Universidad Nacional autónoma de México

Facultad de Economía

“Cambio tecnológico y sustitución de trabajo por capital: un análisis macroeconómico para una muestra de economías avanzadas (1995-2018)”

Tesis

Para obtener el título de:

Licenciado en Economía

Presenta:

Colín Armenta Luis Alberto

Asesor: Dr. Bustamante Torres Jorge Alonso

Ciudad de México – septiembre 2023

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

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.

Contenido

Introducción 3
Capítulo I: Una revisión teórica de la inversión, la innovación y la acumulación de capital. 6
1.1 Elementos de la teoría marxista de la innovación y acumulación de capital 6
1.2 Acumulación y cambio técnico en Joan Robinson 10
1.3 El modelo dinámico de Kalecki: inversión y ganancias 13
1.4 El desarrollo económico de Schumpeter y el papel de las empresas 15
1.5 Revoluciones y paradigmas tecnológicos 19
Capítulo II: la innovación tecnológica en contexto 23
2.1 Los cambios de la tercera revolución industrial 23
2.2 Los avances de la industria: el paradigma 4.0 26
Capítulo III: La sustitución del trabajo y sus efectos macroeconómicos 32
3.1 Tendencias macroeconómicas generales 32
3.2 La sustitución de trabajo por capital contemporánea 42
3.3. Los efectos de la automatización en el mercado de trabajo y la acumulación 49
Capítulo IV: Evidencia econométrica 57
Capítulo V. Consideraciones medioambientales 64
Conclusiones 72
Bibliografía y referencias 75
Anexo del capítulo 3 79
Apéndice. Modelos econométricos del capítulo 4 82
Modelo 1.1 82
Modelo 2.1 85
Modelo 3.1 89

Introducción

La teoría económica reconoce que la innovación produce una expansión de la actividad económica. Entre los teóricos más importantes de la innovación, Schumpeter (1934, cap. 2) Schumpeter señala que el cambio tecnológico significa una disrupción en el flujo circular de la economía y genera una discontinuidad sobre el curso regular del sistema económico, aumentando el caudal de bienes, modificando las condiciones de producción y reproducción del sistema económico. En los orígenes del capitalismo se da a la par la primera revolución tecnológica en el siglo XVIII, lo que permitió una expansión sin precedentes de la acumulación de capital a nivel mundial. Desde entonces las revoluciones tecnológicas han sido un continuo en el mundo desarrollado e inciden en las relaciones sociales de producción. A dos décadas del siglo XXI, se espera que los próximos grandes cambios de la estructura productiva en las empresas seguirán las propuestas formuladas en el marco de la Industria 4.0.

La industria 4.0 proviene de lo que se ha denominado la cuarta revolución tecnológica. Kumar y Suhaib (2020) plantean que hubo tres grandes revoluciones tecnológicas que dieron forma al capitalismo:

- La primera de ellas comenzó con la Revolución Industrial en Inglaterra, a finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, impulsada por la máquina de vapor que ofrecía pasar de la producción manual a la producción mecánica, y que detonó un desarrollo sin precedente en las comunicaciones a nivel mundial;
- La segunda se basó en la electricidad como fuerza impulsora a partir de 1926, lo que permitió la especialización de la maquinaria y la mano de obra en una sola tarea a través de la utilización de una línea de montaje; donde otro de los pilares fue la máquina de combustión interna que alentó el desarrollo de la industria eléctrica y automotriz;
- La tercera revolución se centró en la tecnología informática y telemática, que generó un auge de las industrias basadas en la nueva economía (Tecnologías de la Información y Comunicación o TIC´s) a partir de los setenta, pero con gran impulso en la década de los noventa;[1]
- Finalmente, se habla de una cuarta revolución industrial que, en su frontera, se basa en la utilización de los sistemas ciber-físicos (realidad virtual/aumentada) y las aplicaciones tecnológicas en tiempo real (conectividad 5G, inteligencia artificial + robotización; aplicada a fábricas inteligentes o la impresión 3D en la industria) (2020; pág. 43).

Siguiendo la teoría, existe un consenso al afirmar que los cambios en los modelos productivos, ocasionados por la incorporación de la tecnología cada vez más sofisticada, son las fuentes de los rendimientos crecientes, y por ende de un desarrollo económico mucho más acelerado. Sin embargo, actualmente a pesar del incremento del gasto en actividades de Investigación y Desarrollo (I+D) y del número de registros de patentes en

[1] Hay que señalar que la base de la nueva economía es el Internet, cuyo desarrollo tecnológico fue posible gracias al desarrollo del proyecto DARPA en el contexto de la segunda guerra mundial, así como la tecnología celular que fue desarrollado por Motorola en el mismo periodo, y la computación fue desarrollado a través del proyecto ENIAC para fines bélicos.

todo el mundo (variables proxy para medir el cambio tecnológico), el crecimiento de los países desarrollados más innovadores es débil; más aún, algunos de ellos tienen una fuerte tendencia al estancamiento, como es el caso de Alemania y Japón que, paradójicamente, se encuentran en la frontera tecnológica. A pesar de las constantes innovaciones, la evidencia nos hace pensar que el cambio tecnológico debe ir acompañado de ciertas condiciones económicas que incidan en el crecimiento al que la teoría alude.

Bustamante y Lechuga mencionan que la innovación que tiene como objetivo un mercado amplio, debe tener una contraparte referente a las condiciones de su realización. Es decir:

> "Implica la modificación del trabajo necesario para la reproducción de la fuerza de trabajo en los distintos estratos salariales. De lo contrario se expresaría la contradicción entre la producción y realización del valor, ya sea porque el mecanismo de la plusvalía relativa aumenta la fuerza productiva del trabajo y con ella la cantidad de bienes, o por la creación de nuevas necesidades que son asimiladas rápidamente por los consumidores y que no encuentran contraparte en ajustes salariales que permitan incorporarlas dentro del consumo regular. […] En ausencia de estos ajustes salariales, este conflicto en la esfera de la realización se manifestará en el desplazamiento parcial o total de ciertos bienes constitutivos del gasto de los consumidores y, con ello, en la disminución de la ganancia de sus productores" (2013; pág. 164).

Es decir, que la innovación debe ir acompañada de cambios en la estructura salarial que permitan la realización en el mercado del producto, que se asume que será mayor. De lo contrario el producto tendrá problemas con su realización y generará una disminución en el precio de los bienes o un descenso de las ventas, o ambas.

Lo que se pretende mostrar en esta tesis es que a raíz del cambio técnico existe un proceso de sustitución de trabajo por capital que impide dinamizar la demanda a través del salario. La competencia en el mercado, impulsada por la obtención de ganancia, produce un incremento en la productividad del trabajo; sin embargo, una mejor tecnología, al ser siempre ahorradora de costos, incluidos los del trabajo, genera un remplazo gradual de la fuerza de trabajo por un creciente empleo de capital, lo que también tiene un impacto sobre las ganancias, el mercado de trabajo y el crecimiento económico en general, pues impacta en la demanda y la rentabilidad sistémica.

Un tema adicional para tratar en este trabajo son algunas cuestiones medioambientales. Este tema se incorpora por la necesidad de mostrar un vistazo general del potencial que tiene la innovación tecnológica para disminuir los niveles de contaminación atmosférica. La curva ambiental de Kuznets (1991)[2] indica que el crecimiento de la riqueza de una sociedad, medido a través del nivel de ingreso per cápita, aumentará la preferencia por formas de producción menos contaminantes.[3] El cambio técnico es una variable central que puede liberar al sistema de su dependencia de energías basadas en combustibles fósiles. Por lo tanto, se afirma que cada innovación es ahorradora de energía y, en general, de costos en la producción, por lo que el cambio técnico tiene efectos positivos en ciertos rubros que pueden disminuir la contaminación. Sin embargo, en

[2] Curva Ambiental de Kuznets o CAK, fue introducida en 1991 por Grossman y Krueger basados en el trabajo de 1955 de Kuznets, donde demostró que las economías que alcanzan cierto nivel de renta per cápita entran en un proceso de mejoras en la eficiencia en el uso de materiales.

[3] Sin embargo, a la fecha, son los países más desarrollados los que contaminan más.

la actualidad aún nos encontramos en la búsqueda de una fuente de energía (tecnología) que sustituya el paradigma energético basado en los fósiles.

Para comprobar estas hipótesis se realiza un análisis estadístico y econométrico de un conjunto de economías avanzadas (Estados Unidos, Alemania, Francia, Reino Unido y Japón) y un país en desarrollo (Corea del Sur) durante el periodo de 1995-2018 con datos anuales. La forma en la que se procede es la siguiente. En el primer capítulo se hace una revisión teórica del concepto de innovación, sus efectos sobre la sustitución del trabajo y su relación con la acumulación de capital. En el segundo se revisa, en términos generales, la innovación tecnológica desde la tercera revolución industrial hasta las tendencias modernas de la industria. El tercero se dedica a un análisis estadístico de los efectos de la tecnología sobre el remplazo de la fuerza de trabajo. En el cuarto se realiza un análisis econométrico para verificar la relación estadística entre el empleo, inversión, ganancias y el crecimiento económico, y se discuten los resultados. El Capítulo V muestra las consideraciones ambientales a través de dos indicadores: el consumo de energía (ya que es el sector que más contribuye a las emisiones de gases de efecto invernadero) y las emisiones totales de dióxido de carbono (el principal componente de los gases de efecto invernadero). Finalmente, en el apartado conclusivo se retoman los resultados de los capítulos anteriores como respuesta a la hipótesis planteada, además de hacer una breve reflexión del curso que puede tomar la economía al seguir transitando por estas tendencias.

Cabe mencionar que este análisis está delimitado en tiempo y periodicidad por la disponibilidad de datos, la mayor parte se obtiene de la OCDE, Banco Mundial y otras fuentes domésticas de los países específicos. Se trata de estudiar las tendencias generales vistas a un nivel macroeconómico para otorgar una visión sistémica del fenómeno de la innovación. Si en ocasiones se insiste en un análisis más profundo es para denotar características económicas relevantes que ofrecen una explicación del fenómeno que se quiere retratar. Esto último es importante ya que, a pesar de que se estudia un tema relacionado con la innovación tecnológica, no se analiza la industria tecnológica más que en sus aspectos más generales, prescindiendo de un enfoque microeconómico o de nivel sectorial.

Capítulo I: Una revisión teórica de la inversión, la innovación y la acumulación de capital

La sustitución del trabajo por capital no es un elemento nuevo del sistema capitalista, sino que ha estado presente, mayor o menor medida, desde sus inicios. Algunas de las primeras contribuciones teóricas y empíricas vienen del análisis de Marx que ubicó este proceso en un marco más amplio de leyes y tendencias generales del sistema capitalista. Él analiza el proceso de sustitución del trabajo como resultado de la competencia donde se involucran la innovación y la acumulación.

Otros autores han analizado estos procesos de forma separada o mediante otros enfoques. Por ejemplo, Schumpeter analiza el ciclo económico como parte de un proceso de innovación; Robinson analiza diferentes formas de cambio tecnológico y su efecto en la acumulación, y Kalecki analiza la acumulación con carácter cíclico. En este capítulo se hace un repaso por las principales aportaciones teóricas que nos ayudan a entender la relación entre el cambio tecnológico, la innovación y la acumulación de capital. Primero se abordan las ideas más relevantes del marco teórico marxista, seguido del análisis de acumulación en el largo plazo y cambio tecnológico de Joan Robinson. Después se expone el modelo cíclico de inversión de Kalecki donde el cambio tecnológico es exógeno. Posteriormente se revisan el papel de la innovación en el ciclo económico, primero con Schumpeter y luego con Govani Dosi y Carlota Pérez.

1.1 Elementos de la teoría marxista de la innovación y acumulación de capital

Para Mex, el capitalismo es una sociedad de clases que se fundamenta en una división social del trabajo con dos clases principales: capitalistas y proletariados, la primera subyugando a la segunda mediante la explotación del trabajo. La clase dominante ejerce control sobre la clase dominada exigiendo que éstas trabajen más tiempo del que socialmente necesitan para producir los bienes que satisfacen las necesidades de la clase trabajadora misma. Así, el término explotación del trabajo se refiere a la extracción del trabajo excedente (Anwar, 1990; 28-31). La apropiación de este trabajo excedente por parte de los capitalistas es lo que se le conoce como plusvalía.

En este marco teórico, la ganancia es la razón de ser del capital y la base del capitalismo industrial es la ganancia por plusvalía. El capital individual es invertido con el propósito de obtener una ganancia y expandir el capital disponible. Para seguir haciéndolo, este capital ampliado debe ser “lanzado a pelear de nuevo” en mejores condiciones. A un nivel agregado, este “circuito recursivo da origen a un proceso dinámico de crecimiento cuyos patrones estructurales están ocultos bajo su aparente desorden. Marx denomina estos patrones económicos de largo plazo como leyes generales de acumulación capitalista” (Anwar, 1990; pág. 28).

A lo largo de *El Capital,* Marx analiza el efecto de la composición orgánica y da luz sobre este fenómeno de sustitución del trabajo por capital. Para él, el objetivo de la maquinaria empleada en la producción es abaratar las mercancías y reducir la parte de la jornada laboral en la que el obrero reproduce su salario para así obtener más plusvalor.

Como parte de este proceso la acumulación de capital crea y reproduce un conjunto de trabajo desempleado denominado ejercito industrial de reserva. La competencia obliga a los capitalistas a introducir nuevos métodos de producción, a mayor escala y más mecanizados. El incremento del capital aumenta la demanda de trabajo, pero al aumentar su mecanización se sustituye a trabajadores por máquinas.

La mecanización es la manera de llevar a cabo este proceso. Las máquinas de la gran industria son resultado de la ciencia que entiende y domina las fuerzas de la naturaleza, que una vez descubiertas no cuestan un centavo, pero que explotarlas requiere de un gran aparato complejo. La maquinaria en la industria, al incorporar "gigantescas fuerzas naturales y de las ciencias de la naturaleza al proceso de producción, no puede menos que acrecentar extraordinariamente la productividad del trabajo" (Marx, 1867; pág. 471).

En la producción, la máquina no crea valor, sino que lo transfiere. Nunca agrega más valor del que pierde por desgaste. Evidentemente existe una diferencia entre el valor de la máquina y el valor que transfiere periódicamente al producto, pero esa diferencia es mucho mayor conforme mejor sea la maquinaria (más productiva y con mayor vida útil). Si se deduce su costo diario medio, es decir, el desgaste diario medio, la maquinaria prácticamente opera gratis, más aún si se le compara con el costo del obrero.

Por ello, la incorporación de maquinaria a la producción capitalista es capaz de sustituir o desplazar a un número existente de obreros. La máquina, como medio de trabajo, se convierte en un competidor del obrero, pues "extingue a la par del valor de uso, el valor de cambio de la fuerza de trabajo", y la "parte de la clase trabajadora que la maquinaria transforma en población superflua, esto es, no directamente necesaria para la autovalorización del capital, […] inunda todos los ramos industriales más fácilmente accesibles, colma el mercado de trabajo y, por lo tanto, abate el precio de la fuerza de trabajo a menos de su valor" (Marx, 1867; pág. 525). Hay que considerar que en este sentido la maquinaria también puede ser utilizada como medio de disuasión y control para los obreros. En un ambiente de competencia, la incorporación de maquinaria más eficiente es una de las formas de mejorar la posición del capital individual y aumentar las ganancias a través de la obtención de más plusvalía.

Se encuentra aquí, por tanto, una transformación de capital variable en capital constante, que transforma a los obreros compradores en no-compradores, lo que significa una demanda reducida. Si esa demanda reducida no se compensa de otra forma, baja el precio de mercado de las mercancías, tal como lo mencionan Bustamante y Lechuga (2013). De modo que se sigue la siguiente ley: "si la cantidad total del artículo producido a máquina es igual a la cantidad total del artículo de producción artesanal o manufacturera al que sustituye, habrá de disminuir la suma total del trabajo empleado" (Marx, 1867; pág. 539).

Empero, aunque esta ley tenga carácter "absoluta", tiene un corolario. Una nueva clase de obreros surge a la par de la máquina: los productores de maquinaria. Si la maquinaria se apodera de algunas etapas previas al objeto de trabajo, aumentará la demanda de trabajo en aquellas industrias.

A esto se le suma la creciente diversidad en los ramos de la producción social. La industria maquinizada, con un número relativamente menor de obreros, produce una masa

creciente de materias primas, productos semielaborados, etc., impulsando la división social del trabajo mucho más que en la manufactura. El resultado es un aumento del plusvalor y de la masa de productos que representa. Aumenta la riqueza y mengua, relativamente, el número de obreros requeridos para la producción, generando nuevas necesidades suntuarias y nuevos medios para satisfacerlas. Dicho de otra forma, hay una tendencia a la baja relativa en el uso de obreros en la industria maquinizada, a la par que hay un incremento de los ramos industriales para la creación de nuevas mercancías que promueve la expansión de la masa absoluta de la fuerza de trabajo (se da una sustitución de trabajo complejo en distintos grados por trabajo simple).

La tasa de ganancia y la tendencia decreciente

En el Tomo III, Marx formula la *tasa de ganancia*, que es el "excedente de valor del producto por encima del valor de capital consumido en él". El capitalista sólo puede explotar el trabajo mediante el adelanto del capital constante (maquinaria), y sólo puede valorizar el capital constante mediante el uso del capital variable (valor de la fuerza de trabajo). Por ello, su ganancia está determinada por el uso de ambos, que representan el capital global.

En los costos de producción se incluyen todos los componentes que han sido pagados por el capitalista y de los que ha volcado un equivalente en la producción. Estos costos deben reponerse para que el capital se conserve. La ganancia consiste precisamente en el excedente del valor del producto por encima de su costo, o el excedente de la suma de la producción por encima del trabajo remunerado. Esto se expresa mediante:

$$G = \frac{Pv}{c+v} \qquad (1)$$

Donde *pv* es la plusvalía, *c* es el capital constante y *v* es el capital variable. Esta relación expresa el grado de valorización de todo el capital adelantado. Si a la ecuación 1 se divide el numerador y denominador entre *v,* tendremos la siguiente expresión:

$$g = \frac{Pv \,/\, v}{(c+v)/v}$$

$$g = \frac{\rho}{\frac{c}{v}+\frac{v}{v}}$$

La razón pv/v es la tasa de plusvalor (el trabajo no pagado que el capitalista se apropia de la fuerza de trabajo), representada por ρ, y c/v es la composición orgánica, representada por θ, de modo que:

$$g = \frac{\rho}{\theta+1} \qquad (1.1)$$

Al derivar la ecuación 1.1 respecto a θ, se obtiene:

$$\frac{\partial g}{\partial \theta} = -\frac{\rho}{(\theta+1)^2} \qquad (1.2)$$

Con un grado constante de explotación de la fuerza de trabajo, que es la misma tasa de plusvalor, la tasa de ganancia muestra una *tendencia decreciente* a medida que incrementa el capital (θ).

Marx teorizó que la ley del modo de producción capitalista opera con disminución relativa del capital variable respecto al capital constante. La derivada anterior expresa la tendencia real de la acumulación capitalista. Con una disminución gradual del capital variable respecto al capital constante, se genera una composición orgánica crecientemente mayor del capital global. En consecuencia, la tasa de plusvalor se expresa en una tasa general de ganancia decreciente. “La ganancia de la cual hablamos aquí no es sino otro nombre para designar el propio plusvalor, que sólo se presenta en relación con el capital global, en lugar de presentarse en relación con el capital variable del cual emana” (1867: pág. 273).

Esta baja gradual de la ganancia nos dice que, con una cantidad determinada de cualquier capital social, una parte mayor constituye medios de producción y una parte menor de “trabajo vivo”. Por ende, disminuye el trabajo impago y el valor, el cual se representa con relación al capital global utilizado.

La razón por la que la composición orgánica (θ) aumenta es porque los capitalistas deben dar batallar en dos frentes: contra los trabajadores para la obtención de la plusvalía y contra otros capitales individuales para su realización en forma de ganancias. “La mecanización es la forma más eficiente de aumentar la plusvalía, mientras que permite reducir costos como arma principal para la competencia.” (Anwar, 1990; pág. 54). Así, los métodos de producción más avanzados conllevaran a instalaciones mayores y más intensivas en capital, con mayor capacidad de producción y costos unitarios de producción menores. La Inversión en capital fijo es el medio para lograr economías de escala (Anwar, 1990; pág. 55). Una masa de ganancias decreciente debilita el incentivo de acumulación hasta que la masa de ganancias se estanque. En esta fase comienza la crisis.

Existen diferentes influencias que frenan o invierten temporalmente el descenso de la ganancia: “mayor intensidad de explotación, salarios más reducidos, capital constante más barato, crecimiento de industrias de composición orgánica relativamente baja, pueden actuar para aumentar la tasa de plusvalía o bajar la composición orgánica o ambas a la vez; sin embargo, estas condiciones operan dentro de límites estrictos,” el aumento de la tasa de plusvalía no compensa el aumento de la composición orgánica del capital.

Del análisis de Marx podemos entender la dinámica del capitalismo como un proceso cíclico, pues la acumulación depende de la rentabilidad y, por dende, del plusvalor. Habrá etapas en donde la rentabilidad sea alta, y en esos momentos los capitalistas tenderán a acumular una mayor cantidad de capital; sin embargo, la sustitución de trabajo por capital no solo debe verse en un sentido lineal ya que la propia competencia capitalista, a través del mecanismo de la tasa de ganancia media, propicia una intensidad de trabajo por capital más acelerada. Las empresas más innovadoras tendrán el incentivo a invertir en tecnología mucho más sofisticada porque esta inversión les garantiza obtener una ganancia diferencial dentro del mercado, por lo que, si estas ganancias tecnológicas se difunden dentro del sistema, la inversión en nueva tecnología se vuelve una necesidad fundamental dentro de la competencia capitalista, cuyo resultado, deseado o no, es disminuir la sustancia generadora del valor del sistema, es decir, el trabajo vivo.

En esta dinámica habrá momentos en que la acumulación se detenga pues la rentabilidad disminuye por la propia naturaleza del sistema competitivo. De esta manera el capitalismo se mueve cíclicamente en el tiempo debido a las fluctuaciones de la tasa de ganancia media a nivel sistémico y por el desequilibrio existente entre los sectores productivos, en donde una innovación puede volver a rentabilizar la explotación laboral e incentivar la acumulación, generando un nuevo ciclo ascendente dentro del sistema económico. Hay que resaltar que en el análisis marxista lo central es la relación capital-trabajo, que a través de la valorización permite al capital rentabilizarse, y es a través de la competencia que las innovaciones hacen más rentable la explotación del trabajador.

