	2013	4.00886E+11	638	9709.05	1.21647029 2	8.17542618 3	53687125
Brasil	2013	2.47282E+12	4959	50497.9	0.50137594 4	8.50400782 8	201035904
China	2013	9.57041E+12	704936	359274.07	27.4221132 3	20.5471893 8	136324000 0
Corea	2013	1.3708E+12	159978	57863.47	19.1428638 1	10.4438248 1	50428893
México	2013	1.27444E+12	1210	13295.3	16.2663969 1	17.1078705 1	118827158
Rusia	2013	2.29247E+12	28765	38412.1	0.41781532 8	6.83956043 3	143506995
Colombia	2013	3.82116E+11	251	4589.7	0.15441216 7	9.94749099 5	46495492
Polonia	2013	5.21016E+11	4237	30026.08	6.73670181 2	8.54445021 3	38040196
Argentina	2013	5.52025E+11	643	7994.13	0.15157189 6	8.42257560 3	42202935
Chile	2013	2.77239E+11	340	5038.61	0.50333150 6	7.90616621 4	17571511
Turquía	2013	9.57783E+11	4392	30813.42	1.71832747 9	4.62793893 8	75925454
Noruega	2013	5.22762E+11	1101	10378.26	0.79879860 9	6.90809442 8	5079623
Estados Unidos	2013	1.68432E+13	287831	429570.05	8.87665802 4	12.9609184 4	316059947

Alemania	2013	3.7338E+12	47353	105730.82	4.33312860 6	7.35918281 9	80645605
Israel	2013	2.94167E+11	1201	11395.49	11.8445672 9	8.75701517 3	8059500
Países Bajos	2013	8.77173E+11	2315	31504.37	10.2651555 3	12.3850096	16804432
Dinamarca	2013	3.43584E+11	1341	12899.7	3.23192455 6	7.35431687 6	5614932
Canadá	2013	1.8466E+12	4567	59902.46	2.09293597	7.29653162 1	35082954
Japón	2013	5.21233E+12	271731	108995.98	8.64403426 2	10.8912772 2	127445000
Austria	2013	4.30191E+11	2162	12404.51	4.20612788 6	5.23994145 7	8479823
Singapur	2013	3.07576E+11	1143	11057.36	29.2457209 7	23.9034877 6	5399162
Francia	2013	2.81188E+12	14690	73631.77	3.95794499 4	6.29132990 4	65998685
Bélgica	2013	5.21791E+11	715	16779.18	1.68813125 3	3.11801796 1	11159407
India	2014	2.03913E+12	12040	96425.77	0.97366588 3	6.31180407 8	129560076 8
Sudáfrica	2014	3.81199E+11	802	10349.9	1.54333933 8	7.82667691 6	54544184
Brasil	2014	2.45604E+12	4659	52632.41	0.39899154 1	8.63750186 9	202763744
China	2014	1.04757E+13	801135	390396.24	25.9389723 1	19.7096864 1	137186000 0
Corea	2014	1.48432E+12	164073	60705.29	19.7898095 3	11.4157888	50746659
México	2014	1.31535E+12	1246	14345.85	15.7520003	16.2709722 2	120355137
Rusia	2014	2.05924E+12	24072	44366.22	0.79678532 9	7.88483088	143819667
Colombia	2014	3.81112E+11	260	5173.66	0.17635286	10.1665719 5	46967706
Polonia	2014	5.42477E+11	3941	31773.31	7.73766030 1	8.87840458 1	38011735
Argentina	2014	5.2632E+11	509	8464.74	0.23006089 8	7.41088391 3	42669500