En la misma lógica, en la interpretación de Mandel, las ondas largas del desarrollo capitalista sólo pueden ser una teoría de la acumulación de capital y de la tasa media de ganancia. Durante el auge hay un ascenso de las expectativas de ganancia acompañadas de un aumento de la acumulación de capital productivo (es decir, de la inversión). También hace hincapié en que las ondas largas están ligadas al progreso de la ciencia al punto de que no podrían existir sin su desarrollo. Sin embargo, existe también una tendencia del capital a proletarizar el trabajo científico y subordinarlo a sus necesidades (Trabajo Complejo Subordinado). Esta dinámica está relacionada con el anhelo por conseguir más plusvalor y más ganancia; a su vez, las innovaciones incitan a un cambio especifico de la organización del trabajo, "sentido y entendido por los trabajadores industriales como un deterioro global de las condiciones de trabajo" (1980; pág. 40).

Cabe aclarar que la exposición de Mandel relaciona los ciclos largos de Kondratiev con la dinámica de la tasa de ganancia. Los ciclos largos de Kondratiev están compuestos por dos ondas largas: una fase de expansión económica y una de declinación conocida como estancamiento o recesión. En promedio este proceso dura entre 48 y 60 años, por lo que cada ciclo tiene una especificidad histórica, pero que reúne rasgos repetitivos de los ciclos anteriores y rasgos cualitativamente nuevos (Sandoval Ramírez, 2004; pág. 4-6).

Kondratiev no aclaró las causas de estos ciclos. Autores posteriores como Mandel, Schumpeter, Dosi o Pérez ofrecen teorías de este comportamiento cíclico. En Mandel (1980) los ciclos están relacionados a las fluctuaciones de la tasa de ganancia como elemento endógeno y otras variables exógenas con un papel igual de relevante como las guerras, revoluciones tecnológicas y las luchas de clases. Mientras, para Schumpeter, Dosi y Pérez las revoluciones tecnológicas son un factor endógeno.[4]

1.2 Acumulación y cambio técnico en Joan Robinson

Joan Robinson,[5] en convergencia con el marco teórico marxista, entiende por Acumulación *de Capital* aquella inversión de las ganancias que aumenta la capacidad productiva de las empresas, que se da, en parte, por la presión de la competencia. Para ella, el progreso en la técnica se lleva a cabo en las empresas más innovadoras; el resto de las empresas copian la actitud innovadora; y quienes no lo hacen corren el riesgo de ser expulsadas del mercado. Robinson argumenta que las ganancias son el fin último de los empresarios, y

[4] Estos últimos autores serán desarrollados a lo largo de este capítulo.

[5] Libro II: Acumulación en el largo plazo. En: La Acumulación de Capital, 1956.

por ende, su búsqueda es lo que posibilita el desarrollo del sistema económico, demostrando no sólo ser viable, sino también un gran generador de riqueza (1956; pág. 40).

En el Libro II formula varios modelos abstractos que tratan de explicar la acumulación. En el primero de ellos modela una economía con una técnica constante, es decir, con una combinación dada de los factores de la producción. Mantiene el supuesto de una fuerza de trabajo ajustada a la demanda de los empresarios y no existe el crédito.

En este primer modelo la tasa de acumulación está limitada por el excedente disponible por encima de los salarios de subsistencia -aquellos permiten la reproducción de la clase trabajadora-. Esto se concluye así puesto que, teniendo una técnica de producción constante, la demanda de bienes de consumo depende del número de trabajadores y de su salario real per cápita. Si los salarios reales se mantienen constantes, la tasa de acumulación también ya que no se genera una demanda mayor; y viceversa, si los salarios reales aumentan la tasa de acumulación también.

En este mismo modelo, al remover el supuesto de que la fuerza de trabajo es dependiente de la demanda de los empresarios y se supone que hay un excedente de mano de obra, si la tasa de acumulación es menor a la tasa de crecimiento de la población, tarde o temprano ocasionará una caída en los salarios reales, ya que habrá una mayor oferta de trabajo, pero no mayor demanda, lo que ocasionará un crecimiento del desempleo a largo plazo.

Para introducir a los siguientes modelos, Robinson define el progreso técnico como una nueva combinación de los factores de producción, cuyo efecto en general es el incremento en la productividad. Si la población es constante, un aumento de la producción per cápita será causado por un aumento de la productividad que deriva del progreso técnico.

A continuación, la autora divide la esfera productiva en dos sectores: el sector de la producción de bienes de inversión y el sector de la producción de bienes de consumo, cada uno con un número de trabajadores determinado para operar de forma eficiente. Cuando existe el progreso técnico, un número fijo de trabajadores del sector de bienes de capital producen plantas y equipos productivos de capacidad cada vez mayor, y un número dado de trabajadores en el sector de bienes de consumo produce una cantidad cada vez mayor. El resultado es, si la tasa de ganancia permanece constante ante este aumento de la productividad, los salarios reales aumentan.

Es así como Robinson llega a la ley de los salarios: si la productividad aumenta, los salarios nominales también lo hacen equivalentemente. Por lo tanto, si los salarios reales no cambiaran y fueran constantes mientras hay un incremento de la productividad, los precios de las mercancías y de los equipos productivos caerían ante la menor demanda; esto al menos en una economía cerrada.

De aquí se desprenden las condiciones para que exista un desarrollo fluido de una economía progresiva.[6] Éstas son: que la capacidad productiva (el stock de capital) crezca a un ritmo apropiado correspondiente al aumento de la producción per cápita, al tiempo que

[6] La autora define una economía progresiva como una economía donde hay constantemente cambios técnicos.

el mercado asegura que los precios del salario se muevan para absorber este nuevo nivel de producción, es decir, que la demanda aumente en la misma proporción que la producción. En caso de que se incumplan estas condiciones el mecanismo de crecimiento fluido se rompe.

Robinson analiza otro escenario para un tipo específico de acumulación: acumulación con progreso técnico sesgado. Para esto define lo que es un progreso técnico neutral. Si dividimos la esfera de la producción en dos tipos de bienes, el de la producción de bienes de capital y la producción de bienes de consumo. El progreso técnico neutral es aquel que hace que la producción per cápita en el sector de bienes de capital incremente (en términos de capacidad productiva) en la misma proporción que en la producción de bienes de consumo. Entonces, si en una economía se da un progreso técnico neutral y se mantiene constante la participación de los salarios en el valor de la producción, la tasa de ganancia se mantiene constante al igual que la tasa de acumulación.

Pero supongamos que se da el progreso técnico sesgado, es decir, una innovación con un sesgo de ahorro de capital. Una forma de entender este punto es mediante un ejemplo: si un empresario requiere remplazar capital desgastado con un cierto nivel técnico (llamémoslo beta-menos) con capital de una técnica mayor (llamada beta), existirá una mayor capacidad productiva, y se requerirá un menor volumen capital para mantener el mismo nivel de producción. Por lo general, el empresario repondrá el mismo valor del capital, por lo que la capacidad productiva aumenta. Si este razonamiento se generaliza, en la economía habrá una mayor capacidad productiva y una escasez de mano de obra. En este escenario, para mantener la ganancia constante, se debe elevar el nivel de salarios reales. Si las subsiguientes innovaciones son igualmente sesgadas, la escasez de mano de obra será crónica y la tasa de ganancia tiende a disminuir. En cambio, si las siguientes innovaciones son neutrales, significa que hubo un aumento en el grado de mecanización.

La teoría de Robinson sostiene que la fuente de la acumulación de capital son las ganancias, el origen de las ganancias son las ventas, y la fuente de las ventas es el nivel de salario real. Esto bajo los supuestos que no existe el ahorro ni el consumo fuera de las ganancias (no hay crédito), la mano de obra es fija, la tasa ganancia es constante, funciona el mecanismo del mercado competitivo que mueve los precios y se trata de una economía cerrada. Si uno de ellos falla, el modelo se quiebra y causa problemas en la acumulación a largo plazo, aunque exista el progreso técnico.

Un aspecto para considerar cuando se lee a Robinson es que no teoriza el cambio tecnológico, solo el cambio técnico. La diferencia entre estos dos términos es que el cambio tecnológico se refiere a un cambio en la forma que los factores de la producción se conjugan debido a una nueva tecnología; mientras que el progreso técnico se refiere a una nueva combinación de los factores, específicamente a innovaciones incrementales sobre una base tecnológica dada. Esta diferencia en los conceptos se aclara con las aportaciones de Giovanni Dossi y Carlota Pérez al teorizar el ciclo económico.

Cabe mencionar que para Robinson una innovación es un “shock” que abre oportunidades generalizadas en las ganancias de inversión, rompe la conexión entre las ganancias pasadas y las futuras. Esta innovación debe ser un descubrimiento o aplicación desde lo básico, como una nueva fuente de energía o un nuevo material.

1.3 El modelo dinámico de Kalecki: inversión y ganancias

El modelo desarrollado por Kalecki puesto en *La teoría de la dinámica económica,* tiene como variable fundamental a la inversión privada para desencadenar el ciclo. Para esto, primero determina las funciones de las ganancias y la inversión.

El valor del producto nacional se divide entre los trabajadores y los capitalistas. "El ingreso de los trabajadores consistirá en sueldos y salarios, mientras que el ingreso de los capitalistas más la inversión bruta son las ganancias brutas" (1956; pág. 47). Las ganancias de los capitalistas son iguales a la inversión bruta más su consumo. Con este razonamiento, es claro que los capitalistas pueden decidir si invertir más o consumir más, pero no pueden decidir ganar más, "por lo tanto, sus decisiones de inversión y consumo determinan sus ganancias, y no a la inversa" (1956; pág. 47).

Las ganancias después de impuestos, *P*, son iguales a la suma de la inversión *I* y el consumo de los capitalistas *C*:

$$P = I + C \qquad (2)$$

Y el consumo, a su vez, está determinado por una parte proporcional de las ganancias (q < 1) más una constante estable A:

$$C_t = qP_{t-\lambda} + A \qquad (3)$$

Sustituyendo el consumo en la ecuación de las ganancias queda:

$$P_t = I_t + qP_{t-\lambda} + A \qquad (4)$$

Por tanto, las ganancias reales en t están determinadas por la inversión en ese periodo y las ganancias de la época t-λ. Las ganancias en t-λ están, a su vez, determinadas por las ganancias en t-2λ, y así sucesivamente. Los coeficientes de inversión I_t, $I_{t-\lambda}$, $I_{t-2\lambda}$, etc., serán 1, q, q^2, respectivamente. Como se dijo, q es menor que 1 y disminuirá rápidamente. En consecuencia, la inversión sólo contará en la determinación de las ganancias, P_t, si el tiempo es relativamente cercano. Es decir, las ganancias siguen a la inversión después de un periodo de tiempo.

Sabiendo lo que determina las ganancias, la ecuación del ciclo económico tiene como base a la inversión, cuya ecuación es:

$$I = \alpha S + b\frac{\Delta P}{\Delta t} - c\frac{\Delta K}{\Delta t} + d \qquad (5)$$

Donde la inversión *I* depende del ahorro bruto total (*S),*[7] del incremento de las ganancias por unidad de tiempo (*ΔP*) y del incremento del capital fijo por unidad de tiempo (*ΔK)*. La *d*

[7] En el sentido de Kalecki, el ahorro bruto de las empresas se entiende como la ganancia de periodos pasados, diferenciándose de la idea neoclásica del ahorro en el sentido de que dicha variable es el resultado de la decisión inter temporal de consumo presente y futuro mediado por la tasa de interés real. Adicionalmente, se considera que el ahorro es producto de la frugalidad de las familias, a quienes se supone agentes superavitarios, contrario a las empresas quienes son los agentes deficitarios del sistema económico y necesitas de los ahorros de las familias para llevar a cabo sus proyectos de inversión.

es una constante sujeta a cambios de largos plazo, su papel es ofrecer un punto de partida a la función.[8] La manera de simplificar es modificar la ecuación:

$$\frac{\Delta K}{\Delta t} = I - \delta \qquad (6)$$

La tasa de variación del capital fijo es igual a la inversión realizada en el mismo periodo I, menos la depreciación δ. Al sustituir 6 en 5 resulta:

$$I = \alpha S + b\frac{\Delta P}{\Delta t} - c\,(I - \delta) + d \quad (7)$$

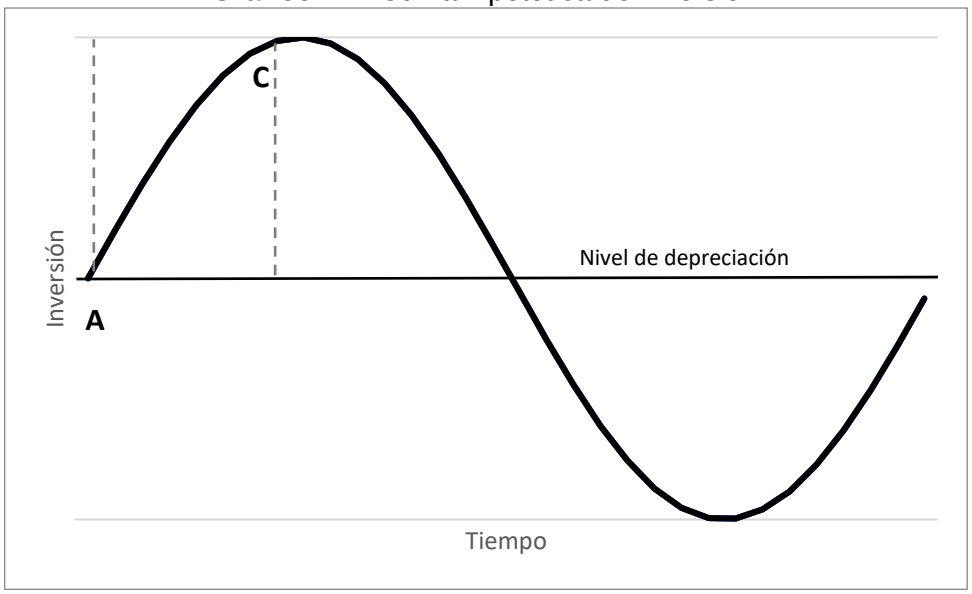
Despejando I, nos queda:

$$I = \frac{a}{1+c}S + \frac{b}{1+c}\frac{\Delta P}{\Delta t} + \frac{c\delta + d}{1+c} \qquad (8)$$

De esta ecuación se desprende el origen al ciclo económico. La dinámica que da origen al ciclo es el movimiento de la inversión, y se visualiza en el **Gráfico 1.1**.

Gráfico 1.1: Curva hipotética de inversión

Fuente:



Tomado de *La teoría de la dinámica económica*. Michael Kalecki, 1956

Para que el ciclo ocurra es necesario que $\frac{a}{1+c} < 1$, porque el mecanismo del ciclo se basa en dos elementos: 1) cuando la inversión va en aumento y alcanza el nivel de la depreciación (punto A del **Gráfico 1.1**), la inversión sigue aumentando porque se da un aumento de las ganancias y de la producción total antes de alcanzar el punto de la depreciación; y 2) cuando se detiene el movimiento ascendente de la producción (punto C del **Gráfico 1.1**), la inversión no permanece estática, sino que comienza a descender. Esto ocurre precisamente porque $\frac{a}{1+c} < 1$, lo que refleja el efecto negativo del incremento del capital fijo sobre la inversión ($c > 0$), que es decreciente; además del hecho de que el ahorro

[8] La *d* hace referencia al cambio técnico que determina la tendencia de acumulación del sistema económico, por lo que cambia su nivel en cada ciclo económico.

no se reinvierte completamente ($\alpha < 1$). En consecuencia, comienza el descenso de la inversión.

En este modelo el cambio tecnológico es exógeno. La constante *d* determina el nivel donde se lleva a cabo el ciclo. La situación cambia si se añaden las innovaciones a largo plazo que favorecen una tendencia al alza de la inversión. Las innovaciones hacen surgir, en un determinado periodo, un número mayor de proyectos de inversión, por lo que su influencia es análoga al aumento de las ganancias totales. Estas innovaciones impactan a la inversión, y la llevan por arriba del nivel que resulta del modelo anterior. Kalecki menciona que este aumento de la intensidad de las innovaciones debe tener un efecto sobre el volumen de inversión, y si la intensidad de éstas se reduce, se refleja en un descenso del acervo de capital. En este caso, las innovaciones se refieren a la "evolución de la tecnología"; pero también puede ampliarse para incluir fenómenos como la "introducción de nuevos productos para los que para su fabricación requieran nuevo equipo, la penetración de nuevas fuentes de materias primas que hagan necesario efectuar nueva inversión en equipo de producción, transporte, etc." (1956; pág. 161).

Finalmente, el autor hace breves reflexiones sobre el crecimiento demográfico y en cómo afecta al crecimiento de largo plazo. Suponga un modelo estático con incremento poblacional. Ya que la producción permanece invariable, a la larga aumentará la desocupación, lo que hará presión a la baja sobre los salarios en el largo plazo. Según el razonamiento de Kalecki, esto tenderá a elevar el grado de monopolio y provocar un desplazamiento de los salarios a las ganancias. Este fenómeno está lejos de estimular el crecimiento económico de largo plazo; más aún, lo afectará. Algunos autores ven el crecimiento demográfico como una forma de expandir el mercado, pues puede potenciar el crecimiento a largo plazo, pero el enfoque en este caso no sería la demografía, sino el aumento del poder de compra de la sociedad.

1.4 El desarrollo económico de Schumpeter y el papel de las empresas

La primera teoría en la que se piensa cuando se hace referencia al cambio tecnológico y su impacto dentro del sistema productivo en un contexto cíclico es el trabajo pionero de Schumpeter en su *Teoría del desenvolvimiento económico.*

El primer capítulo de su libro lo dedica a explicar el flujo circular de la economía. A través de la experiencia de los agentes en sus actividades económicas se llega a un estado inalterable de su comportamiento que sólo está sujeto a cambios por fuerzas exógenas a la economía (estado estacionario). Schumpeter lo llama la "corriente circular de la economía", donde existen la producción, la demanda y la remuneración a los factores productivos relacionados mediante un sistema de precios, y existe una carencia de ahorro significativo, inversión, innovaciones y un sistema financiero desarrollado, pues el dinero funciona sólo bajo los principios neoclásicos, es decir, no tiene un efecto real en la economía.

En el segundo capítulo comienza a teorizar el fenómeno fundamental del desenvolvimiento económico. Por "desenvolvimiento" se entiende desarrollo económico,[9] el cual conceptualiza como los cambios o transformaciones espontáneas y discontinuas en los cauces de la corriente circular; en otras palabras, alteraciones del equilibrio que son capaces de desplazarlo.[10] Para él, el sistema económico es dinámico y el cambio tecnológico es un factor constante de desequilibrio. El problema es, entonces, "la ocurrencia de estos cambios revolucionarios".[11]

Producir es combinar materiales y fuerzas a nuestro alcance; producir cosas nuevas es combinar de forma diferente los factores de la producción. Sin embargo, para que esta nueva combinación sea disruptiva y cause el desenvolvimiento, la nueva combinación no debe surgir de la combinación anterior mediante una serie incremental de pasos pequeños, la innovación debe ser radical, desequilibrante, para que tenga efecto en el sistema económico. Si es incremental, no puede hablarse de un fenómeno productivamente disruptivo y de desenvolvimiento.

La disrupción puede darse en los siguientes casos: la introducción de un nuevo bien o calidad de éste, la introducción de un nuevo método de producción no probado por la experiencia, la apertura de un nuevo mercado, una nueva materia prima o bienes semifacturados, o la creación o modificación de la estructura industrial. Este cambio tecnológico, tal como dirán muchos autores después, tendrán un enorme potencial económico virtualmente infinito, y crearán oportunidades de mercado a los empresarios: lo que antes no era una idea rentable, ahora tiene grandes posibilidades de obtener grandes beneficios en virtud de la nueva tecnología disponible.

Cabe mencionar que para Schumpeter el tránsito por nuevos caminos no suele tomar cuerpo en las empresas antiguas, que están ya establecidas en el mercado. Más bien se trata de nuevas empresas las que acuñan nuevas combinaciones. Esto supone competencia: la eliminación de las empresas antiguas, además de la demarcación entre épocas del capitalismo.

Sin embargo, antes de la aparición de nuevas empresas, el factor fundamental del desarrollo económico es la aparición de los nuevos empresarios, capaces de desviarse de las líneas familiares de la producción y de la corriente circular. Esto es lo que impulsa a la producción por nuevos caminos inexplorados, donde la incertidumbre es el elemento principal. Esas características de liderazgo de los nuevos empresarios son lo que hacen posible el fenómeno disruptivo. Los empresarios son aquellos agentes que se lanzan al vacío por el simple placer de descubrir cosas nuevas o de emprender un negocio y tienen que ser capaces de convencer a los agentes financieros de la rentabilidad del nuevo

[9] El titulo original es: "Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung", que se traduce como *Teoría del Desarrollo Económico.* En su versión en español fue traducido como *desenvolvimiento económico.*

[10] Schumpeter no se refiere al progreso técnico, a las innovaciones incrementales que mantiene un ritmo constante de acumulación, sino que hace referencia a los cambios tecnológicos, los cambios de la base productiva que hacen posible grandes disrupciones en la tasa de acumulación.

[11] Cabe aclarar que Schumpeter parte de la idea de que estos cambios revolucionarios son los que determinan el ciclo económico, más específicamente el ciclo largo de Kondratiev que se mencionó en apartados anteriores.

proyecto (Schumpeter; 1934). Para Schumpeter es fundamental el papel de los bancos en la creación del poder de compra que pueda propiciar dichas innovaciones, pues argumenta que el ahorro existente dentro del sistema económico sería insuficiente para propiciar el desenvolvimiento económico. Schumpeter rompe con la visión tradicional que limita la inversión al ahorro existente (Ley de Say), es decir, el papel central del sistema bancario es ser creadores del poder de compra *ex nihilo*.

Teniendo estas ideas principales claras, nos adelantamos ahora al ciclo económico descrito por Schumpeter.[12] La postura que adopta para comenzar a teorizar el ciclo es explicar las fluctuaciones en forma de olas de negocios. La teoría se resume así: "el efecto de la aparición de nuevas empresas en masa sobre las antiguas y sobre la situación económica establecida es de tal naturaleza que cambia todas las condiciones y hace necesario un proceso de adaptación" (1934, pág. 216).

La primera pregunta para considerar es por qué el desenvolvimiento ocurre a saltos, con alzas y bajas características, y no de forma regular. La respuesta es que, si el desarrollo fuera regular (continuo), no habría perturbaciones en la corriente circular, y por lo tanto ninguna perturbación de crecimiento. Lo que explica el inicio del auge es la súbita aparición de nuevas empresas, pues, como se dijo antes, las nuevas combinaciones no proceden de las empresas antiguas, sino que aparecen al lado de ellas y comienzan a hacerles competencia, aunque toma tiempo que se consoliden como tal.

La aparición de los primeros empresarios que transitan los nuevos caminos de la producción fomenta la aparición de otros. El aumento de empresarios representa una demanda de inversión cada vez mayor que se traduce en un aumento general del poder adquisitivo, lo que provoca un auge que se difunde por todo el sistema económico. Los bienes de consumo se venden siempre a precios cada vez mayores por el aumento del poder de compra, que pasa de los empresarios a los propietarios de los medios de producción, a todos los productores de bienes de consumo productivo y luego a los obreros. Esto explica los principales síntomas del auge: la inversión creciente de capital, la expansión de la producción en empresas que producen medios de producción, la aparición de nuevo poder de compra y el alza de precios (de bienes y de los salarios), el alza del tipo de interés y la presión sobre los saldos bancarios.

Un elemento importante para resaltar es que la aparición de estos empresarios sucede primero en una o un par de ramas de la industria; luego aumenta el nuero de empresarios cada vez más y se expande a otras ramas de la economía, causando una reorganización en la técnica y la comercialización, por un lado, y un mayor crecimiento económico, por otro.

Sin embargo, la fase del auge no es permanente. El estancamiento comienza con una pérdida de impulso de manera endógena. Debido al éxito industrial surgen tantas empresas que la ganancia mengua, perdiendo dinamismo en las ramas o negocios en las que se aplica dicha innovación.

Para Schumpeter, la circunstancia que induce a la recesión "es la aparición de nuevas empresas *en masse* sobre las antiguas y sobre la situación económica establecida, de tal naturaleza que cambia todas las condiciones y hace necesario un proceso de

[12] Capítulo 6 de la Teoría del Desenvolvimiento Económico: El Ciclo Económico.

adaptación" (1934; pág. 217). Los nuevos empresarios han alterado los datos del sistema, moviendo su equilibrio hacia otro punto para formar otra corriente circular. Este ambiente se caracteriza por un alto grado de incertidumbre que algunas instituciones comienzan a sentir más que otras, como los bancos. Algunos elementos que caracterizan la incertidumbre es el alza de precios, tasas de interés, costos y otros elementos.

La creciente incertidumbre e irregularidad ocasionadas por el auge explica por qué la mayoría de las crisis son consecuencia de eventos fortuitos. Los datos de los que las empresas se guían para sus decisiones de producción se alteran para todos los negocios, y dicha alteración no puede aprenderse sino por la experiencia. Los negocios se deben adaptar a los nuevos grupos de empresarios, las nuevas combinaciones y ramificaciones del proceso de producción.

Las viejas empresas tienen tres posibilidades: cerrar si no se adaptan, dedicarse a otra rama de la industria o adoptar otra estrategia técnica o comercial que signifique mejorar la producción a un menor costo. Así, la depresión durará, teóricamente, hasta que se aproxime a un punto de equilibrio. Por ello, la depresión puede interpretarse como un mecanismo de lucha por un nuevo equilibrio.

La teoría de Schumpeter sobre el ciclo menciona elementos importantes que serán útiles en la investigación. Para él, la innovación tecnológica rompe el flujo circular de la economía porque creaba nuevas fuentes de valor agregado; es decir, era el detonante del desarrollo económico. Estos beneficios derivan directamente de nuevos campos de la actividad productiva. De hecho, Jonh Cantwell pone en marco las aportaciones de Schumpeter relacionadas a los beneficios y a la visión de la empresa como una entidad cambiante. Según Cantwell (2002), Schumpeter no veía a la gran empresa bajo la misma óptica de equilibrio estático que la economía tradicional, donde se tomaban decisiones de precios y cantidades para maximizar la ganancia, sino que veía a la empresa como una organización innovadora y cambiante dedicada a aprender, y dentro de la innovación destaca la centralidad del cambio tecnológico en la producción. Así, los mayores beneficios no son para las primeras empresas en llegar a una gran innovación, sino para aquellas cuyas capacidades estén mejor adaptadas para absorber y seguirse desarrollando, las que cuentan con las mejores condiciones para hacer el mejor uso mutuo de la tecnología (pág. 6-13).

En este contexto, según Nonaka, Toyama y Nagata (2000; pág. 3-6), la empresa se vuelve una entidad dedicada a la creación de conocimiento, pues el conocimiento y las habilidades le otorgan una ventaja competitiva sobre el resto y la hace capaz de innovar en productos, procesos y servicios, o mejorar los ya existentes, y las hace capaces de adaptarse a los cambios discontinuos y espontáneos producidos por la incertidumbre de la economía.

Bustamante y Lechuga (2013) mencionan que la creación de conocimiento es un trabajo complejo, es decir, resultado de un número considerable de horas de estudio y capacitación; pero también es un trabajo irreproducible que tiene que ver con la cualidad de ciertas personas para innovar y hacer las cosas. A este tipo de trabajo se le denomina Trabajo Complejo Especializado (TCE), y es generador de innovaciones en productos y procesos, así que actúa como una fuente de ventajas competitivas que permiten generar

beneficios extraordinarios y potenciar una mayor concentración. La forma en que el capital puede apropiarse del TCE es mediante patentes, marcas o franquicias (p. 161-162, 165).

Por ende, las empresas se convierten en lugares donde los individuos trascienden ellos mismos a través de la creación de conocimiento. Con su interacción y en un ambiente determinado, los individuos cambian ellos mismos y sus espacios de trabajo y se convierten en las principales fuerzas de la creación del conocimiento (Nonaka, et al; pág. 3). En algunos casos, el individuo-creador es mucho más importante que el propio capital de la empresa. De hecho, en las empresas de conocimiento, los individuos que generan este recurso son el capital. Esta ventaja competitiva es sostenida en función de la capacidad de explotar los niveles existentes de conocimiento en sus distintas formas: tecnologías usadas, el *know-how* y las bases de datos, todas en posesión de la empresa.

De hecho, existe un enfoque económico denominado evolucionista,[13] que habla de ganancias satisfactorias, en el sentido de que son las que se necesitan para que la empresa sobreviva en el tiempo, y eso significa que son las necesarias para mantenerse en el mercado a través de la acumulación y la I+D de nuevos productos y procesos productivos; además que estas ganancias les permiten soportar los cambios competitivos y aquellos sucesos determinados por la incertidumbre sistémica. Cantwell sostiene también que estos beneficios conducen a una amplia diversificación basada en la complementariedad tecnológica, es decir, a la posibilidad de la derrama tecnológica entre empresas (Cantwell, 2002; pág. 14-17).

De esta forma, Schumpeter deja de centrar su análisis en el ámbito macroeconómico del crecimiento y se enfocan en las relaciones microeconómicas entre empresas (redes de empresas) y su dinámica de crecimiento como parte del auge económico. Un factor que Schumpeter no considera es el mercado de trabajo. Asume que la fuerza de trabajo se ajustará a la demanda creciente de los empresarios, y no existe preocupación acerca de la sustitución de trabajo por capital.

1.5 Revoluciones y paradigmas tecnológicos

Las revoluciones y los paradigmas tecnológicos son conceptos usados por Dosi (1988) y Pérez (2002) para caracterizar distintas fases o etapas del capitalismo donde la producción, la distribución y el consumo crecen y se reorganizan bajo ciertos principios comunes.

[13] La economía evolucionista es un enfoque teórico que considera la economía como un sistema en constante evolución. Algunas de sus características son que el conocimiento es acumulativo, los agentes tienen racionalidad limitada; afirman que la economía no busca un equilibrio, sino que el sistema es dinámico y en constante variación; y, algo importante para este texto, mencionan que los modelos empresariales exitosos son los que prevalecen sobre competidores menos eficientes, generando los ciclos del mercado. Así, las organizaciones que mejor pueden adaptarse a los cambios que afronta la sociedad serán las que queden en pie. Por ende, son las que desarrollan mejor tecnología. Las raíces teóricas de esta dinámica es la destrucción creativa de Schumpeter. Los mayores exponentes de esta escuela de pensamiento son Richard Nelson y Sidney Winter.

Una revolución tecnológica se define, según Pérez (2002), como un conjunto nuevo y dinámico de tecnologías, productos e industrias que pueden impulsar una oleada de crecimiento de largo plazo:

> "Se trata de una constelación de innovaciones técnicas estrechamente relacionadas, la cual suele incluir un insumo de bajo costo y uso generalizado -una fuente de energía o un material crucial-, además de nuevos e importantes productos, procesos y una nueva infraestructura.
>
> La irrupción en las industrias innovadoras puede ser suficiente para llamarlas 'revoluciones tecnológicas'. Sin embargo, lo que les garantiza semejante denominación es que uno de esos conjuntos de saltos tecnológicos se difunde mucho más allá de los confines de las industrias y sectores donde se desarrolló originalmente. […] Esto hace posible un salto de la productividad potencial para la inmensa mayoría de las actividades económicas" (pág. 32).

Para Dosi (1988) un paradigma tecno-económico es un conjunto de heurísticas. Con él los agentes económicos, sobre todo las empresas innovadoras, se contestan una serie de preguntas como: *¿A dónde vamos?, ¿Qué buscamos?, ¿Qué orden de conocimientos se pueden trazar o seguir trazando?* Las respuestas guían las decisiones de inversión y las estrategias de mercado de las empresas (pág. 1128-1130). Cada innovación trae consigo un cambio en la estructura de los precios relativos, guiando a los agentes económicos a la construcción de un tipo ideal de organización de la producción hacia combinaciones más eficientes y menos costosas. Por lo tanto, se considera una regla para tomar decisiones de tecnología e inversión. Este modelo rector es el Paradigma Tecno-económico.

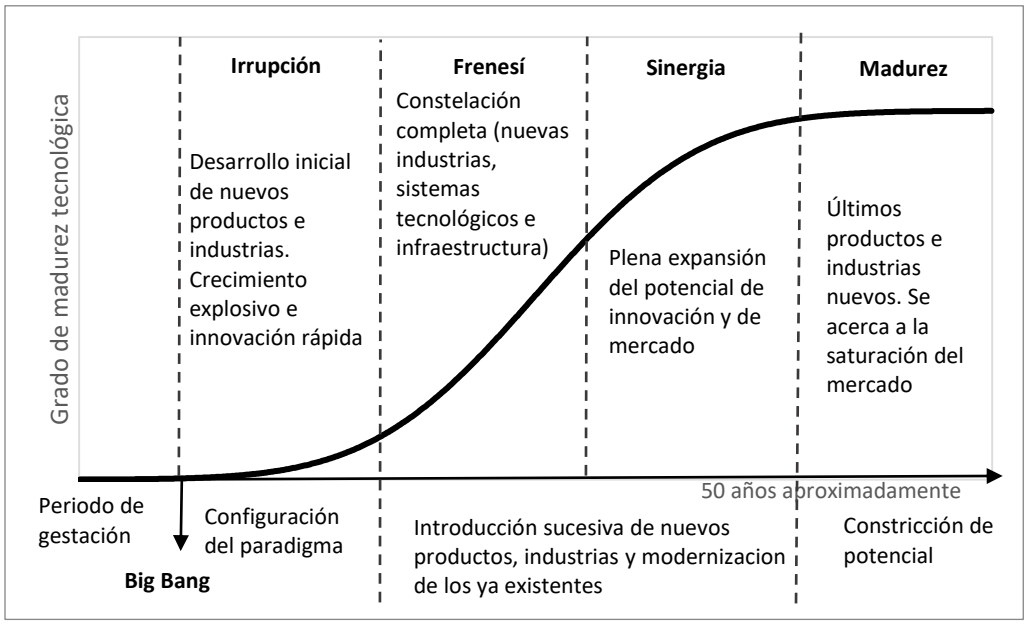
La reciente innovación se difunde a través de los Paradigmas Tecnoeconómicos, ya que definen el modelo y terreno de las prácticas innovadoras normales, prometiendo éxito a quienes sigan los principios. Como explican los autores, los paradigmas son capaces de guiar a los empresarios, gerentes, innovadores, inversionistas y consumidores en sus decisiones individuales y en su interacción durante todo el proceso de difusión de este conjunto de tecnologías. En un primer momento la tecnología irrumpe en una industria particular; la configuración de los precios relativos y la búsqueda de ganancias hacen que las tecnologías se expandan y permeen otras industrias capaces de asimilar el cambio, pues no todas las industrias son igualmente susceptibles a él.

Contrario a Schumpeter, que se centra en el papel del empresario innovador, Pérez sugiere que estas revoluciones tienen un origen en la explosión de las oportunidades de inversión. El nuevo paradigma tecno-económico suscita la aparición de nuevas habilidades emprendedoras, que definen, a su vez, un amplio espacio para el diseño de nuevos productos. Es decir, el establecimiento del paradigma hace posible la aparición del talento empresarial.

Por lo general, las condiciones socioeconómicas necesarias para el estallido de una revolución aparecen cuando el paradigma anterior está cercano a su agotamiento. Cuando detona la revolución tecnológica, las oportunidades se convierten en un mecanismo de exclusión para las innovaciones incompatibles con el marco recién creado. Así, se va consolidando una especie de trayectoria válida para nuevos los productos y servicios, sobre los que se pueden generar muchas innovaciones incrementales y sucesivas en serie implementadas con éxito, todas basadas en la tecnología base (la que dio origen a la revolución). Esto es lo que Dosi conoce como una trayectoria tecnológica que puede ser

explotable de manera rentable durante un largo periodo de tiempo, dada la naturaleza de la innovación.[14]

Gráfico 1.2: Ciclo de vida de una revolución tecnológica



Fuente: Tomado de *Revoluciones tecnológicas y capital financiero,* Carlota Pérez (2002).

Sin embargo, estas trayectorias tecnológicas no son eternas. Cada paradigma tiene un potencial de crecimiento más o menos definido (en realidad, definirlo es una tarea muy difícil), y tarde o temprano se agotará. Las revoluciones tecnológicas, que dan origen a los paradigmas tecno-económicos, tienen un ciclo de vida.

Tal como se ve en el **Gráfico 1.2**, el ciclo de vida de un paradigma tecno-económico tiene cuatro fases. La primera es la configuración del paradigma, al que precede un periodo de gestación de un ramillete de innovaciones que se consolidan en una tecnología central, en la cual se basarán las innovaciones subsecuentes. A esto se le conoce como el *Big Bang*. La fase dos es la introducción gradual de nueva infraestructura y nuevas líneas de investigación relacionadas con la tecnología central, es decir se crean nuevas cadenas de valor. En la fase tres hay un crecimiento económico acelerado debido a la consolidación del mercado de los nuevos productos e industrias, a la vez que existe un "rejuvenecimiento" de las industrias ya existentes. Finalmente, en la última fase los mercados están saturados y las innovaciones incrementales sobre la tecnología central son cada vez más costosos y contribuyen menos al aumento de la productividad, lo que significa que en esta fase una tecnología especifica ya ha alcanzado su potencial de crecimiento.

De manera general, las teorías expuestas a lo largo de este capítulo concluyen que el nivel de los salarios reales y los mecanismos de precios de los mercados son determinantes para que la acumulación siga su curso en un escenario de cambio

[14] Por ejemplo: en el lenguaje mercantil existe la llamada obsolescencia programada, que hace referencia a la estrategia de las empresas cuando explotan ciertas trayectorias tecnológicas y administran ellas mismas el cambio hacia una nueva trayectoria o la innovación incremental dentro de la misma.

tecnológico. No obstante, la sustitución de trabajo por capital, principalmente desarrollada en el apartado de la teoría marxista, muestra que estos mecanismos, por la propia naturaleza de las fuerzas del sistema económico, impide que naturalmente estos mecanismos se cumplan, lo que puede repercutir en la acumulación en el largo plazo.[15] Asimismo, el enfoque de las revoluciones tecnológicas aclara la manera en que la tecnología se incorpora a economía y cómo determina los periodos de auge y su eventual estancamiento.

[15] Este argumento será desarrollado en los capítulos posteriores, particularmente en el Capítulo III.

Capítulo II: la innovación tecnológica en contexto

Desde que surge la primera revolución industrial la innovación y el cambio técnico ha sido una de las principales fuerzas impulsoras del crecimiento económico. Aun así, a pesar de que las primeras ideas de la innovación vienen desde la primera revolución industrial, no existe una sola definición de progreso técnico, innovación o cambio tecnológico. Mucho más difícil que la definición teórica, su análisis empírico ha requerido del uso de supuestos para simplificar el análisis o se han centrado en sus efectos económicos (Rosenberg, 1993; pág. 18), como lo que se pretende mostrar a lo largo de este trabajo.

El capitalismo ha tenido diferentes fases demarcadas por las principales tecnologías que configuraron su desempeño, definidas como revoluciones tecnológicas mencionadas en la introducción. Para entender más a detalle el cambio tecnológico y su relación con el desempeño de la economía, este capítulo realiza un repaso por las principales contribuciones tecnológicas de la tercera revolución industrial, la cual marca el inicio de la economía digital, y un breve esbozo de la cuarta revolución cuya implementación es precaria, pero avanza significativamente.

2.1 Los cambios de la tercera revolución industrial

Después de la segunda guerra mundial las invenciones producidas durante el conflicto bélico configuraron la base de la tercera revolución industrial que surge en la década de los setenta,[16] y que profundiza el uso de las Tecnologías de la Información (Informática y telemática). Esto posibilitó el auge de la nueva economía en la década de los noventa. Khan (1989) realizó una breve caracterización de estas innovaciones. El primer pilar de esta revolución fue el desarrollo de la capacidad de procesamiento de datos de las computadoras, especialmente en largas organizaciones industriales, financieras y administrativas. Esto lideró la automatización de rutinas de oficina, sustituyó aquellas realizadas por el hombre y ahorró tiempo a menores costos. Algunas de estas actividades fueron la contabilidad, las facturas, las nóminas y el control de inventarios.

Con la llegada de la mini-computadora y la acelerada disminución del costo y precio de los procesadores y semiconductores, el mercado de computadoras llegó a ser accesible para pequeñas, medianas y grandes empresas. En la década de 1980, la computadora profesional/personal hacia más prácticas las actividades de los profesionistas (abogados, doctores, contadores, arquitectos, periodistas, etc.). Poco tiempo después también se

[16] La tercera revolución industrial surge con la introducción del microprocesador de Intel (Intel 4004, el primer micropocesador de la historia), con el que es posible crear el computador personal de IBM (UBM PC en 1981), la tecnología celular (el primero teléfono móvil comercial lo lanzó Motorola en 1984) y consolidar la infraestructura de comunicación inalámbrica. Estos inventos tienen un origen bélico: la computadora de propósito general tiene su origen entre 1943 y 1945 con el proyecto estadounidense ENIAC; el proyecto DARPA surge en 1958 en EE. UU. durante la guerra fría, de donde surgieron los satélites y redes de ordenadores, y ARPANET para comunicación militar después se desarrolló como Internet.

generalizó el uso del celular.[17] Ambos productos trajeron avances notables en la productividad de los servicios profesionales.

El segundo pilar de la tercera revolución fue el avance de las telecomunicaciones a través de las redes inalámbricas (internet), donde hubo un salto en las posibilidades técnicas de mover información alrededor del mundo a un costo mucho menor y en tiempo real. Esto incrementó la eficiencia y velocidad de las comunicaciones, al pasar de la tecnología electromagnética a la tecnología digital, que iba de la mano con la implementación del cable de fibra óptica que transmitía una mayor cantidad de datos a la velocidad de la luz. A esto se le agregó el uso de los satélites en la comunicación. Aunque las telecomunicaciones y la computación fueron tecnologías desarrolladas separadamente, ahora existe una clara convergencia entre ellas.

Para entender el paquete tecnológico al que se agregan las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) dentro del sector productivo hay que considerar los procesos de mecanización, automatización y robotización. La universidad ECOTEC define la mecanización como la provisión de maquinaria a operadores humanos para ayudarlos con los requerimientos del trabajo físico en la jornada laboral. La automatización, por otro lado, se refiere a la amplia variedad de sistemas y procesos que operan con mínima o sin intervención humana; estos procesos pueden ser físicos -en cuyo caso se habla de robotización- o digitales.[18]

En teoría existe una división clara entre estos conceptos, no así en la práctica donde la frontera es difusa.[19] La automatización de las cadenas productivas comenzó con el arribo de la revolución tecnológica en la década de los setenta. Antes de eso la innovación del sistema capitalista consistía más bien un proceso de mecanización industrial que dotaba de maquinaria a los obreros. Un cierto grado de mecanización ocupaba a cierto número de trabajadores, y las mejoras de la maquinaria no tenían la intención de reducir el volumen de ocupación. En este principio se sustentó el fordismo, el cual Boyer y Freissenet (2003) mencionan que se trató de un sistema de producción basado en volumen. Consistía en reclutar masivamente mano de obra no calificada con un salario fijo superior a la media, y aumentaba constantemente según la productividad para ampliar la demanda (pág. 66).

Cuando el fordismo entró en crisis, fue reemplazado por el modelo de *producción flexible*, el cual ajusta la producción a los cambios de la demanda. Este otro modelo tiene el objetivo de reducir principalmente costos variables mediante la automatización de ciertos procesos, y el *Just in Time* implica una disminución del volumen de ocupación de acuerdo a la demanda. Hay que aclarar que en este modelo los ajustes en el nivel de empleo dentro de la producción flexible los llevan a cabo los proveedores de las grandes empresas. Es decir, las medianas y grandes empresas garantizaban el empleo a sus trabajadores

[17] El primer teléfono móvil comercial lo lanzó Motorola en 1984. Antes de eso, AT&T tuvo avances en telefonía móvil, pero requería una gran cantidad de componentes y el espacio de una maleta.