Chile	2014	2.59405E+11	452	5806.96	0.53940064 5	7.07194776	17758969
Turquía	2014	9.38953E+11	4766	31592.93	1.87654663 1	5.18597552 4	77229262
Noruega	2014	4.9841E+11	1106	10683.94	0.87942546 1	6.85808739 9	5137232
Estados Unidos	2014	1.75507E+13	285096	433192.28	8.96592141 6	12.8642012 8	318386329
Alemania	2014	3.88909E+12	48154	108473.69	4.52006222 2	7.74242734	80982500
Israel	2014	3.10945E+11	1125	12112.79	11.1899095 3	8.99977990 3	8215700
Países Bajos	2014	8.92168E+11	2294	31878.57	10.7421132 2	12.9025350 1	16865008
Dinamarca	2014	3.52994E+11	1377	14145.01	3.58523291 1	7.22108150 3	5643475
Canadá	2014	1.80575E+12	4198	60774.68	1.92676614 4	6.87514400 7	35437435
Japón	2014	4.89699E+12	265959	105855.88	8.36879593 3	11.2642233 4	127276000
Austria	2014	4.42585E+11	2092	12660.94	4.27706844 4	5.25442667 7	8546356
Singapur	2014	3.14851E+11	1303	11334.78	29.5432732 3	23.7255668 8	5469724
Francia	2014	2.85596E+12	14500	73299.07	3.85836136 5	6.20941883 7	66312067
Bélgica	2014	5.3539E+11	889	17143.34	1.73832433 6	3.44326415 9	11209057
India	2015	2.10359E+12	12579	101813.08	0.88908830 9	8.56398527 5	131015239 2
Sudáfrica	2015	3.4671E+11	889	10964.38	1.42356264 1	8.92966587 2	55386369
Brasil	2015	1.80221E+12	4641	53064.56	0.45816149 5	8.21638602 5	204471759
China	2015	1.10616E+13	968252	407974.61	26.5630711 9	23.3462922 6	137986000 0
Corea	2015	1.46577E+12	167275	62645.93	21.7198552 1	14.6651333 7	51014947
México	2015	1.17187E+12	1364	14585.58	16.0223534 8	16.3472157 3	121858251

Rusia	2015	1.36348E+12	29269	52176.06	0.80555263 1	9.13780170 9	144096870
Colombia	2015	2.93482E+11	321	5409.93	0.23501336 9	9.33287526	47520667
Polonia	2015	4.77812E+11	4676	33116.44	8.11592233	9.79028148 5	37986412
Argentina	2015	5.94749E+11	546	8370.01	0.11709035 6	9.51395282 9	43131966
Chile	2015	2.42497E+11	443	6037.51	0.47629856 3	8.65949196 3	17969356
Turquía	2015	8.64317E+11	5352	33233.85	1.79961211 6	5.76494797	78529413
Noruega	2015	3.85802E+11	1153	10529.7	1.07994646 1	6.61779544 8	5188607
Estados Unidos	2015	1.8206E+13	288335	429988.89	9.43852165 8	13.7811887 4	320738994
Alemania	2015	3.35759E+12	47384	106452.92	4.65161955 3	8.43983803 8	81686611
Israel	2015	3.00078E+11	1285	12048.66	14.3298599 9	11.4613525 5	8380100
Países Bajos	2015	7.65573E+11	2207	31141.82	10.6482783 8	13.0769971 6	16939923
Dinamarca	2015	3.02673E+11	1462	14214.95	3.66450564 8	7.67903408 3	5683483
Canadá	2015	1.55651E+12	4277	60533.24	2.14392970 2	7.12213073 1	35702908
Japón	2015	4.44493E+12	258839	101306.59	8.51940470 9	12.7905361 4	127141000
Austria	2015	3.81971E+11	2205	12911.21	4.11607584 6	5.40812986 1	8642699
Singapur	2015	3.08004E+11	1469	11416.75	32.4009415 7	26.9787068 8	5535002
Francia	2015	2.43919E+12	14306	71925.79	4.02415386 3	6.67341019 1	66548272
Bélgica	2015	4.62336E+11	949	16724.04	2.17994867 2	3.84366164 5	11274196
India	2016	2.2948E+12	13199	112167.34	0.95256021 2	9.33334081 4	132451725 0
Sudáfrica	2016	3.23586E+11	704	12045.47	1.36556908 3	8.61265328 9	56207649