[18] Mecanización y automatización, en: https://coggle.it/diagram/YkGp-yaOf2Zq9YZU/t/4-3-mecanizaci%C3%B3n-y-automatizaci%C3%B3n, consultado el 15 de julio del 2022

[19] En el análisis de la gran industria, Marx dijo que al reemplazar máquinas por otras más eficientes se alcanzaba la misma masa de bienes producidos con menos tiempo de trabajo, es decir, con menos volumen de mano de obra.

polivalentes, y el ajuste cuando la demanda caía residía en los proveedores de estas medianas y grandes empresas.

La industria que lideró la automatización fue la automotriz, y a través de la robótica este proceso se perfecciona en Estados Unidos y después en Japón. Un ejemplo notable fue General Motors que tenía 4000 robots en sus plantas en 1989 y pretendía aumentarlos al doble para finales de los noventa. Otros países avanzaron en sus propios procesos de automatización como Volkswagen en Alemania, o Nissan y Honda en Japón; además de que los procesos comenzaron a extenderse a otros sectores, como la aeronáutica.

Retomando a Khan (1989), los primeros robots de la industria automotriz tenían que programarse manualmente. Eran "ciegos" y "tontos", sin poder distinguir entre objetos y sólo tenían un conjunto de movimientos determinados. Con su avance se fueron empleando en actividades como soldadura y pintura. Para finales de la década de 1980 se empleaban en el montaje: montaban baterías, motores y arreglaban ruedas, utilizando "pinzas" especializadas para cada tarea. Sin embargo, para finales del siglo XX:

> "Los robots podían distinguir objetos utilizando una variedad de sensores; están programados por computadoras y realizan el conjunto de movimientos que se ajustan a un objeto. Por lo tanto, son capaces de realizar muchas tareas que las máquinas anteriores no podían hacer. Los robots ahora pueden manejar el almacenamiento de componentes, transportar estos componentes desde el área de almacenamiento para su ensamblaje y ensamblar varias piezas en el orden requerido.
>
> En la industria del automóvil, los nuevos robots permitieron lo que se denomina 'fabricación flexible'. Este concepto significa que se pueden ensamblar diferentes modelos de automóviles al mismo tiempo sin reequipamiento de la maquinaria robótica, algo que no se podía hacer antes. El volumen de producción de cada modelo también se puede regular de acuerdo con las indicaciones del mercado, aumentando la producción de modelos cuyas ventas son dinámicas y disminuyendo la tasa de producción de aquellos que se venden lentamente, ahorrando así costos de inventario tanto para los fabricantes como para los distribuidores. La fabricación flexible ha sido posible gracias a la versatilidad de los últimos robots que pueden distinguir entre varios modelos de automóviles y sus diversos componentes" (Khan; pág. 119).[20]

Dichas tecnologías permitieron que las industrias, que habían agotado el potencial de la mecanización, comenzaran a optar por la automatización robotizada como alternativa para la reducción de costos, lo que a su vez se veía como un impulso al incremento de la productividad.

Existieron razones económicas para alentar primero la mecanización (que requiere las capacidades de la mano de obra) y después seguir con la automatización (donde se trata de disminuir la intervención humana). La automatización de un proceso productivo, incluso en ciertos eslabones, era costoso y no prometía resultados. Según el sitio Slashdot (2019),[21] entre 1980 y 1985 General Motors gastó $45 mil millones de dólares en inversión de capital confiando que su competitividad residía en sustituir trabajadores por tecnología en el ensamblaje "siempre que fuera posible"; a pesar de eso la participación de la

[20] Traducción propia

[21] Slashdot (2019). En https://tech.slashdot.org/story/19/01/05/0248207/what-happened-when-automation-came-to-general-motors

compañía en el mercado mundial sólo incrementó un punto porcentual al 22%. Por el contrario, Honda comenzó una automatización escalonada en las áreas de revestimiento y pintura en los sesenta, y avanzó gradualmente hasta perfeccionar el proceso a finales de los ochenta sin abandonar la calidad de la fuerza de trabajo (Honda, s.f.). Procesos similares se dieron en Nissan y Toyota (ambas japonesas).[22]

Estos primeros esfuerzos por automatizar la base productiva a finales del siglo XX sólo podían implementarse en las grandes compañías, ya que la maquinaria era costosa y realizaban tareas altamente específicas. Por esta razón se confió en que la competitividad estaba en la mano de obra. Sin embargo, el desarrollo tecnológico hizo la tecnología más accesible: más gente capacitada en estas áreas, el desarrollo de software hacía más fácil programar robots y, según Tilley (2017), el precio de la robótica industrial disminuyó a la mitad desde 1990 mientras la mano de obra se encareció para 2015.[23] Esto hace que la automatización mediante la robótica sea no sólo posible sino rentable, ahora no sólo en la industria automotriz y no sólo en las grandes empresas, sino que se comienza a extender a las pequeñas y medianas, constatando que la innovación rentabiliza la inversión.[24]

2.2 Los avances de la industria: el paradigma 4.0

El concepto de Industria 4.0 surge en Alemania a comienzos del 2011 de un grupo multidisciplinario de especialistas convocados por el gobierno para diseñar un programa para aumentar productividad y competitividad de la manufactura. En 2013, Acatech[25] publica un documento llamado *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*, cuyas directrices, al pasar por diversas presentaciones, llegaron a ser el eje central del *Plan Estratégico de Alta Tecnología 2020* de Alemania.[26] También para 2020, todos los países avanzados emergentes importantes tenían una política industrial basada en la implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 (Kumar y Suhaib; pág. 44-45).

Deloitte (2014) define el término *industria 4.0* como "una etapa de desarrollo adicional en la organización y gestión de todo el proceso de la cadena de valor involucrado en la industria manufacturera". Kumar y Suhaib (2020) la definen como:

> "Es un término genérico utilizado para sistemas de fabricación, servicios y procesos comerciales altamente complejos y automatizados donde los dispositivos son conscientes de sí mismos, se comunican entre ellos y con los humanos, y se accede a ellos de forma remota; además pueden tomar decisiones al instante de acuerdo con la situación, la experiencia previa y datos disponibles en red y nube, a través del uso de la inteligencia artificial" (pág. 45).[27]

Las investigaciones pioneras sobre estos temas concuerdan que la mejor manera de caracterizar a la Industria 4.0 es a través de las principales tecnologías que la respaldan.

[22] Nissan (2020). En https://global.nissanstories.com/en/releases/story-200212

[23] Tilley, Jonathan (2017). En: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/automation-robotics-and-the-factory-of-the-future

[24] Ver Schumpeter, Kalecki y Robinson en el capítulo 1.

[25] Academia Nacional de Ciencias e Ingeniería de Alemania

[26] Disponible en: https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/hts_broschuere_engl_bf_1.pdf

[27] Traducción propia

La **Tabla 2.1** resume las tecnologías pilares de este nuevo paradigma de acuerdo con tres diferentes investigaciones.

Tabla 2.1

Tecnologías pilares de la Industria 4.0		
Mohd Shailendra Kumar & Mohammad Asjad Suhaib	Rafael Contreras Reyes & Juan Carlos Durán de la Cruz	i-SCOOP
Realidad aumentada	Realidad aumentada	Realidad aumentada
Big data y analytics	Big Data	Big data y analytics
Colaboración robótica / Robotic systems	Robótica	Robótica avanzada
Manufactura aditiva	Impresora 3D	Manufactura aditiva
Simulación y prototipo	Simulación	Simulación
Computación en la nube	Computación en la nube	Computación en la nube
Internet of things	Internet of things	Internet of things
	Sistema de integracion	Integración horizontal y vertical
Ciberseguridad	Ciberseguridad	Ciberseguridad
Inteligencia Artificial (IA)	Inteligencia Artificial (IA)	
Sistemas Ciber-físicos (CPS)		
Sensores Inteligentes e identificación por Radiofrecuencia		

Fuente: elaboración propia con base en Kumar y Suhaib (2019), Contreras y Durán de la Cruz (2019), e i-SCOOP

Por lo que se ve en la **Tabla 2.1**, se añaden u omiten algunas tecnologías dentro de la cuarta revolución según la fuente, por lo que no hay una correspondencia completa debido a que algunas se derivan directamente de otras; por ejemplo, la computación en la nube y la ciberseguridad van de la mano, al igual que la colaboración robótica y los sistemas de integración. En realidad, su clasificación no importa mucho, ya que requiere la integración de todas las tecnologías y su aplicación en los procesos productivos.

Para entender mejor la visión de conjunto se describen estas tecnologías. Estas definiciones son un esfuerzo hecho por Rafael Contreras y Juan Carlos Durán (2019).

Inteligencia Artificial (IA):

Es el desarrollo de algoritmos que les permite a las computadoras procesar una gran capacidad de datos y tareas a una velocidad inusual, logrando además el aprendizaje automático, es decir, que sean capaces de ejecutar tareas sin que sean anteriormente programadas a través del reconocimiento de patrones.

Internet de las cosas / Internet of Things (IoT):

Se trata de la interconexión entre máquinas, personas, productos y procesos productivos, “facilitando la toma de decisiones en base a la información que la tecnología recoge de su entorno. Utiliza nuevos sensores y actuadores que, en combinación con el análisis de big data y de computación en la nube, permite máquinas autónomas y sistemas inteligentes. IoT es una tecnología clave para que la industria manufacturera avance hacia la fabricación de productos inteligentes (incorporando servicios sobre los productos), genere una relación

más estrecha con los consumidores finales y capte información sobre el desempeño y el uso de sus productos, incluso cuando estén en posesión del cliente" (pág. 8).

Manufactura aditiva:

Esta es una tecnología que permite producir piezas de distintos materiales con un diseño previo directamente desde un diseño virtual, introduciendo el componente de servicio y software a la manufactura. La forma más común de la manufactura aditiva es la impresión 3D, cuya ventaja de producción de piezas y objetos en pequeños lotes o con especificidades únicas reduce las horas de trabajo y el costo de reconfigurar la línea de montaje, lo que impacta positivamente la productividad, tiene el potencial de reconfigurar el comercio y las cadenas globales de valor.

Big Data:

La integración de las tecnologías enfocadas a la producción es capaz de generar una enorme cantidad de datos (en términos de volumen) que deben ser procesados a una gran velocidad. Big data se refiere a todas las herramientas, mecanismos y sistemas que permiten la manipulación y la gestión de estos datos para ser reportados e interpretados por cada una de las máquinas involucradas en el sistema de producción, por lo que su entendimiento y análisis permiten tomar decisiones en tiempo real sobre los estándares del producto, los procesos en toda la cadena y sobre el mercado.

Computación en la nube:

Se trata de una tecnología capaz de ofrecer almacenamiento, acceso y uso de recursos informáticos en línea de manera flexible con muy bajo esfuerzo administrativo. Esta es una tecnología clave si se buscan aplicaciones industriales con elevados requerimientos de almacenamiento informático.

Simulaciones virtuales:

Permite ajustar y representar virtualmente el funcionamiento conjunto de máquinas y procesos en tiempo real antes de ser puestos en marcha, lo que ayuda a prevenir averías, ahorrar tiempo y evaluar el resultado final en un entorno controlado. Es decir, permite reducir los costos asociados al proceso de aprendizaje (de "prueba y error") mediante una representación virtual para el diseño de nuevos productos, o bien probar distintas configuraciones en las operaciones de la planta productiva.

Ciberseguridad:

De la mano con todo el contenido informático con el que se pronostica disponer, debido a la importancia que se le planea dar a los entornos virtuales y digitales, que serán el pilar del sistema productivo de la Industria 4.0, se obliga a desarrollar mecanismos de ciberseguridad en los entornos industriales con el fin de detectar, anticipar y neutralizar amenazas sobre los sistemas de información de las empresas.

Realidad aumentada (AR):

Microsoft la define como "una versión mejorada e interactiva de un entorno del mundo real que se logra a través de elementos visuales digitales, sonidos y otros estímulos sensoriales mediante tecnología holográfica. AR incorpora tres características: una combinación de

mundos digitales y físicos, interacciones realizadas en tiempo real, e identificación 3D precisa de objetos virtuales y reales".[28]

Una tecnología igualmente vital para este nuevo paradigma que no se menciona en la **Tabla 2.1** es la Red 5G. Ésta es 20 veces más rápida que la Red 4G, mejora la eficiencia, la flexibilidad y reduce la latencia de los servicios inalámbricos,[29] lo que permite un mayor procesamiento de datos a mayor velocidad, y posibilitaría el funcionamiento conjunto del resto de las tecnologías en la industria.

A partir de esta breve exposición podemos decir que la Industria 4.0 no es una tecnológica específica, sino más bien un paradigma que integra desarrollos de diversas áreas enfocados a los sistemas de producción y consumo; todas son innovaciones del sector digital, informático y de telecomunicaciones. Lo ideal es que estos adelantos funcionen conjuntamente, pero como no existe un esquema homogéneo para todas las industrias, su implementación puede variar entre países, sectores y entre empresas de la misma rama.

En algunas industrias las tecnologías tienen una implementación muy precaria, como en la agricultura y ganadería,[30] pero en otras ya está muy avanzada, como el caso de la robótica, industria automotriz, aeronáutica e incluso en industrias menos intensivas en capital como la textil. Aunque la visión de que se revolucione toda la industria aún está lejos de ser vista, el carácter de la industria 4.0 es, citando a Kumar y Suhaib, inevitable.

Tampoco está claro el rumbo que tomarán estas tecnologías, su efecto sobre la productividad o la manera específica en que éstas se integren; pero las tendencias muestran que se trata de un proceso intenso de automatización, donde se busca transitar a un sistema industrial de máquinas operadas por la robótica y la inteligencia artificial, integrado a su vez en un sistema alimentado por datos en tiempo real. Pero eso sólo en la industria. La automatización industrial era el propósito del esquema de la 4.0, pues respondía a la necesidad de la industria alemana de reanimarse y recuperar su competitividad después del 2008; luego fue asimilado en el resto de los países maduros de Europa. Más aún, el actual desarrollo tecnológico ha conseguido conjugar la tecnología digital y la IA, que permiten automatizar y optimizar procesos y actividades incluso fuera del ámbito industrial, como se ve ahora en el sector de los servicios, expandiendo el alcance de estas tecnologías.

Los efectos no son previsibles con certeza. La opinión de los economistas está divida: algunos consideran que el impacto en la productividad ya fue absorbido por la economía y quienes creen que pronto habrá grandes aumentos en la productividad y el crecimiento (Schwab, 2016; pág. 40-41). Algo similar ocurre con el empleo. La preocupación en este aspecto, según Schwab (2016), tiene que ver con la sustitución de la mano de obra, y esto tiene dos elementos: la destrucción de empleos por la automatización,

[28]Microsoft (s.f.). En: https://dynamics.microsoft.com/en-us/mixed-reality/guides/what-is-augmented-reality-ar/

[29] La latencia es el retraso en la comunicación de la red. Muestra el tiempo que tardan los datos en transferirse a través de la red. Una latencia baja significa que el tiempo de respuesta es rápido.

[30] También depende del país: por ejemplo, Japón produjo la primera granja automatizada para el cultivo de hortalizas en 2017; consultar: Ranchal, Juan (2016). En https://www.muycomputer.com/2016/02/05/granja-robotica/

y la creación de nuevos bienes y servicios que crean nuevos empleos y/o ramas industriales. Según un estudio realizado en Oxford por Frey y Osborne (2013), al evaluar 702 profesiones, cuantificaron que alrededor del 47% de los empleos en Estados Unidos están en riesgo de ser automatizados. Además "la tendencia es hacia una mayor polarización en el mercado laboral. El empleo crecerá en puestos de trabajo cognitivos y creativos de altos ingresos y en ocupaciones manuales de bajos ingresos,[31] pero disminuirá para los empleos rutinarios y repetitivos de ingresos medios" (Schwab; pág. 49).[32]

Mas allá del empleo y productividad, el centro del debate radica en si estas innovaciones son debidamente llamadas una revolución tecnológica, pues se ha argumentado que dichas tecnologías son sólo una intensificación de la revolución anterior (la 3ra revolución), por lo que no se puede esperar un incremento acelerado de la productividad ni un auge económico similar a las anteriores.

En realidad, ninguna de las tecnologías de la industria 4.0 puede considerarse completamente como una revolución industrial, a excepción de la impresión 3D. El resto de las tecnologías no cambia de forma radical la manera de hacer las cosas, ya que muchas de éstas se derivan directamente de la segunda revolución industrial. Por ejemplo, la mecanización y automatización de los procesos, en conjunto con el desarrollo de la robótica, ya se comenzaba a combinar en la industria automotriz y aeronáutica en los setenta; y términos como *Big data* fueron acuñados a finales del siglo pasado para referirse al uso de datos por parte de las grandes empresas tecnológicas estadounidenses (con sede en Silicon Valley).[33]

Aunado a esto, existe otro aspecto esencial que causa escepticismo sobre el impacto de estas nuevas tecnologías. Como se dijo en el capítulo anterior, las revoluciones tecnológicas son un ramillete de innovaciones estrechamente relacionadas que se materializan en nuevos productos, procesos de producción y una nueva infraestructura. Sin embargo, lo que le da el carácter de revolución, según Pérez (2002), es que la ruptura de esta innovación primero se siente en la industria o sector donde se desarrolló originalmente, y luego se difunde al resto de las actividades, rejuveneciéndolas y causando un incremento generalizado de la producción. No obstante, ya desde la tercera revolución industrial comenzaron a aparecer los primeros impedimentos para la propagación del paradigma. Rivera Ríos, Lujano y García (2018) afirman que la tercera revolución industrial no tuvo un efecto masivo en la economía en su conjunto. La debilidad de este paradigma no se debe a un agotamiento tecnológico, ellos se refieren a:

> "Una precaria sustentación sociopolítica e institucional en el país hegemónico. Lo anterior significa que los monopolios digitales estadounidenses apoyados en la peculiar institucionalidad de ese país concentran los beneficios económicos, provocando efectos generales de exclusión y marginación social" (pág. 1).

Al concentrar los avances tecnológicos en industrias específicas y grandes empresas tecnológicas, el incremento de la productividad no se traduce en un movimiento general y

[31] Como las ocupaciones relacionadas a la salud mental, analistas de sistema de cómputo, altos ejecutivos, gerentes de ventas, psicólogos, médicos y cirujanos, y otros.

[32] Como vendedores telefónicos, mensajería, transporte, almacenaje y en puestos de manufactura.

[33] El término *Big Data* fue acuñado por Erik Larson en 1989, en los comienzos de la tercera revolución industrial, en un artículo sobre cómo el marketing hace uso de los datos de los clientes.

causa un prematuro estancamiento en el crecimiento económico. Esto es una consecuencia del ambiente económico-institucional en el que estas empresas crecen, pues erigen una gran cantidad de barreras a la entrada y no permiten la difusión de las nuevas tecnologías al resto de la economía.

Lo que se tratara de comprobar en esta tesis es que el precario crecimiento económico no es sólo un fruto del marco institucional, sino de las recientes innovaciones industriales: la creciente automatización de las cadenas productivas tiene el objetivo de reducir los costos -variables e incluso fijos- y, por ende, afectan negativamente la distribución del ingreso y el crecimiento económico. Desde otro punto de vista, si este paradigma se aplicara de manera generalizada en el sistema económico, la conclusión en términos generales implicaría también una marginación social de manera exclusiva sin tener que considerar los efectos en la esfera institucional. En otras palabras, el efecto general sería la sustitución de trabajo por capital, que deja a una gran parte de los trabajadores excluidos del sistema económico, causando los problemas de realización del producto, sin considerar las implicaciones socioeconómicas que esto acarrea.

Capítulo III: La sustitución del trabajo y sus efectos macroeconómicos

La producción se lleva a cabo mediante la combinación de los factores tierra (recursos naturales), capital (para simplificar se entenderá como toda aquella maquinaria y equipo usada para producir bienes y servicios) y trabajo (mano de obra). Cada proceso de producción tiene una combinación determinada de la cantidad de factores para un nivel dado de producto. En este sentido, una innovación tecnológica se da cuando un proceso productivo se realiza con una nueva combinación de factores.

Cuando se habla de la sustitución del trabajo se refiere a que, en presencia de un cambio tecnológico, una cantidad de trabajo es reemplazada en sus funciones por el capital con el objetivo de obtener una mejor posición en el mercado a través de menores costos medios de producción que a su vez permiten una mayor escala productiva. Algunas causas y efectos fueron expuestos en el Capítulo 1. En este capítulo se busca mostrar este proceso mediante la evidencia estadística para seis países de la OCDE: Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, Francia, Japón y Corea del Sur.

3.1 Tendencias macroeconómicas generales

La economía mundial tuvo un periodo de crecimiento durante la década de los noventa y dos mil, a pesar de las convulsiones del 2001 por la burbuja de las *dotcom* y la burbuja hipotecaria del 2008 en Estados Unidos, que afectaron al resto del mundo. Durante este periodo, la tecnología de la tercera revolución industrial logró consolidar grandes empresas que a la fecha son las más importantes a nivel mundial: Apple, Google, Microsoft, Facebook, son algunos de los ejemplos más representativos que empujaron a la economía desde el sector digital.

Sin embargo, la revolución tecnológica fue más allá y permeó otros sectores de la economía: el sector automotriz comenzó la aplicación intensiva de la robótica a finales del siglo pasado, las finanzas se trasladaron a un ambiente digital, se dio el boom de las industrias eléctrico-electrónicas con alto valor agregado, el desarrollo de mercados centrados en las computadoras personales y los celulares, y con ello la proliferación de las telecomunicaciones. A su vez, muchos trabajos y profesiones hicieron uso de estas nuevas ventajas digitales y permitieron incrementar su productividad general.[34] Como resultado, el crecimiento económico mundial de finales del siglo XX se vio impulsado por las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (TIC).

Actualmente, este impulso parece estar llegando a su fin. Después de la crisis del 2008 la economía mundial presenta una fase de estancamiento en la mayoría de los países. Por ejemplo, en nuestra selección de países de la OCDE (Estados Unidos, Alemania, Reino Unido, Francia, Japón y Corea del Sur), el crecimiento promedio del PIB durante 1995 – 2000 fue de 3.8%, y descendió a 2% para 2009-2018. Cabe señalar el caso de Estados

[34] Los trabajos de oficina, administración y poco después en la educación. También en profesiones como la contabilidad, finanzas, mercadotecnia, medicina, diseño gráfico, etc.

Unidos y Corea del Sur en donde la desaceleración fue más profunda, pues pasaron de 4.7% a 1.7%, y de 4.7% a 2.2%, respectivamente como se muestra en el **Cuadro 3.1**.

Cuadro 3.1

Crecimiento medio del PIB (%)

Periodo	Alemania	Estados Unidos	Reino Unido	Francia	Japón	Corea	Promedio	Mundo
1995-2000 (1)	2.7	4.2	3.6	4	3.4	4.7	3.8	3.7
2001-2008 (2)	3	2.1	2.1	2.3	4.4	4.1	3.0	4.2
2009-2018 (3)	2.3	1.7	1.6	2.4	1.7	2.2	2.0	3.4

Crecimiento medio de la inversión (%)

Periodo							
1995-2000 (1)	2.1	6.1	3.2	5.3	2	1.6	3.4
2001-2008 (2)	1.4	1.2	1.9	3.5	3	3.8	2.5
2009-2018 (3)	2.7	1.5	1.7	2.1	1.7	2	2.0

ΔPIB (%)/Δinversión (%)

periodo							
1995-2000	1.3	0.7	1.1	0.8	1.7	2.9	1.4
2001-2008	2.1	1.8	1.1	0.7	1.5	1.1	1.4
2009-2018	0.9	1.1	0.9	1.1	1.0	1.1	1.0

Fuente: elaboración propia con base en datos de la OCDE y FMI para datos del mundo
Variables deflactadas con el índice de precios implícitos

La desaceleración en el crecimiento está marcada por una pérdida de dinamismo en dos de los componentes del PIB: la inversión y el comercio exterior. La inversión (formación bruta de capital fijo) ha pasado de un crecimiento promedio de 3.4% durante 1995-2000 a 2% entre 2009-2018, en términos reales.

Estados Unidos y Alemania son los únicos países cuya tasa de crecimiento de la inversión no se redujo durante el periodo postcrisis (2009-2018). Entre 2001-2008, la tasa de crecimiento de la relación PIB a la Inversión del conjunto de los 6 países fue de 1.4 (es decir, que por cada unidad porcentual que incrementaba la inversión, el PIB lo hacía en 1.4%); y este indicador fue notablemente más alto en el caso de Alemania (con una ratio de 2.1), Estados Unidos (con 1.8) y Japón (de 1.5). En el periodo 2009-2018 se observa una disminución de esta ratio que en promedio fue de 1, lo que significó que el crecimiento de la inversión contribuyó menos a la dinámica del PIB, y en Alemania y Reino Unido estuvo por debajo de la unidad. Así, la inversión perdió dinamismo y a su contribución al crecimiento del PIB.

Uno de los principales efectos de la desaceleración de la inversión se encuentra en el bajo crecimiento de la producción industrial. Por ejemplo, la correlación de la inversión con respecto al índice de producción industrial (IPI) durante 1995-2008 fue de 0.91 en promedio. Y después de la crisis del 2007 este vínculo se debilitó, pues pasó a 0.78 (ver **Cuadro 3.2**).

Cuadro 3.2

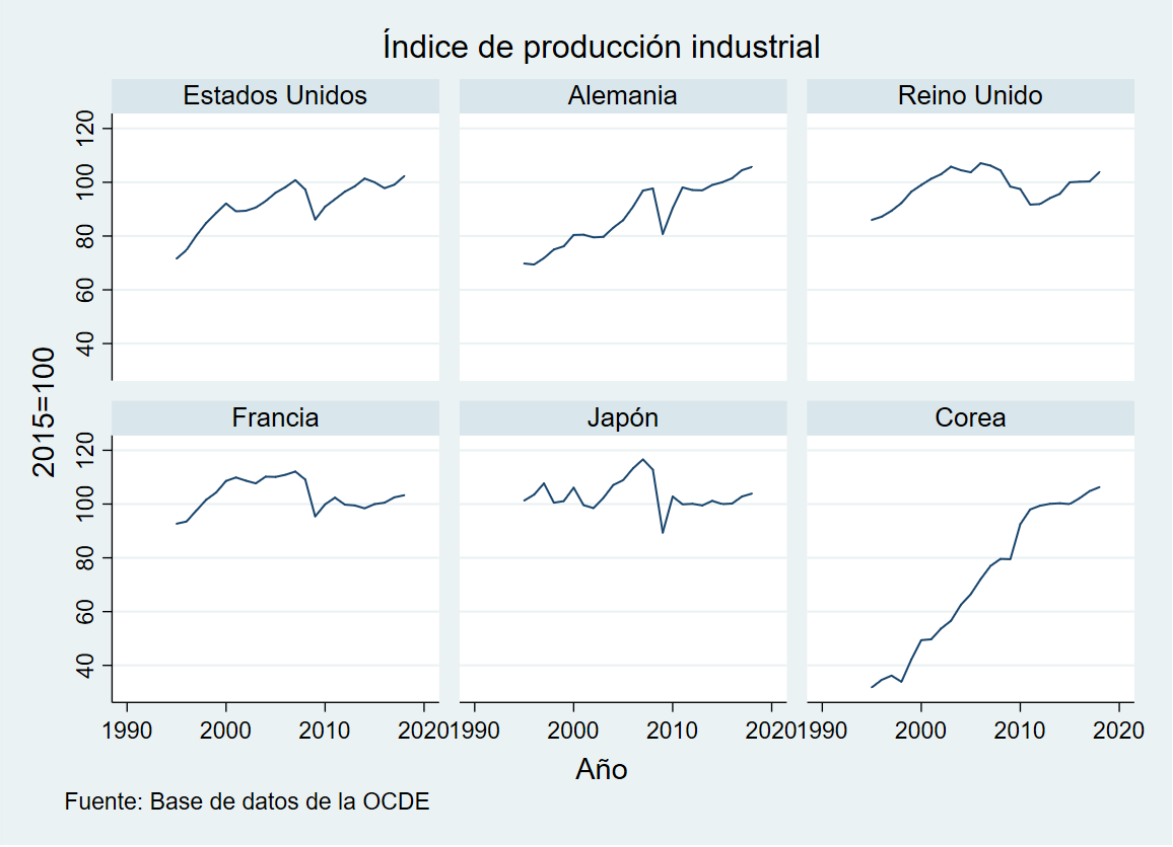
Correlación: índice de producción industrial (ipi) y FBKF*

Periodo	Estados Unidos	Alemania	Reino Unido	Francia	Japón	Corea	Promedio
1995-2008	0.99	0.85	0.95	0.90	0.87	0.93	0.92
2009-2018	0.88	0.95	0.77	0.76	0.59	0.74	0.78

Elaboración propia con base en datos de la OCDE
*FBKF deflactada con el índice de precios implícitos

A pesar de la tendencia positiva que mostró el IPI, a Estados Unidos, Alemania y Reino Unido les tomó 10 años regresar a los niveles pre-crisis, como se ve en el **Gráfico 3.3**. Francia y Japón, por el contrario, se encuentran en niveles menores al 2008 con un estancamiento de casi una década, mientras que Corea parece ser el único caso de crecimiento sostenido de la producción industrial, incluso después de la crisis del 2008.

Gráfico 3.3



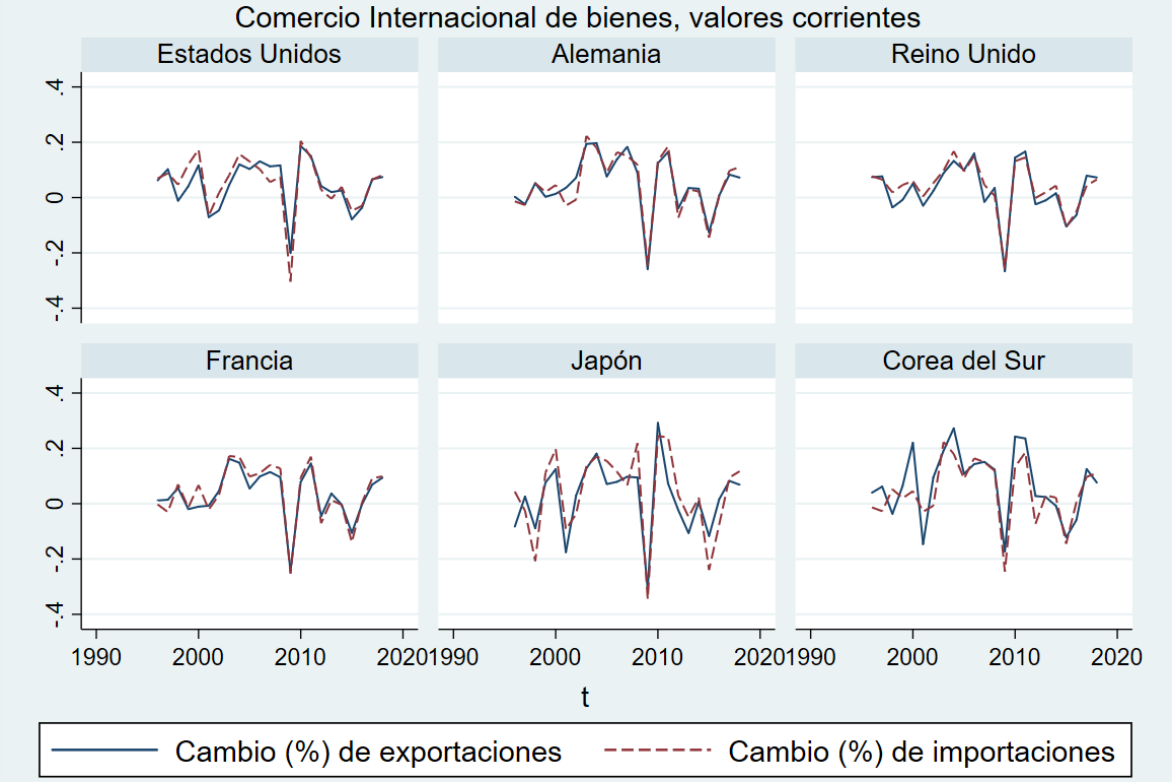
Fuente: Base de datos de la OCDE

Lo anterior muestra que los ritmos de acumulación disminuyeron en la esfera industrial, y repercute en el nivel de crecimiento económico, a pesar de que se destine una mayor acumulación en otros sectores, como los servicios, lo que se observa en el **Cuadro 3.2** con la caída en la correlación de la inversión y el sector industrial; a su vez, el **Cuadro 3.1** revela que el crecimiento de la inversión perdió su efecto sobre el crecimiento del PIB.

Hay que señalar que la producción de bienes e insumos (IPI) siguió el ciclo financiero, como se observa en el comercio internacional. Antes del 2000, Estados Unidos,

Japón y Corea tenían un comercio de bienes dinámico. Durante el estallido de la burbuja del 2001 fueron los más afectados, al ser países cuya industria era intensiva en el desarrollo de las TIC´s, incluida la industria coreana basada en la creación de componentes esenciales de computadoras. Luego de esta crisis, el comercio internacional tuvo un auge: del 2001 al 2007 las exportaciones crecieron 8.5% anual en promedio y las importaciones en 9.1%; durante 2008 - 2018 el crecimiento del comercio internacional disminuyó a un promedio de 1.9% en exportaciones y 1.7% en importaciones, con fuertes convulsiones en 2014 - 2015, que señalan el inicio de la normalización de la política monetaria en Estados Unidos (ver **Gráfico 3.4**).

Gráfico 3.4



Elaboración propia con base en datos de la OCDE

La producción industrial y el comercio son dos variables clave para dar cuenta sobre las tendencias generales del ciclo económico, como menciona Mandel (1980): uno refleja la producción de bienes, el otro su realización en el mercado, y ambos influyen en la acumulación de capital. Como hemos visto a lo largo de este apartado, existe evidencia de que en el periodo post-crisis la economía se encontraba en una fase de estancamiento del ciclo largo. Dicho ciclo largo inició después de la crisis de los setenta y la reconfiguración del nuevo modelo de desarrollo exportador a nivel mundial. El PIB, IPI y el comercio de bienes y la inversión se desaceleraron después de 2008.

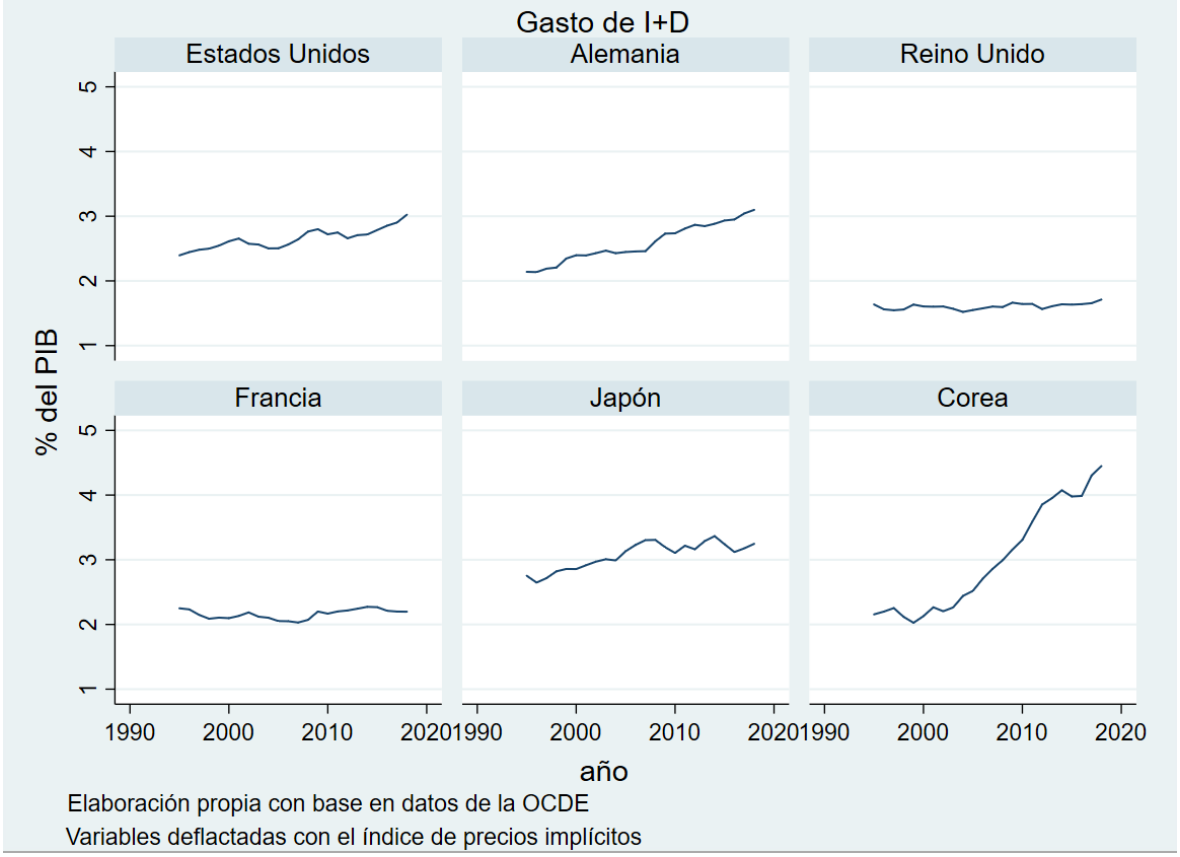
La explicación del estancamiento se da, en parte, por el mecanismo "automático" que describe Kalecki (1956),[35] donde señala que el incremento del capital físico tiene un efecto negativo sobre la inversión, ya que el incremento del capital fijo supone una tasa de ganancia cada vez menor, que ocasiona que la inversión se desacelere. Si a esto le sumamos el hecho de que el volumen de ahorro capitalista no se transforma completamente en inversión (demanda capitalista), es claro que la tasa descienda. Por tanto, una de las primeras razones del estancamiento se encuentra en una baja de la rentabilidad de la inversión, que se buscará constatar más adelante.

Pero este razonamiento tampoco es llano. Desde Schumpeter (1934) se ha recalcado que el cambio tecnológico es el principal factor de la acumulación de capital a largo plazo. Las invenciones, que sustentan el progreso técnico, abren las puertas a nuevos proyectos de inversión o hacen que los proyectos que antes no eran rentables, ahora lo sean. Cada nuevo invento es una oportunidad de inversión, por lo que un proceso continuo de invención representa un aumento de las ganancias, de la inversión y del crecimiento económico.

Si algo ha caracterizado a estas últimas tres décadas a partir de los noventa es la incesante búsqueda de innovaciones rentables dentro de la misma trayectoria tecnológica. La Investigación y Desarrollo (I+D) y la emisión de patentes son variables proxy del estado de la tecnología y el cambio tecnológico; variables presentes y elementales en las teorías del desarrollo económico. El gasto en I+D muestran un crecimiento promedio anual de 5.8% de 1995 a 2008, y 5.1% de 2009 a 2018. Si se muestra como porcentaje del PIB, en Estados Unidos, Alemania, Japón creció, y es notable en Corea que alcanza niveles del 4% en 2018, como se ve en el **Gráfico 3.5**. Mientras que Reino Unido y Francia se mantienen entre el 1.5% y poco más del 2%, respectivamente.

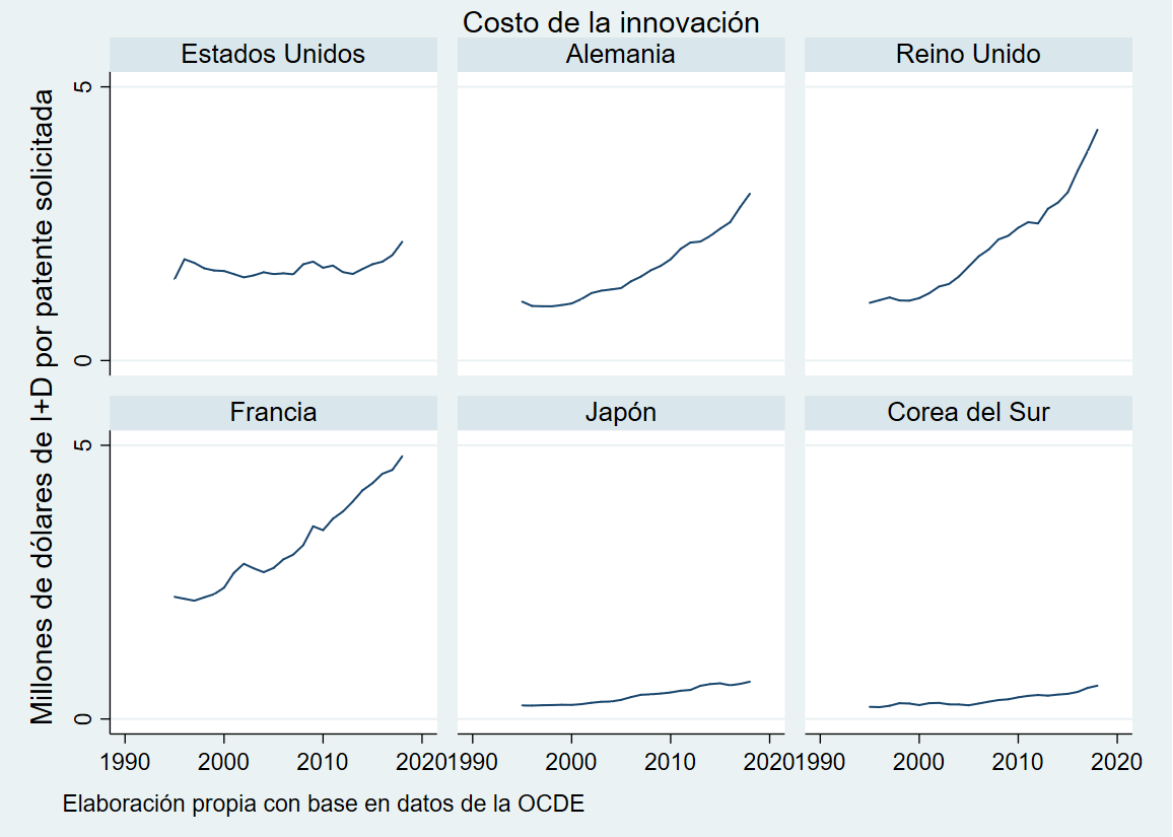
[35] Revisar el modelo dinámico de Kalecki, Capítulo 1

Gráfico 3.5



Aunque el gasto en I+D ha sido, en esta última década, el mayor registrado en la historia, las innovaciones están perdiendo su dinámica. El **Gráfico 3.6** muestra el gasto de I+D entre cada patente solicitada. Los países europeos gastaban en promedio $1.4 millones de dólares por cada patente en 1995, gasto que se incrementó a $3.9 millones por patente en 2018. En Estados Unidos el gasto pasó de $1.4 a $2.1 millones en el mismo periodo; y en Japón y Corea creció de $0.23 a $0.64 millones de dólares.

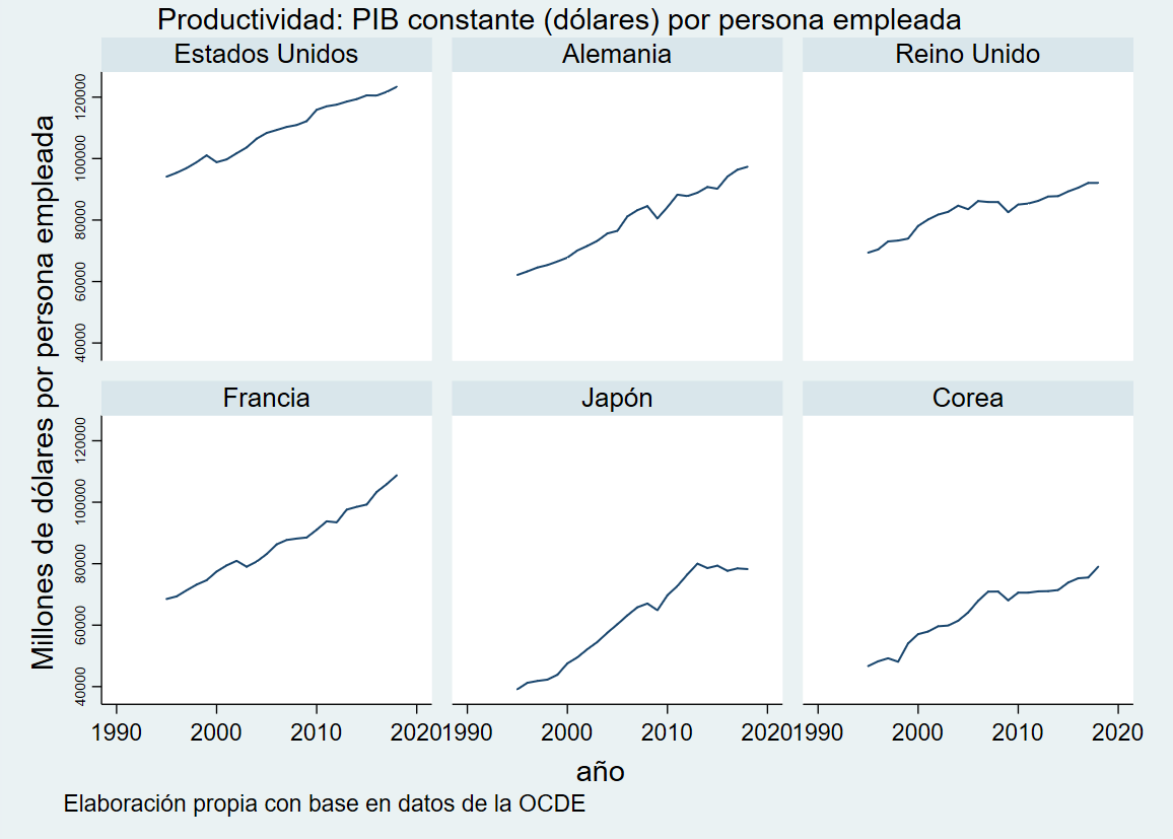
Gráfico 3.6



Esto significa que el costo de la innovación aumentó, sobre todo en los países europeos, pues al mismo tiempo que aumenta el gasto en I+D, el número de patentes se estanca e incluso disminuye como es el caso de Reino Unido. Japón también muestra este comportamiento, a pesar de ser uno de los países en la frontera tecnológica (principalmente en la robótica). Aun así, el aumento del costo de la innovación en los países asiáticos es menor que en los países europeos.