Brasil	2016	1.79569E+12	5200	55181.31	0.40171307 3	8.21224241 3	206163056
China	2016	1.12333E+13	1204981	438348.74	26.4976248 4	23.7559196 2	138779000 0
Corea	2016	1.50011E+12	163424	62735.09	22.2702290 3	15.6956906 2	51217803
México	2016	1.07849E+12	1310	15199.9	16.0028608 1	16.4327923 2	123333379
Rusia	2016	1.27679E+12	26795	62661.74	0.59510010 3	8.40006572 5	144342397
Colombia	2016	2.82825E+11	545	6292.29	0.28470414 5	9.21474036 4	48175048
Polonia	2016	4.7263E+11	4261	34838.68	7.13981601 7	9.23981967 3	37970087
Argentina	2016	5.57531E+11	884	8593.36	0.08913122 8	8.44138795 5	43590368
Chile	2016	2.49299E+11	386	6639.23	0.57346970 8	9.22502249 8	18209072
Turquía	2016	8.69693E+11	6230	35510.17	1.47558059 9	6.22256058 8	79827868
Noruega	2016	3.68827E+11	1227	11179.02	1.1117254 9	6.88086910 9	5234519
Estados Unidos	2016	1.86951E+13	295327	427264.63	9.64740646 3	14.0620625 4	323071755
Alemania	2016	3.46985E+12	48480	108295.59	4.70854806 3	8.49959036 9	82348669
Israel	2016	3.19024E+11	1300	12244.1	11.7345584 6	10.8764530 4	8546000
Países Bajos	2016	7.8406E+11	2290	31014.65	10.7406416 5	13.2733216 3	17030314
Dinamarca	2016	3.13116E+11	1552	14160.25	3.67413076 1	7.72267261 5	5728010
Canadá	2016	1.52799E+12	4078	60045	2.11795204 8	7.07584224 1	36109487
Japón	2016	5.00368E+12	260244	101297.3	8.31326074 4	13.0107674 3	127076000
Austria	2016	3.95837E+11	2078	12792.84	3.79109251 4	5.40148399 7	8736668
Singapur	2016	3.18832E+11	1601	11880.88	32.8021937 7	28.0978036 28.0978036	5607283

Francia	2016	2.47296E+12	14206	71028.47	3.98157610 9	6.66689408 7	66724104
Bélgica	2016	4.76063E+11	1054	16763.94	2.01674843	3.62104523 6	11331422
India	2017	2.65147E+12	6296	121631.31	0.86412469 5	9.71654371 8	133867677 9
Sudáfrica	2017	3.81449E+11	915	12846.08	1.09545092 8	8.10635870 6	57009751
Brasil	2017	2.06351E+12	4194	58022.38	0.36151084 1	9.56993953 7	207833825
China	2017	1.23104E+13	153060	473438.51	27.0686127 4	22.7191883 2	139621500 0
Corea	2017	1.6239E+12	128701	63979.21	24.7417296 5	15.0189105 9	51361911
México	2017	1.15891E+12	629	16004.9	15.9358209 7	15.0507447 6	124777326
Rusia	2017	1.5742E+12	27505	70825.09	0.62523130 1	8.67164057 7	144496739
Colombia	2017	3.11884E+11	128	6681.57	0.25131808	9.62276881 9	48909844
Polonia	2017	5.26509E+11	2392	34675.67	6.91685128 8	9.05542479 8	37974826
Argentina	2017	6.43629E+11	937	8704.3	0.11458430 3	8.68584470 7	44044811
Chile	2017	2.76365E+11	403	6791.32	0.36449550 3	8.54798703 8	18470435
Turquía	2017	8.58996E+11	1810	33836.33	1.33144748 1	5.67572131 1	81116451
Noruega	2017	3.98394E+11	1225	11670.76	1.07988001 6	6.50434878 2	5276968
Estados Unidos	2017	1.94796E+13	241347	432216.49	9.47549296 9	14.2753493 8	325122128
Alemania	2017	3.69085E+12	47853	107803.17	4.95506026 4	8.77707148 5	82657002
Israel	2017	3.55277E+11	1615	12270.41	10.7696726 3	8.94390032 2	8713300
Países Bajos	2017	8.3387E+11	2079	31048.39	10.4915511 3	13.5483835 7	17131296
Dinamarca	2017	3.32121E+11	1660	14345.19	3.86696940 5	7.55690821 6	5764980