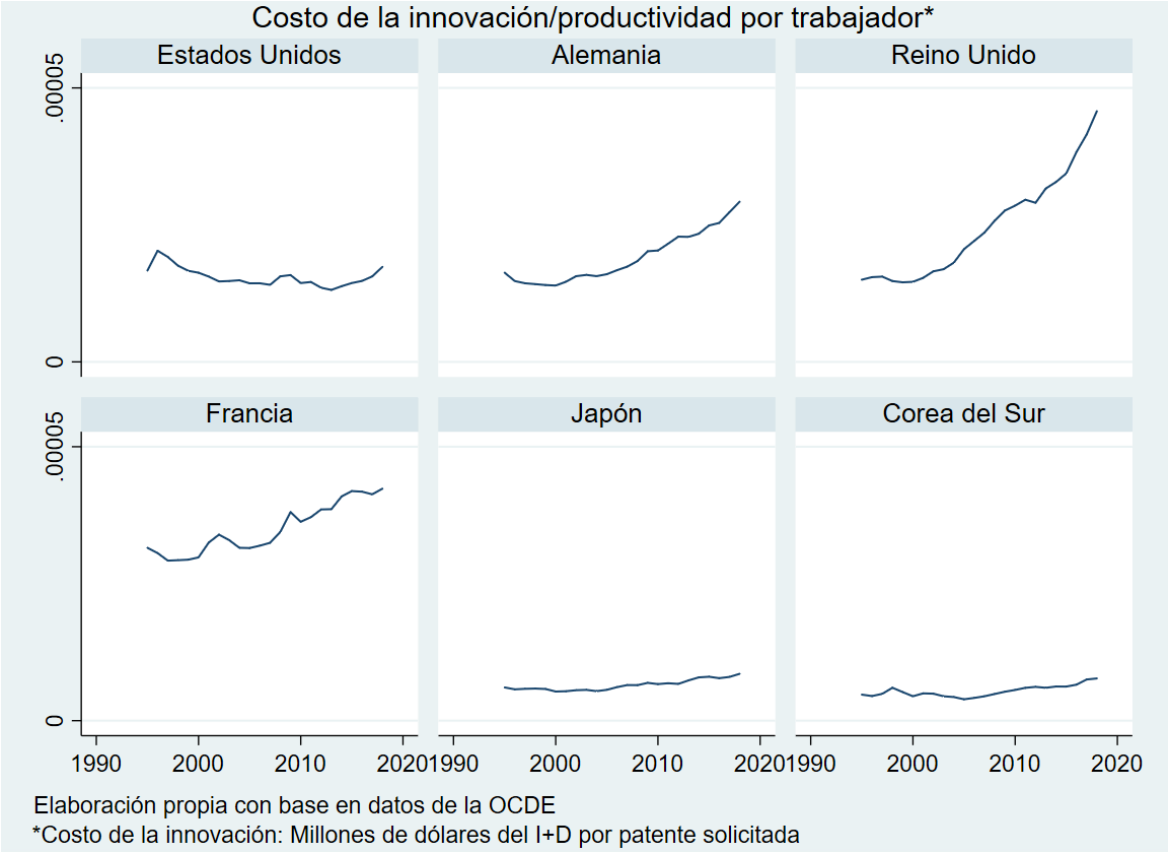
Desde el punto de vista teórico, las bondades del cambio técnico radican en que incrementa la productividad de las economías. Durante el periodo considerado, los países muestran incrementos en la productividad del trabajo. Por ejemplo, para Japón, este indicador se duplicó de 1995 al 2018, y en todos los países la tendencia es creciente a pesar de la desaceleración económica como se aprecia en el **Gráfico 3.7**.

Gráfico 3.7



La productividad por trabajador incrementó como resultado de la innovación tecnológica. Sin embargo, en la Gráfica 3.8 se observa que este aumento es cada vez más costoso. Entre 1995 y 2007 el crecimiento medio anual de la productividad laboral en estos países fue de 2.5%, y el crecimiento del costo por patente fue de 3.5%; en el siguiente periodo el costo de la innovación fue de 10% anual, mientras que el crecimiento de productividad fue sólo de 1.2% (ver **Cuadro 3.9**). Esto significa que no sólo es más caro innovar, sino que cada vez contribuye menos.

Gráfico 3.8



Cuadro 3.9

Periodo	Crecimiento medio del costo por unidad de patente	Crecimiento medio de la productividad por trabajador
1995-2007	3.58%	2.66%
2008-2018	10.04%	1.23%

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la OCDE

Aun así, aunque existe evidencia de que los efectos de la innovación están perdiendo dinamismo, esto no explica totalmente por qué el PIB, la inversión y el comercio se estancan. Por ejemplo, los países asiáticos no siguieron completamente esta tendencia, aunque también han perdido dinamismo. Existen otros factores trascendentales que ayudan a entender la desaceleración y que son derivados de la propia dinámica del modelo exportador y la estructuración de las cadenas de producción, que durante este periodo dislocaron la oferta y demanda globales. El cambio técnico aumentó la productividad, pero su efecto sobre la inversión disminuyó a lo largo del periodo. Lo que la evidencia muestra es el agotamiento del paradigma tecnológico que surgió con la tercera revolución industrial de la década de los noventa. Dosi (1988) y Pérez (2004) ofrecen una explicación que enmarca dicho periodo en función de las tendencias de innovación de largo plazo.[36]

[36] Ver Capítulo 1

En su exposición existen cuatro fases para cada paradigma tecnológico que podemos usar para contextualizar el periodo de estudio:

1) La fase de *Irrupción*, que ocurrió en Estados Unidos en la década de los setenta, con un estancamiento económico debido a la obsolescencia del sistema fordista, hasta que las nuevas oportunidades del mercado permitieron establecer el nuevo modelo de desarrollo con un naciente paradigma tecnológico. La gran innovación tecnológica fue la creación del microchip de Intel que permitió la llegada de la era digital y potenció las telecomunicaciones;

2) El *Frenesí,* se considera el final de la fase de instalación de la nueva tecnología y corresponde a la década de 1990,[37] donde se da un amplio proceso de exploración de todas las posibilidades de la nueva revolución tecnológica (se dio la combinación de la informática, microelectrónica y telecomunicaciones). Una vez consolidado el paradigma, los recursos de la economía comienzan a enfocarse en el desarrollo de las tecnologías y en las ramas industriales que pueden ser "rejuvenecidas" con un nuevo potencial de crecimiento (a esto se le llama trayectoria tecnológica), lo que significa una difusión de la tecnología dentro y fuera de Estados Unidos. En esta década la inversión creció en promedio 3.4% anualmente, y la I+D y las solicitudes de patentes lo hacían a 4.3% y 3.3%, respectivamente. También se dio un boom en los medios de comunicación y medios visuales, lo que transformó industrias como el marketing y se consolidaron los mercados de telecomunicaciones con la popularización del internet. Los celulares despegaron con la segunda generación de las comunicaciones (2G) que lograron alcanzar la calidad comercial que el mercado demandaba;[38]

3) La fase de *Sinergia,* se refiere a su efecto sobre la producción y el empleo. Se ubica durante 2001 al 2007, donde la inversión crecía al 2.5% en promedio y el crecimiento de la inversión sobre el PIB era de 1.4 (lo que se corresponde a la alta correlación de la inversión con la producción industrial y el auge del comercio internacional). La telemática se integró en la industria y se consolidaron grandes empresas con modelos de negocios capaces de sostenerlas, como el caso del Google, Facebook y Twitter.[39] Se implementa en las industrias un buen número de innovaciones como la banda ancha, la conexión a internet inalámbrica y el *cloud computing* como forma de almacenamiento de datos y archivos en la red. Algunos de estas innovaciones también se ofrecen en los mercados junto con otros productos como el sistema operativo Windows 2000, con una gran cantidad de servicios de red, las pantallas planas, el ipod e iphone y la industria de videojuegos;[40]

4) El periodo de *Madurez* a partir del 2008 estuvo caracterizado por una saturación de los mercados pertenecientes a las industrias representativas de estas tecnologías. Hemos visto que la producción industrial y el comercio perdieron dinamismo, pues muestran menores niveles de crecimiento del PIB e inversión; además, el costo de la innovación incrementó, lo que sugiere que la trayectoria tecnológica de la informática y las

[37] Así lo considera Pérez (2004)

[38] Consultar: Unidiversidad (2019). En https://www.unidiversidad.com.ar/historia-y-evolucion-de-los-telefonos-celulares-con-cual-empezaste

[39] El modelo de marketing dirigido

[40] Diarioti (2010). En https://diarioti.com/once-tecnologias-y-productos-que-marcaron-la-decada-2000-2009/25533; y Bayona, Nohora (s.f.). En: https://www.sutori.com/es/historia/avances-tecnologicos-destacados-del-2000-al-2000-2015--PT3kGsqPZ9iFZmcsyn21VQ8R

telecomunicaciones han alcanzado su potencial, por lo que las innovaciones incrementales subsiguientes cada vez tendrán menos impacto en el crecimiento de la producción hasta que, inevitablemente, se llegue a la fase final, como lo sugiere el **Cuadro 3.9**.

De esta manera se explica, en términos generales, la dinámica del sistema económico actual: se ha alcanzado el potencial del paradigma y la economía está en la búsqueda de una innovación que establezca otra trayectoria tecnológica para reactivarse. La industria 4.0 surge aquí como una trayectoria alternativa de innovación, aunque las tecnologías base que la constituyen, así como sus aplicaciones, se encuentran todavía en fases iniciales. No obstante, esta nueva concepción de la industria también trae consigo el desplazamiento gradual de la fuerza de trabajo de la economía, que da lugar a una serie de transformaciones socioeconómicas que se desarrollan más adelante.

3.2 La sustitución de trabajo por capital contemporánea

La industria 4.0 se caracteriza por una automatización intensa de los procesos productivos. Sin embargo, esto no es totalmente nuevo: los modelos productivos de la "reducción permanente de costes" y el modelo de "producción flexible"[41] de la segunda mitad del siglo XX, se basaban en la periódica sustitución de trabajo por un creciente uso del capital a través de la automatización; el primero con la finalidad de reducir permanentemente los costos (incluyendo el costo de mano de obra), y el segundo con la intención de ajustar los costos a los cambios en la demanda. La industria automotriz es un gran ejemplo de cómo la robótica ha permitido la automatización de la cadena productiva. Khan (1987) menciona que la robótica de esta industria de finales de los noventa era capaz de ensamblar diferentes modelos de automóviles sin necesidad de reequipamiento de las maquinas. Estos avances se implementaron en la aeronáutica y la industria de la computación que ahora tienen procesos similares de automatización.

En la esfera productiva, la automatización no es una invención de la Industria 4.0, sino que deviene de un largo proceso industrial desde la segunda mitad del siglo XIX. Comenzó a extenderse en la década de 1990. Lo que sigue en las nuevas tendencias industriales es su intensificación, a través de la interconexión de estas tecnologías para que los procesos automáticos y robotizados, conectados en tiempo real y sincronizados con la IA, comiencen a realizar tareas más complejas en la industria y los servicios. Un ejemplo es la tienda de Amazon Go en Seattle, que cuenta con un modelo de servicio al por menor totalmente automatizado mediante inteligencia Artificial y el desarrollo de las telecomunicaciones (red 5G).[42]

A su vez, se ha propuesto que la tecnología puede potenciar el consumo ya que implica un mejor uso y difusión de la información para los agentes y un mayor control de la demanda y conocimiento de las preferencias de los consumidores por parte de los productores. Esto implica una mejor capacidad de vincular la producción con la demanda. Schwab (2016) menciona que la industria 4.0 significa una creación sin precedente de

[41] Boyer R., Freyssenet M. (2003).

[42] *Amazon Go (s. f.),* En: https://www.esic.edu/rethink/comercial-y-ventas/que-es-amazon-go-%20y-como-funciona

cosas, es decir, se refiere a un ritmo de producción que acompañe simultáneamente a la demanda. Esto se explica de dos formas:

1) Las necesidades de los consumidores son más específicas que hace algunas décadas, por lo que la idea de adquirir bienes específicos en un periodo de tiempo relativamente corto ya no es tan distante. Algunas empresas de la rama tecnológica son capaces de adquirir insumos y refacciones específicas de sus equipos sin necesidad de esperar el siguiente lote de producción. Un ejemplo es la empresa alemana *Bigrep,* que trabaja con impresoras 3D. Éstas proveen de refacciones existentes o de nuevo diseño, y de diferentes materiales para diferentes industrias sin tener que incurrir en costos significativamente altos. De esta forma la producción está más enfocada al cliente.[43]
2) La producción debe ser capaz de reaccionar al cambio de preferencias en el menor tiempo posible. Es ahí donde la integración de las tecnologías de la industria 4.0 toman forma para coordinar la producción a estos cambio rápidos en el mercado, desde la impresión 3D, el Internet de las cosas e IA, hasta la ciberseguridad y el procesamiento de *Big Data*.

En uno de sus libros, Rosenberg (1982)[44] discute respecto a la dirección del progreso tecnológico. En él se plantea que la innovación se trata de la mejora y/o creación de un nuevo producto o servicio, o de la reducción de costos (pág. 14-15). Tomemos, por ejemplo, la impresión 3D. Empresas Alemanas dieron a conocer la primera motocicleta fabricada por medio de impresoras 3D.[45] BMW utiliza la misma tecnología para fabricar algunos componentes para sus autos como refacciones. Entre las ventajas, el proceso de producción se acortó de semanas a sólo unas horas usando materiales metálicos, además de una reducción de casi el 90% en el costo. Este ahorro no es sólo por la reducción de mano de obra, sino ahorro de materiales, transporte, la energía empleada en la maquinaria y el uso de una cantidad menor de maquinaria en términos de volumen, pues las impresoras pueden sustituir los bienes de capital del proceso original. Sin embargo, el procedimiento aun no es tan avanzado como para sustituir toda la maquinaria de una empresa, o al menos una parte significativa de ella. Por ende, aunque en principio la Industria 4.0 puede reducir el número de máquinas como de mano de obra, su sofisticación implicará una mayor inversión inicial y tendrá un sesgo en el ahorro de mano de obra.

La automatización más intensa de los procesos productivos significa que hay menos gente empleada en términos relativos. Marx menciona que cuando se introduce una maquinaria más eficiente, se incrementa la productividad el trabajo, es decir, que para una producción igual se requeriría menos mano de obra, pero una mayor proporción de capital. Si este razonamiento se lleva a nivel sistémico, el resultado es que disminuye la suma total del trabajo empleado (1867, pág. 539). Marx concluyó que, a pesar de que la fuerza de trabajo era menor en términos relativos, o sea, en términos del capital, en términos absolutos aumenta el volumen de trabajo debido a la apertura de nuevas industrias.

[43] DW (2021). En https://youtu.be/QqrAUAXC2pQ

[44] Rosenberg, Nathan (1982).

[45] Pasión por las motos (2021). En https://www.youtube.com/watch?v=sKz6obdF2JQ&ab_channel=Pasi%C3%B3nporlasMotos

En todos los países de esta muestra se comprueba este argumento. En la industria manufacturera el número de trabajadores descendió en promedio 0.93% anualmente durante 1995 y 2018. Cabe destacar que en el caso de Estados Unidos y Japón se presentó la mayor caída, pues el número de empleos disminuyó en 1.6 y 2.9 millones, respectivamente. Pero, si consideramos el empleo en la totalidad de la actividad económica (en términos absolutos), éste aumentó levemente. Estados Unidos tuvo un incremento del empleo total de 1.2% anual, al pasar de 118 a 157 millones de personas empleadas; le sigue Corea con 1.1%, que pasó de 20 a 26 millones de personas; Reino Unido con 0.9%, de 25 a 32 millones; en Francia y Alemania el empleo total creció 0.7% anual, donde pasaron de 25 y 23 a 32 y 28 millones de personas, respectivamente; y finalmente, Japón tuvo un incremento de 0.05% anual al pasar de 67 a 68 millones de personas empleadas. Mientras en la manufactura el número de trabajadores disminuyó, el sector servicios absorbió la fuerza de trabajo, pues en este sector se crearon las nuevas cadenas de valor impulsadas por la tercera revolución industrial, como la informática, la programación, la ingeniería computacional y las telecomunicaciones. Hay que señalar que el crecimiento del sector servicios es notable en Estados Unidos.

Sin embargo, la relación que había entre el crecimiento económico y el empleo se ha deteriorado en la mayoría de las economías. Antes del 2007 la correlación entre las tasas de crecimiento de ambas variables promediaba 0.68, y para la mayoría de los países era una correlación alta con excepción de Japón. Después del 2008 la correlación promedio bajó, siendo el caso más extremo el de Francia donde el empleo se desligó casi completamente del crecimiento económico. También es destacable el caso de Japón que ya tenía niveles bajos, y Corea del Sur cuya correlación se redujo a la mitad. Estados Unidos y Reino Unido vieron crecer esta correlación después del 2007 (**Cuadro 3.10**)

Cuadro 3.10

Correlación entre crecimiento del PIB y del empleo

Periodo	Estados Unidos	Alemania	Reino Unido	Francia	Japón	Corea	Promedio
1995-2008	0.75	0.62	0.71	0.90	0.27	0.84	0.68
2008-2018	0.87	0.40	0.83	0.22	0.11	0.46	0.48

Elaboración propia con base en datos de la OCDE

Cuadro 3.11

Tasa de crecimiento medio del PIB (1)

Periodo	Estados Unidos	Alemania	Reino Unido	Francia	Japón	Corea	Promedio
1995-2007	3.20%	2.91%	2.85%	3.16%	4.25%	4.68%	3.51%
2008-2018	1.59%	2.41%	1.54%	2.34%	1.78%	2.16%	1.97%

Tasa de crecimiento medio del Empleo (2)

Periodo	Estados Unidos	Alemania	Reino Unido	Francia	Japón	Corea	Promedio
1995-2007	1.30%	0.50%	1.18%	0.92%	-0.04%	1.19%	0.84%
2008-2018	0.59%	0.89%	0.90%	0.50%	0.35%	1.18%	0.73%

Empleo/PIB = (2)/(1)

Periodo	Estados Unidos	Alemania	Reino Unido	Francia	Japón	Corea	Promedio
1995-2007	0.41	0.17	0.41	0.29	-0.01	0.26	0.26
2008-2018	0.37	0.37	0.59	0.21	0.20	0.54	0.38

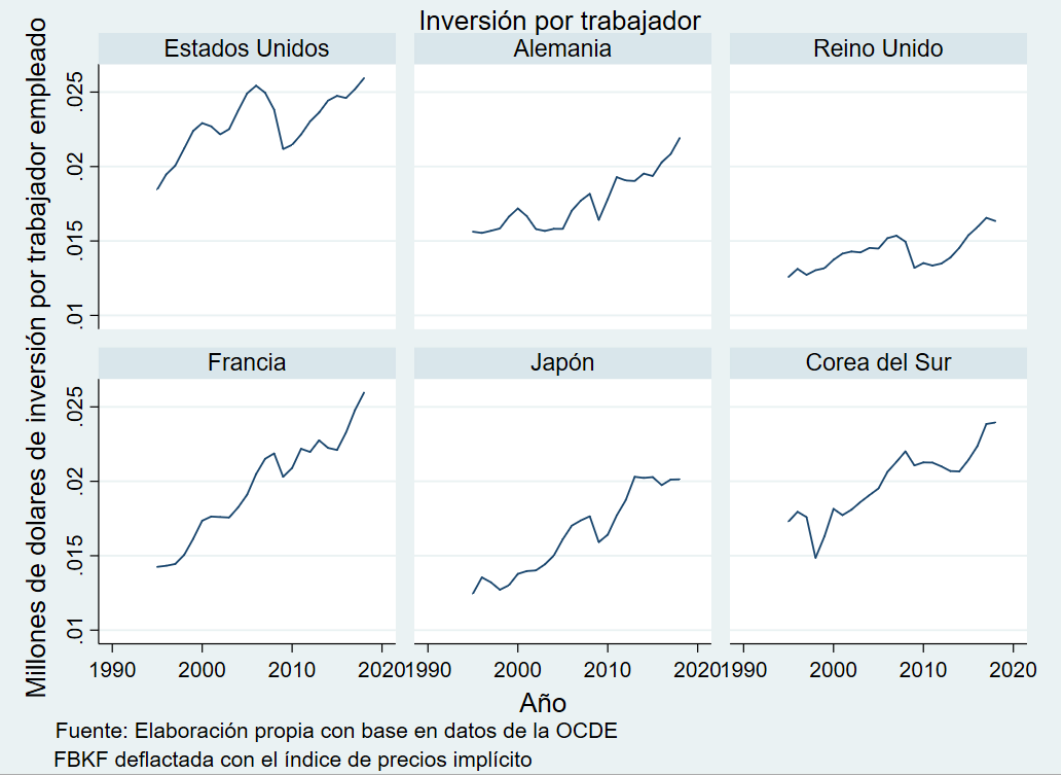
Fuente: Elaboración propia con base en datos de la OCDE

Durante las crisis económicas se desploma el nivel de empleo. No obstante, el crecimiento económico no parece traer consigo grandes incrementos en el volumen de empleo. Para Mandel (1980) la explicación es que en las crisis los empresarios tienen motivos para acelerar la implementación de la nueva tecnología en sus procesos productivos y reestructurar la organización laboral.

El **Cuadro 3.11** explica más detalladamente esta conexión en dos periodos, antes y después de la crisis del 2008. El crecimiento promedio de las economías durante el primer periodo fue de 3.5%, mientras que la del empleo fue de 0.84%, y en el caso de Japón esta relación es extrema, pues su crecimiento fue uno de los más altos, aunque fue el único país con descenso en el volumen de empleo.

En general, las tasas de crecimiento del empleo son más bajas que las del PIB. La relación entre ambas variables (**Cuadro 3.11**) es menor a la unidad, lo que significa que el incremento de 1% en el PIB incide en menos de 1% en el incremento en el empleo. Sin embargo, en el caso de Estados Unidos y Francia en el periodo post-crisis se presenta una disminución de este indicador, que implica una menor necesidad de fuerza de trabajo por unidad del PIB. En el resto de los países la tendencia es distinta, pues este indicador aumenta, es decir, se requiere más fuerza de trabajo por unidad de PIB.

Gráfico 3.12



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la OCDE
FBKF deflactada con el índice de precios implícito

Cuadro 3.13

Correlación entre crecimiento de la inversión y el empleo

Periodo	Estados Unidos	Alemania	Reino Unido	Francia	Japón	Corea	Promedio
1995-2008	0.81	0.77	0.36	0.78	0.44	0.92	0.68
2008-2018	0.94	0.38	0.92	0.39	0.42	0.39	0.57

Elaboración propia con base en datos de la OCDE

La inversión lleva consigo la creación de empleo, ya que significaba una fuente de demanda para los productores de bienes de capital, y la creación de puestos de trabajo para operar la nueva maquinaria instalada en la producción de bienes de consumo. Sin embargo, el empleo comparado con la inversión tiene el mismo comportamiento que con el PIB. Desde 1995, los incrementos de la inversión bruta comienzan a desligarse de la creación de empleo. La inversión bruta por trabajador tiene tendencia positiva, aunque con altibajos (**Gráfico 3.12**), en otras palabras, cada vez hay más inversión por persona empleada. Esto se refleja también en la perdida de correlación entre la inversión y el empleo (**Cuadro 3.13**). Estados Unidos y Reino Unido son los únicos países donde la correlación aumentó. El caso de Japón es curioso ya que mantiene estable su correlación entre el crecimiento de la inversión y el empleo, pero disminuye la relación que tiene el empleo con el PIB. En el resto de los países ha bajado la correlación notablemente, sobre todo el Corea del Sur.

Una de las razones de la baja proporción de empleo por unidad de inversión puede explicarse a través del cambio técnico. Como se dijo arriba, la automatización de procesos en ramas de la manufactura se profundizó, y recientemente también en los servicios. El esquema de la Industria 4.0 no parece cambiar esta dinámica; de hecho, por sus características es probable que la profundice. Desde su primera mención en 2011 muchas empresas aceleran y otras adoptan esquemas de automatización.[46] Gajdzik, et al (2020) incluso señalan que muchas grandes compañías empezaron a establecer este nuevo paradigma desde 2010 (pág. 1-3), cuando aún no tenía nombre.

A este respecto, Swan (2017) cita diversos estudios que hacen referencia a la acumulación sin un impacto equivalente en el empleo; por ejemplo, el estudio de Brynjolfsson y McAfee en 2011 señala que el desempleo en Estados Unidos aumentó 5.7% entre 2007 y 2009, simultáneamente con el incremento de la automatización; y otro estudio de McKinsey en 2011 encuentra que el 44% de las empresas en Estados Unidos redujeron sus empleados en 2008 reemplazándolos con algunas funciones de automatización, mientras que las recuperaciones postcrisis se vuelven cada vez más "sin empleo" (pág. 22).[47]

Lo que las correlaciones entre el crecimiento del empleo con el PIB y la inversión parecen mostrar, es que el progreso tecnológico tiende a incrementar el desempleo. Esto depende de dos cosas: 1) se trata de una cuestión de costos de la mano de obra respecto a la inversión en capital, y 2) del margen de automatización disponible, ya que hay procesos que sólo pueden ser automatizables hasta cierto punto o sólo en actividades específicas, y hay diferencias entre los grados de automatización entre una rama y otra, por ejemplo, la textil y la automotriz, e incluso entre procesos de la misma rama.[48]

Esto es suficiente para no dejar de lado las preocupaciones sobre el empleo. En un artículo, LaGrandeur y Hughes mencionan una serie estudios sobre el empleo y la automatización del trabajo. Entre ellos destacan: un estudio conocido de Frey y Osborne en 2013 concluye que 43% de los empleos en Estados Unidos están en peligro de desaparecer por su carácter repetitivo o de fácil dirección, a raíz de las nuevas tecnologías, y otros estudios similares del 2014 tienen conclusiones similares para el caso del Reino Unido y toda Europa. Además, las investigaciones de la empresa *Gartner* (dedicada a la investigación tecnológica) predijeron en que un tercio del empleo en Estados Unidos será remplazado por el software, robots y maquinaria inteligente para 2025 (2017; pág. 3-6). No obstante, estos estudios no consideran los empleos que se pueden crear.

[46] Por ejemplo, la automatización industrial: la instalación anual de robots industriales aumentó 12% del 2011 al 2018, canalizados a la industria eléctrica, electrónica y la automotriz, principalmente, según International Federation of Robotics.

[47] McKinsey encontró que el 65% de una muestra de 2,000 empresas estadounidenses encuestadas realizó una reestructuración operacional de 2008-2011. Entre los principales cambios están: incremento de la carga de trabajo a los empleados existentes, automatizar algunas tareas, mayor uso de esquemas de tiempo parcial y o trabajo temporal. También se encontró que la principal razón por la que no se generaban nuevos empleos era que los salarios, impuestos y el costo de la atención medica eran altos.

[48] Por ejemplo, para la fabricación de un auto McLaren MP4 12C intervienen una gran cantidad de personal en el diseño, hojalatería, electrónica, ensamblado y hasta pintura en una gran gama de actividades que parecen mucho más complicado de automatizar que la fabricación del Toyota Corolla, el auto más vendido del mundo, y donde su producción es mucho más automatizada.

Cuando se trata de innovación tecnológica se mencionan dos procesos teóricamente ligados: por un lado, se destruyen empleos por las nuevas capacidades del capital, y por otro se demanda más trabajo dedicado a la creación y/o seguimiento de estos bienes de capital. En otras palabras, es similar a cuando se sustituyó al caballo por el automóvil: profesiones como la del herrero, se volvieron obsoletas, mientras se creaban empleos en la industria automotriz. Esta es la razón de que, aunque exista sustitución de trabajo en la manufactura, hay crecimiento del empleo en el conjunto de la economía, y además es uno de los argumentos por el que el nuevo desarrollo tecnológico se aliente con tanta necesidad. No obstante, también existen preocupaciones de que el actual proceso de creación y destrucción de empleos difiere de las versiones pasadas.

La industria 4.0 no es una tecnología en particular, sino una constelación de innovaciones en el área de la informática y las telecomunicaciones. Retomando la **Tabla 2.1**, las innovaciones como la impresión 3D, la robótica avanzada, los sensores inteligentes, los sistemas de integración, la simulación, la creación de prototipos computarizados y el internet de las cosas (IoT), tienen aplicaciones directas en la manufactura; y aunque la motivación principal es la reducción de costos, la consecuencia de implementarlas fue la reducción del empleo en la manufactura (ver Gráfica 1 del Anexo).

La creación de nuevas cadenas de valor, que aparecen cuando surge una nueva revolución industrial, permean en el sector industrial y de servicios, pues incorpora el diseño, las especificaciones, las características de la maquinaria y el equipo necesario para su funcionamiento. Por ello, es de esperarse que el empleo que se genera en un futuro se concentre en los servicios relacionados a la ingeniería, informática y telecomunicaciones, siendo características de empleos altamente calificados.

Como se mencionó, existe una diferencia entre mecanización y automatización. Una vez que la mecanización productiva llegó a su límite con el agotamiento del modelo fordista, la automatización se convirtió en la base de las innovaciones en los procesos. La primera fase de automatización se dio en la industria a partir de la década de los 70, por ejemplo, cuando en Japón se hicieron los intentos de robotizar una parte de las actividades de la producción de automóviles, donde varias de las etapas se realizaban de manera automática (Coriat, 1992). De hecho, el modelo Toyotista japones de los setenta se presentó como una alternativa al modelo fordista.[49]

Desde que se consolidó la ruta de la 4.0 en 2011, algunas de las tecnologías base ya comienzan a implementarse en la industria, y sus efectos sobre el empleo son notables, como son los casos de algunas industrias en Alemania, Japón y Corea del Sur. La implementación completa prevé una sustitución del empleo, mayor productividad y menores costos. Sin embargo, ha generado cierta preocupación de los países por mantener el ingreso de la población desplazada a través de la Renta Básica Universal.[50]

Hay que recordar que las primeras actividades donde se sustituye el trabajo vivo por capital son las actividades repetitivas y de baja calificación, como algunas actividades en burocracia, administración, ejecutivos telefónicos; pero la automatización se extiende más

[49] En Estados Unidos, General Motors fue una de las empresas que invirtieron grandes montos en automatizar el ensamblaje de un auto desde los sesenta, aunque sin éxito.

[50] Algunos países donde se ha establecido políticas de Renta Básica son Finlandia, Canadá, Alemania (proyecto piloto) y en el estado de Alaska (EE. UU.).

allá. LaGrandeur y Hughes (2017) mencionan la automatización en el periodismo, algunas actividades contables, agentes de bienes raíces e incluso el uso de *Algorithmic Trading* en la industria financiera.[51] Los autores concluyen que:

> "En términos de pura productividad, los humanos no pueden mantenerse al día con las computadoras y la robótica cada vez más avanzadas. E incluso cuando pueden, en igualdad de condiciones, las máquinas y sistemas digitales suelen ser más convenientes y baratos" (pág. 5).[52]

Este proceso donde se remplaza trabajo por capital puede ser entendido como una tendencia natural vista desde una perspectiva de largo plazo. La industrialización de la segunda mitad del siglo XX fue un proceso de mecanización donde se dotaba a cierto número de trabajadores con una o más máquinas que operaban. Cuando este modelo entra en crisis, con los avances de las TIC se vuelve redituable la reducción de la intervención humana y el costo de mano de obra. Además, la automatización se vuelve rentable al no tener que lidiar con cuestiones relativas a la fuerza de trabajo: el marco institucional, salarios mínimos, seguridad social, seguro médico, derechos, compensaciones, sindicalización y poder de negociación; todos estos aspectos, que al final representan costos, son ahorrados por las empresas al poder automatizar parte de sus actividades.

Esto es lo que implica la innovación tecnológica actualmente. "El trabajo en las fábricas abrió mientras en la agricultura declinaba, y después los trabajos de oficina y servicios crecieron mientras que en las fábricas declinaba" (LaGrandeur & Hughes, 2017). Siempre fueron los trabajos de baja calificación lo que se destruía y se creaba. Lo que es diferente en este paradigma es que el trabajo sujeto a ser automatizable corresponde a distintas calificaciones, desde baja calificación hasta trabajos de calificación media, y algunas actividades específicas de alta calificación.[53] De lo anterior, no se espera que el empleo, en términos absolutos, incremente significativamente en el futuro. Lo que se espera son incrementos en la productividad a la par de una disminución de los costos. Hay empleos que tienen más peligro de desaparecer y otros nuevos que pueden surgir ligados al desarrollo del paradigma. No obstante, la destrucción de empleo será mucho mayor que la creación de nuevos puestos de trabajo; y lo puestos que se generen requerirán altos niveles de calificación y habilidades de desarrollo de ingeniería (hardware) y de programación (software).

3.3. Los efectos de la automatización en el mercado de trabajo y la acumulación

El nuevo paradigma demandará mano de obra altamente calificada, pues las aplicaciones industriales de estas tecnologías sólo pueden ser manejadas por personas que posean altas habilidades técnicas y conocimiento científico aplicado, por ejemplo, de ingenieros

[51] Un ejemplo reciente es el caso de las ganancias de Goldman Sachs de $11 mil millones de dólares netos con 40,000 empleados en 2022, mientras que Citadel generó $16 mil millones con sólo 2,600 empleados.
[52] Traducción propia.
[53] Empleos de baja y media calificación son: la atención al cliente, ejecutivos de venta, capturistas de datos, por mencionar algunos. Actividades de alta calificación: análisis de datos financieros, y el uso de IA para diagnósticos médicos.

informáticos, computacionales, programadores, científicos de datos y demás profesiones altamente calificadas relacionadas a estos campos. También, las profesiones convencionales requerirán conocimiento en herramientas digitales para el análisis de datos y su aplicación, por ejemplo, el perfil de un matemático o economista ahora requiere del uso de herramientas computacionales y software de programación.

En un documento publicado por el Pacific Economic Cooperation Council (PECC) se menciona que ya existe una "pérdida anticipada de puestos de trabajo […] y cambios en la naturaleza del trabajo" a raíz de los cambios provocados por la industria 4.0. Según la encuesta del PECC realizada en 2018 en países de Asia-Pacífico, las economías están a la expectativa de que el volumen de empleo decline debido a la introducción de estas tecnologías, mientras el nivel de habilidades aumente y cambie la estructura de la fuerza de trabajo (PECC, 2018).

En esta misma encuesta se estima el impacto de las nuevas tecnologías por sectores: los empleos más propensos a desaparecer se encuentran principalmente en la manufactura, seguido por el transporte, almacenaje, minería, venta al mayoreo y agricultura,[54] mientras que entre los sectores con más capacidad de creación de empleos se encuentran los servicios profesionales, científicos y técnicos, las ciencias médicas, la información, comunicación y educación.

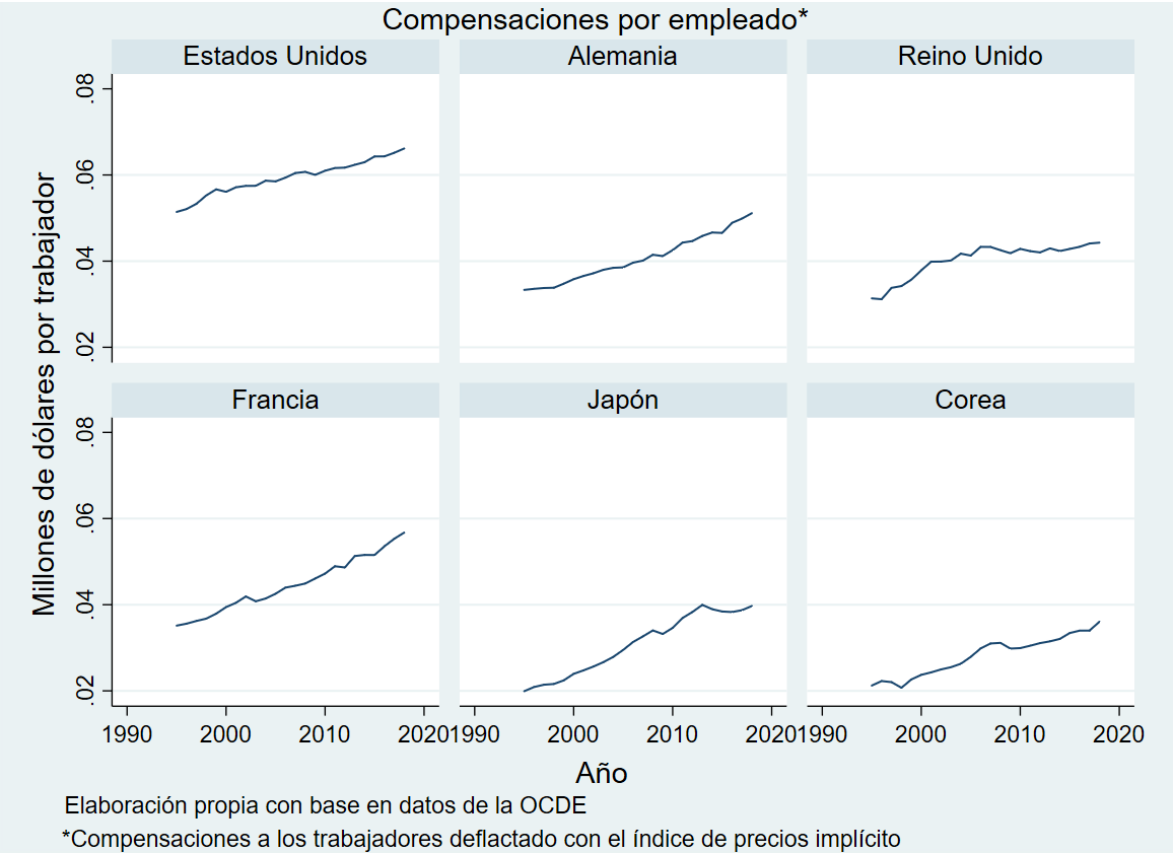
El que exista una destrucción de trabajos no calificados crea un excedente de mano de obra que genera presiones a la baja de los salarios. Sin embargo, el crecimiento de los sectores tecnológicos hará que la demanda de trabajadores calificados aumente. Un ejemplo es Alemania, cuyo modelo de tres hélices (el modelo formación de mano de obra alemán basado en educación-gobierno-empresas), tiene una escasez de aprendices que ocasionó que en 2022 el 42% de una encuesta de 15 mil empresas revelara que no alcanzaron a cubrir todos sus puestos de trabajo, es decir que carecen de trabajadores calificados.[55] Además, la integración de estas tecnologías también requiere una incorporación de trabajadores técnicos, ya que cuentan con una educación más focalizada a un campo de especialidad, con habilidades y conocimientos para realizar actividades más complejas, suelen tener más autonomía y capacidad de decisión.[56]

[54] En el sector minero se automatizan los equipos de perforación, pues éstos pueden ser controlados de forma remota y eliminan la necesidad de operadores humanos.

[55] Sullivan, Arthur (2022). En: https://www.dw.com/es/escasez-de-aprendices-se-suma-al-problema-de-mano-de-obra-en-alemania/a-62997477

[56] Técnicos en informática, en electrónica, en mecánica, en laboratorios o en el cuidado de la salud. Trabajan en una amplia variedad de entornos laborales, a menudo en una estrecha colaboración con profesionistas como ingenieros, médicos, científicos, etc.

Gráfico 3.14



Elaboración propia con base en datos de la OCDE

*Compensaciones a los trabajadores deflactado con el índice de precios implícito

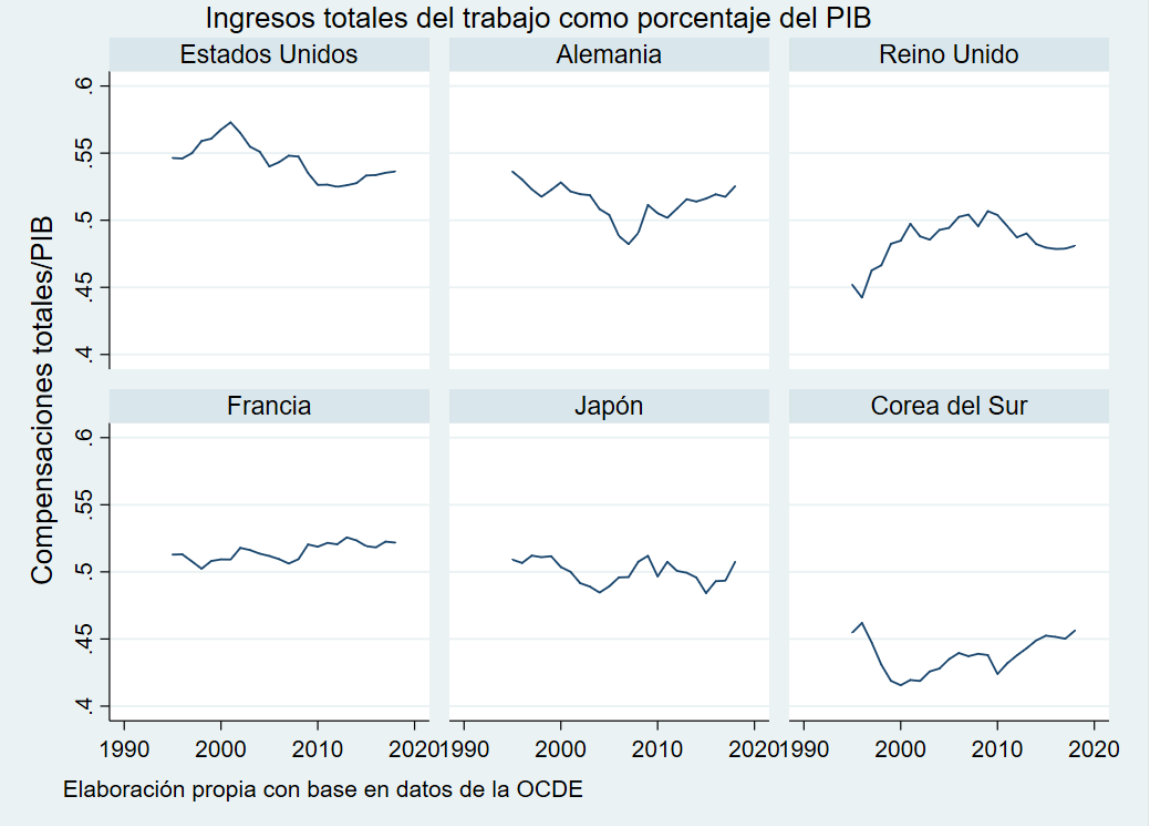
Estas razones explican por qué las remuneraciones (compensaciones) por empleado aumentaron, como se ven la **Gráfico 3.14**. El número de trabajadores en estas economías aumentó 0.7% anual en promedio, y las compensaciones totales lo hicieron en 2.8%. Hay menos gente empleada como producto de la introducción de las nuevas tecnologías, pero los trabajadores tienen, en general, remuneraciones más altas debido a la incorporación de mano de obra calificada. Cabe señalar que cada país tiene condiciones diferentes en el mercado laboral, por ejemplo, en Alemania o Japón, los trabajadores gozan de empleos vitalicios en tanto su labor se vuelve crucial dentro de la empresa por ser un trabajo calificado y polivalente (Coriat, 1991).