Canadá	2017	1.64927E+12	4998	60214.84	1.94970263 3	7.23420025 2	36545236
Japón	2017	4.93084E+12	333498	101084.19	8.35050560 1	13.0149985 4	126972000
Austria	2017	4.17261E+11	2385	12850.61	3.48321930 7	5.22981443 4	8797566
Singapur	2017	3.43193E+11	696	11840.57	32.0210768 5	27.8802236 4	5612253
Francia	2017	2.59515E+12	14722	70100.94	3.93331294 1	6.50699585 3	66918020
Bélgica	2017	5.02765E+11	454	16278.27	1.95468327 2	3.46103366 4	11375158
India	2018	2.70293E+12	16289	135787.79	1.18222483 4	9.17939817 5	135264228 3
Sudáfrica	2018	4.04842E+11	657	13008.74	0.97177573 1	7.9114237 7	57792520
Brasil	2018	1.91693E+12	4980	60147.96	0.36375420 9	8.66172615 6	209469320
China	2018	1.38948E+13	1393815	528263.25	27.308182	22.6744129 3	140276000 0
Corea	2018	1.72485E+12	162561	66376.17	27.8426797 2	13.9732066 4	51585058
México	2018	1.22241E+12	1555	16345.64	15.0489634 2	15.1601864 4	126190782
Rusia	2018	1.65733E+12	24926	81579.36	0.47080402 7	9.9064004 9	144477859
Colombia	2018	3.34198E+11	415	7195.02	0.21358328 7	9.90172931 3	49661056
Polonia	2018	5.87412E+11	4207	35662.64	6.90749405 5	8.51820855 3	37974750
Argentina	2018	5.2482E+11	425	8811.13	0.05996155 8	7.56800138 9	44494502
Chile	2018	2.95403E+11	406	7121.74	0.27933015 3	8.10495537 8	18729166
Turquía	2018	7.78472E+11	7156	33535.8	1.23844465 5	4.09424531 8	82340090
Noruega	2018	4.37E+11	1082	11802.78	0.91958933 6	6.66682048 3	5311916
Estados Unidos	2018	2.05272E+13	285095	422807.71	8.89684321 4	13.6039431 6	326838199

Alemania	2018	3.97729E+12	46617	104396.12	4.96300021 9	8.55227500 3	82905782
Israel	2018	3.73641E+11	1506	12234.69	11.6003928 6	8.88513687 8	8882800
Países Bajos	2018	9.14043E+11	2111	30457.33	10.1840403 5	13.1880541 9	17231624
Dinamarca	2018	3.56841E+11	1262	13978.8	3.71796918 2	7.02282885 5	5793636
Canadá	2018	1.72533E+12	4349	59967.79	1.83202528 1	7.23476147 8	37065084
Japón	2018	5.03784E+12	253630	98792.5	8.10754305 8	11.9404203 6	126811000
Austria	2018	4.55168E+11	2039	12362.28	3.4121475	5.25645357 9	8840521
Singapur	2018	3.76998E+11	1575	11458.63	29.5657005 7	26.6105772 7	5638676
Francia	2018	2.79096E+12	14303	66352.18	3.96156671 6	6.13560730 8	67101930
Bélgica	2018	5.43347E+11	892	15688.13	1.76570841 5	3.21596362 8	11427054

Datos obtenidos del Banco Mundial:

PIB: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.CD>

SPR: <https://datos.bancomundial.org/indicador/IP.PAT.RESD>

APC: <https://datos.bancomundial.org/indicador/IP.JRN.ARTC.SC>

XTIC: <https://datos.bancomundial.org/indicador/TX.VAL.TECH.MF.ZS>

MTIC: <https://datos.bancomundial.org/indicador/TM.VAL.ICTG.ZS.UN>

POP: <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.TOTL>

Bibliografía

- PNUD (2019). *Informe sobre Desarrollo Humano 2019*. Recuperado de: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2019_overview_-_spanish.pdf
- PNUD. (1990). Informe sobre Desarrollo Humano 1990. *Definición y medición del desarrollo humano*. Recuperado de: http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_1990_es_completo_nostats.pdf
- UNCTAD (2006). *Los países menos adelantados. Informe 2006*. Recuperado de: ://unctad.org/system/files/official-document/ldc2006_sp.pdf
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). *Proyecto de documento final de la cumbre de las Naciones Unidas para la aprobación de la agenda para el desarrollo después de 2015*. Recuperado de: <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/69/L.85>
- CEPAL (2002). Globalización y Desarrollo, pp. 18-21. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2724/2/S2002024_es.pdf
- Pérez, C.(2004). *Revoluciones Tecnológicas y Capital Financiero: La dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*. México, D.F.: siglo veintiuno editores.
- Camino, V. (2012). *Tecnología y globalización económica*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/282/28223180006.pdf>
- Vergara, D. (2016). *Innovación, salarios y eficiencia productiva*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Económicas.
- Forbes (2014). *Los 10 países más desarrollados del mundo*. Recuperado de: <https://forbes.es/listas/5443/los-10-paises-mas-desarrollados-del-mundo/>
- Krugman, P. (2006). *Economía Internacional: Teoría y Política*. España: PEARSON.
- Ferrer, A. (1976). *Economía Internacional contemporánea: texto para latinoamericanos*. México, D.F. Fondo de Cultura Económica.
- Amézquita, P. (2018). *La cuarta revolución industrial y algunas implicaciones en las escuelas de negocios*. Recuperado de: https://www.palermo.edu/economicas/cbrs/pdf/pbr18/PBR_18_10.pdf

- Ranis, G. y Stewart, F. (2002). Crecimiento económico y desarrollo humano en América Latina. *Revista CEPAL*, vol. 78, pp. 7-24.
- Stiglitz, J. (2006). *Cómo hacer que funcione la globalización*. México: Taurus.
- Stiglitz, J. y Greenwald, B. (2014). *La creación de una sociedad del aprendizaje*. México: Booket.
- Acemoglu, D., Robinson J. y Verdier T. (2013). Can't We All Be More Like Scandinavians?
https://scholar.harvard.edu/files/jrobinson/files/varieties_of_capitalism_april_9_2013.pdf
- Huberman, L. (1970). *Anatomía de una Revolución*. Apoyo al Desarrollo de Archivos y Bibliotecas de México.
- Diesser, G. (2010). *Las patentes como fuente de información para la innovación en entornos competitivos*. Información, cultura y sociedad: revista del Instituto de Investigaciones Bibliotecológicas, núm. 22, pp. 43-77 Universidad de Buenos Aires Buenos Aires, Argentina
- Rubiralta, M. (2000). *La Transferencia de la I+D en España, principal reto para la innovación*. La Función en la Universidad, pp. 27-40. Recuperado de: <https://eco.mdp.edu.ar/cendocu/repositorio/00948.pdf>
- Sala-I-Martin, X. (2000). *Apuntes de Crecimiento Económico*. España, Barcelona: Antoni Bosch, editor.
- Merton, R. (2000). *La Teoría del crecimiento. Una exposición*. México, Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- M. Carrillo, M., Cerón, J. y Reyes, M. (2007). *Análisis del Crecimiento Económico*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.
- N. Weil, D. (2006). *Crecimiento Económico*. España, Madrid: PEARSON.
- Gujarati, D. y Porter, D. (2010). *Econometría*. Quinta Edición. México: Mc Graw Hill.
- Cunningham, S., (2021). *Casual Inference*, Yale University: Press New Haven & London Recuperado de: https://file.lianxh.cn/PDFTW/Causal_Inference_TheMixtape.pdf