La incorporación de trabajadores calificados al mercado de trabajo significa, en última instancia, que aumenta la demanda; por el contrario, la pérdida de empleos es una demanda disminuida. Cuando se trata de la acumulación de capital es importante el tamaño del mercado que representa esa masa de gente empleada, ya que, como menciona Kalecki (1956), el que exista una gran población no significa que habrá un aumento de la acumulación de capital si no se cuenta con poder de compra.

Las compensaciones a los empleados son, teóricamente, los ingresos del factor trabajo. No revelan la totalidad del mercado al no considerar las ganancias de los dueños del capital, pero como proporción del PIB reflejan una medida aproximada del mercado que

representan los trabajadores. Este indicador no sólo es afectado por la innovación continua y la automatización; hay otros factores que la impactan, como el marco socio-institucional.

Gráfico 3.15



El comportamiento de las compensaciones totales como porcentaje el PIB es ambiguo: en Estados Unidos, Alemania, Reino Unido y Japón esta ratio tiene pendiente negativa; aunque en Alemania, después de su punto más bajo en 2007, cambió de tendencia. En Francia la tendencia es positiva. En Corea después del 2000 presentan una tendencia creciente. Como se dijo arriba, aunque hay relativamente menos gente empleada, en promedio tienen remuneraciones mayores; sin embargo, en general los ingresos del trabajo representan una menor proporción de la economía, es decir, el poder adquisitivo de la nueva mano de obra calificada no compensa la reducción de la demanda de los empleos no calificados perdidos.

En Alemania hay un abrupto cambio de tendencia después de 2008 debido a las medidas del gobierno para restructurar el mercado laboral, tales como el Sistema Dual de Formación Profesional y el paquete de medidas de seguridad social (en especial las prestaciones al desempleo), que apuntalaron la demanda interna para contrarrestar la caída de la externa, además de la reducción de la jornada laboral, aunque la ratio no alcanza los niveles de 1995. Cabe mencionar que en Corea hay una recuperación después de la caída en el 1996 que se prolonga hasta el 2000, sin embargo, dicho crecimiento hasta 2018 no alcanza los niveles de remuneraciones como porcentaje del PIB que se tenían en 1995. En Francia existe un marco legal robusto para los trabajadores, lo que ha hecho que los

ingresos del trabajo sean más resilientes que en otros países.[57] Japón, por su parte, tiene una tradición cultural de mantener empleos con carácter vitalicio, donde el empleado suele permanecer toda su vida laboral en la misma empresa donde se va formando. El salario considera la formación académica, los años trabajados y hasta la edad. Por ello, adicional a las demás regulaciones, las compensaciones se mantienen estables.[58]

La implantación completa del paquete tecnológico de la Industria 4.0 supondrá una sustitución profunda del trabajo simple por el complejo. Hay que señalar, sin embargo, que este último puede ser susceptible a ser convertido en un valor intangible o en derechos de propiedad del que la empresa se apropia (por ejemplo, a través de las patentes y marcas). Este comportamiento deviene del hecho de que la empresa no es sólo buscadora de ganancias, sino un almacén de conocimiento que le otorga ventajas competitivas.[59] Por ende, los empleos de alto valor agregado que se generan por la innovación, de igual forma tienden, según Mandel (1956), a ser proletarizados.

Un ejemplo es lo que sucede con gran parte de los empleos clasificados dentro del *Digital Labour.* Según la OIT (2022), *digital labour* es todo el empleo que hace uso, se beneficia o es posible hacerlo gracias a las TIC. Existen tres tipos: 1) los empleos que se crean directamente de las TIC, como los ingenieros de software o el desarrollo de sitios web; 2) aquellos empleos que son dependientes de las TIC, como trabajos independientes (en línea – *freelancers*),[60] empleo en plataformas (Uber, Didi, etc.) o el realizado en plataformas de comercio; y 3) aquellos empleos que son mejorados por las TIC, que usan estas tecnologías pero podrían realizarse sin ellas, como la contabilidad, gestión de oficinas, diseño gráfico, hostelería o la provisión de algunos servicios (OIT, 2022; p. 9).

Los trabajos pertenecientes a la economía digital dan paso a lo que se denomina "formas no tradicionales de empleo", que cambian la relación social entre empleados y empleadores. Estas nuevas formas contratan personal de forma externa (*outsourcing*), donde muchos de ellos no tienen un vínculo laboral reconocido por la empresa, trabajan a tiempo parcial o temporal, a distancia o realizan sólo tareas específicas. Los trabajadores contratados en estas modalidades:

> "Son más probables que experimenten sanciones en salarios, tienen menos oportunidades de recibir capacitaciones pagadas y mayor riesgo de transitar al desempleo. En general, el empleo digital es visto en ocasiones como una continuación de la tendencia de informalidad "(OIT, 2022; pág. 16).

Lo anterior significa que la tecnología ha generado nuevos puestos de trabajo, pero algunos en condiciones laborales adversas. Las recientes tendencias de la subcontratación, el *outsoursing,* los nómadas digitales y trabajo a distancia, permiten atraer una gran cantidad de gente calificada y emplearlos con arreglos desiguales: tienen menos

[57] La jornada laboral legal es de 35 horas semanales, con compensaciones para horas extra y trabajo nocturno regulado, semana laboral de 6 días máximo, además de prestaciones como vacaciones pagadas, atención médica y disposiciones de seguridad social.

[58] Sin embargo, esta tradición japonesa no satisface las necesidades de todos los empleadores y empleados y, según la OIT, el personal permanente va en descenso.

[59] Una ventaja competitiva es cualquier característica de una empresa que la diferencie de otras colocándola en una posición relativamente superior para competir.

[60] Algunos de estos trabajos son: creadores de contenido, analistas de datos, diseño, tutores educativos, reclutadores, etc.

prestaciones sociales, menor poder de negociación, muchos no tienen acceso a seguridad social e incluso algunos de ellos tienen que hacer uso de sus propias herramientas y recursos en el espacio de trabajo. Por ejemplo, el modelo de Uber donde cada "socio" trabaja con su propio auto; también los empleados que trabajan desde casa (home office) y tienen que pagar el uso de sus servicios de luz e internet que consumen en horas de trabajo. Todos estos son gastos son traspasados a los empleados, lo que aumentan las ganancias del capital, y tiene una incidencia en los ingresos del trabajo (**Gráfico 3.15**).

Se concluye, por ende, que cuando se remplaza el trabajo por capital, la demanda de mercado disminuye porque existen menores ingresos laborales a nivel macroeconómico. Aunque se creen nuevos empleos que requieren habilidades especializadas, esto no compensa la caída de la demanda, porque el sistema capitalista también tiende a pauperizar las condiciones laborales de estos trabajadores.

Esta dinámica va de la mano con la creciente desigualdad en la distribución del ingreso. Swan (2017) tiene varias referencias: un informe de la OCDE muestra que el 10% de la población de los países miembros tienen ingresos 9.6 veces mayores que el 10% más pobre; en países como Estados Unidos y Reino Unido las proporciones salariales en las corporaciones son de 300:1 entre el director ejecutivo y el trabajador peor pagado (pág. 24). Además, se estima que desde 2011 la clase media ha rondado el 50% de la población estadounidense, que se ha reducido constantemente desde un pico de 61% en 1971.[61]

El problema que estos fenómenos generan es, entonces, una deficiencia en la demanda. Para enfrentar este dilema en una economía cerrada, los capitalistas deberían compensar la caída de demanda agregada incrementando la inversión (Keynes, 1936). Sin embargo, lo que se ha vivido a partir de la década de los ochenta es una disminución del crecimiento del sector industrial y una terciarización de las actividades económicas, que absorbe una parte del empleo que antes se concentraba en el sector industrial, pero que tienen menos impacto en la demanda agregada. Los casos más notables son Alemania y Japón, en el resto se ha estancado y en el caso de Francia se ha observado un crecimiento moderado.[62]

Si consideramos que nos encontramos en una economía globalizada, hablamos de economías abiertas, existe otra opción para cubrir la demanda: el comercio internacional. Como al interior de las economías no existe un mercado capaz de seguir la oferta, en el mercado exterior se pueden seguir realizando las mercancías. Sin embargo, como se mostró en el **Gráfico 3.4** (el crecimiento del comercio exterior), después de 2008 el ritmo de crecimiento de las exportaciones e importaciones se desaceleró al crecer 1.8% en promedio anual de 2008-2018, mientras que durante 2001-2008 el ritmo de crecimiento fue de 8.8%, lo que es evidencia de una desaceleración de la demanda mundial.

Estas economías, que son los mercados con el poder adquisitivo más alto en el mundo, son el destino de gran parte de las exportaciones, y en particular el estadounidense es el más importante a nivel mundial. Si la demanda disminuye por los efectos que tuvo la crisis sobre el ingreso del trabajo, lleva consigo la desaceleración del comercio internacional, de la producción industrial, la inversión y el PIB. Además, cabe destacar que

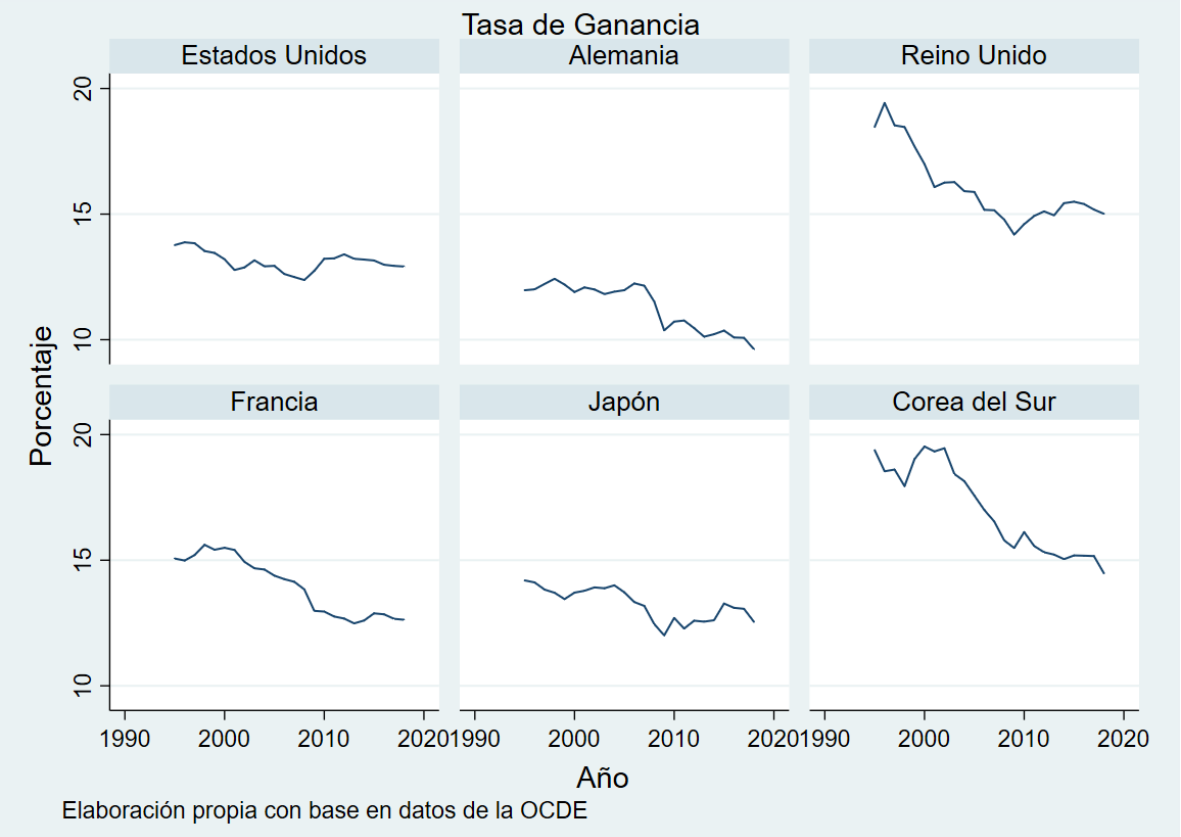
[61] America Retail (2023). En: https://www.america-retail.com/usa/ser-considerado-clase-media-de-ee-uu/
[62] Datos en el Anexo: **Gráfico 2**

en el resto de las economías desarrolladas y está presente la misma tendencia de los ingresos totales del trabajo respecto al PIB,[63] por lo que el comercio exterior dejó de ser una alternativa para compensar la demanda y continuar con la acumulación.

Cuando hay un excedente de mano de obra, existe una presión a la baja sobre los salarios. Para Kalecki (1956) esto significa que una parte de los salarios se desplazan hacia las ganancias del capital, lo que puede tener un efecto adverso sobre la acumulación futura. Para Mandel (1980) cada revolución tecnológica trae consigo un deterioro en las condiciones del trabajo que lleva a un incremento de la tasa de ganancia. Para Robinson (1956) el salario debe aumentar equivalentemente con la productividad, manteniendo el mismo volumen de mano de obra, ya que, al fin y al cabo, esa mayor producción debe ser consumida para que el mecanismo de acumulación continúe. Si los salarios no aumentan, la demanda tampoco lo hará.

Para constatar los problemas de acumulación que generan estos desequilibrios en el mercado laboral, la tasa de ganancia es una métrica que nos ayuda a entender la rentabilidad sistémica de la inversión. Cuando los mecanismos descritos en el párrafo anterior se rompen, es decir, cuando la productividad y el salario no aumentan equivalentemente y hay un desplazamiento de los salarios hacia las ganancias del capital, se refleja, en última instancia en la tasa de ganancia, lo que se observa en el **Gráfico 3.16**.

Gráfico 3.16



Elaboración propia con base en datos de la OCDE

[63] Ver **Gráfico 3** en el Anexo.

Cuando los mecanismos de precios en el mercado de trabajo fallan, el aumento en el grado de monopolio ocasiona que aumente la tasa de ganancia derivado de un desplazamiento de los salarios a las ganancias. Esto en el corto plazo. En el largo plazo ocasiona una disminución crónica de la demanda que perjudica la acumulación. Esto es lo que muestra la tasa de ganancia del **Gráfico 3.16**.[64] En todos los países la tasa ha disminuido, aunque en Reino Unido y Corea del Sur el descenso es mucho más marcado al pasar de niveles cercanos a 20% a alrededor de 15% de 1995 a 2018. En Estados Unidos, Reino Unido y Japón la tasa dio un salto después de la crisis de 2008, aunque con la misma tendencia descendente, siguiendo el movimiento descrito por Mandel (1980).

La rentabilidad cayó o se estancó en el mejor de los casos, y esto se refleja en la caída de las tasas de crecimiento de la inversión, que se transmite al PIB y al empleo. Además, habría que considerar que el esfuerzo de las actividades de innovación es cada vez más costoso. Esto lo podemos observar a través del costo de las patentes que ha tenido un crecimiento del 10% anual después del 2008, mientras el crecimiento de la productividad es sólo del 1.2% en promedio (**Cuadro 3.9**). Al parecer, estas economías se encuentran ante un agotamiento de su paradigma tecno-productivo.

Este proceso se debe a las tendencias generales del sistema económico. Las empresas innovan para seguir manteniendo sus ventajas competitivas y conservar su estatus en el mercado. Quienes no lo hacen no pueden competir en precios y costos, y quiebran o son absorbidas. Lo que se tiene es, entonces, una falacia de composición.[65] Por ejemplo, una empresa innovadora que introduce una nueva tecnología para reducir sus costos salariares, reduce el número de trabajadores. La empresa incrementa sus ganancias y mejora su posición en el mercado. Las otras empresas se ven forzadas a innovar o perderán su lugar en el mercado. El resultado es que ahora existe un nivel de producto igual o mayor el anterior, que está siendo producido por menos personas empleadas, y mientras las remuneraciones no aumenten en proporción al poder adquisitivo ahorrado o la demanda del mercado mundial no aumente y el ingreso de los capitales no sea gastado en su totalidad, el tamaño del mercado se reducirá.

Lo que queda, entonces, es una utilización creciente del capital en los procesos productivos automatizados, cuya presión por la competencia obliga a las empresas a implementar el cambio técnico para mantener su posición en el mercado. El volumen de empleo es menor y las condiciones generales de trabajo son cada vez peores, lo que lleva a reducir el poder de compra de la población, la demanda agregada y perjudicar la acumulación futura. No significa que todas las empresas ni todos los sectores van a estancarse o decrecer; el sector tecnológico es un sector muy rentable: por ejemplo, Tesla, Google, Microsoft, y las nuevas empresas como Uber o Peloton. Sin embargo, sistémicamente hay una tendencia de la rentabilidad a la baja (Marx, 2009; Mandel, 1980).

[64] Tasa de ganancia = $\frac{PIB - Compensaciones\ totales}{Compensaciones\ totales + Activo\ fijo\ neto} = \frac{Excedente\ Bruto\ de\ Explotación}{Erogaciones\ totales\ de\ las\ empresas}$

[65] La falacia de composición se da al creer que lo que sucede en una parte del sistema es igual para la totalidad de éste.

Capítulo IV: Evidencia econométrica

En este capítulo se desarrolla una prueba empírica que permita observar los efectos del cambio técnico en la generación de empleos. Se analizan econométricamente tres fenómenos. Los primeros dos modelos nos darán evidencia de la poca capacidad de generación de empleo de variables agregadas como la inversión y el PIB, y el tercero nos permitirá ver cuál ha sido el cambio en los patrones de las fuentes de acumulación en concordancia con los resultados del Capítulo III.[66]

Para analizar el efecto del crecimiento económico sobre el empleo se construyeron modelos econométricos con distintas metodologías de datos panel, que estiman el incremento porcentual del empleo (dempt) en función del incremento porcentual del PIB (dpib), es decir, una variante de la Ley de Okun cuyos resultados se muestran en la **Tabla 4.1** (cabe aclarar que se trata de primeras diferencias logarítmicas). Los periodos considerados son 1995-2018, 1995-2007 y 2008-2018.[67]

Tabla 4.1

Modelo 1.1: de 1995-2018

	Modelo 1	Modelo 2	**Modelo 3**	Modelo 4	Modelo 5**	Modelo 6**
Variable dep: dempt	Pooled	Pooled robusto a heterocedasticidad	**Efectos fijos robusto a heterocedasticidad***	Efectos aleatorios robusto a heterocedasticidad	MCGF, heterocedasticidad y correlación contemporánea	PCSE heterocedasticidad y correlación contemporánea
dpib	0.2588	0.2588	0.2672	0.2651	0.2266	0.2588
	[0.000]	[0.000]	[0.011]	[0.000]	[0.000]	[0.000]
Constante	0.0007	0.001	0.0005	0.001	0.0024	0.0007
	[0.558]	[0.716]	[0.796]	[0.560]	[0.059]	[0.606]
R-cuadrada	0.3105	0.3155	0.3155	0.3155		0.3155

Modelo 1.2: de 1995-2007

	Modelo 1	Modelo 2	**Modelo 3**	Modelo 4	Modelo 5**	Modelo 6**
dpib	0.3453	0.3453	0.3805	0.3732	0.3511	0.3453
	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.000]
Constante	-0.0037	-0.0037	-0.0049	-0.0047	-0.0038	-0.0037
	[0.068]	[0.289]	[0.021]	[0.051]	[0.064]	[0.000]
R-cuadrada	0.4512	0.4589	0.4589	0.4589		0.4589

Modelo 1.3: de 2008-2018

	Modelo 1	Modelo 2	**Modelo 3**	Modelo 4	Modelo 5**	Modelo 6**
dpib	0.1839	0.1839	0.1842	0.1840	0.1067	0.1839
	[0.000]	[0.006]	[0.066]	[0.016]	[0.000]	[0.003]
Constante	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0060	0.0037
	[0.020]	[0.050]	[0.061]	[0.018]	[0.003]	[0.098]
R-cuadrada	0.1628	0.1757	0.1757	0.1757		0.1757

Coeficientes y p-value

P-value entre corchetes [ ]

*Modelo elegido como el mejor estadísticamente.

**Se realizan estas correcciones ya que el modelo presenta heterocedasticidad y correlación contemporánea (ver apéndice).

Como se observa en la **Tabla 4.1**, para la regresión de periodo de estudio (Modelo 1.1 de la **Tabla 4.1**) el coeficiente del PIB es 0.26. Haciendo un cálculo algebraico para la ecuación estimada, para que el empleo crezca en una unidad porcentual, el PIB tendría que crecer a

[66] Todas las especificaciones del modelo, así como las pruebas, se colocan en el apéndice.

[67] Metodología puesta en el apéndice: Modelos 1.1, 1.2 y 1.3.

razón de 3.7% en promedio. Sin embargo, cuando se calcularon las regresiones en dos periodos (antes y después de 2007) este coeficiente disminuyó de 0.38 durante 1995-2007 a 0.20 durante 2008-2018. En el escenario de 2008-2018, para que el empleo creciera en 1%, el PIB tendría que crecer 5.5%. Esto significa que el crecimiento económico tiene una influencia cada vez menor en el empleo. El análisis estadístico del capítulo 3 adelantaba este resultado en el **Cuadro 3.11**, donde se mostró estadísticamente que antes del 2007 el impacto del PIB sobre el empleo era mayor que después de 2008.

El segundo modelo es similar al primero, pero usando a la inversión, aunque hay que hay que tomar en cuenta algunas aportaciones teóricas. Según Bustamante y Lechuga (2013), las empresas demandan dos tipos de trabajo, simple y complejo. El primero se refiere al trabajo manual, al esfuerzo físico y por ende replicable, mientras el segundo se refiere a un trabajo especializado que no es replicable y deriva de mano de obra altamente calificada (pág. 157).[68] Para analizar el efecto que tiene la inversión sobre la demanda de trabajo simple, se incorpora la formación bruta de capital (dfbkf) como variable explicativa; por otro lado para captar el efecto que tiene la producción de intangibles en la demanda de trabajo complejo se incorporan las variables de gasto en I+D y el número de patentes emitidas (drydt y dpat, respectivamente). Todas las variables se encuentran en primeras diferencias logarítmicas.[69]

[68] Algunos ejemplos son los trabajos de programación requeridos para crear páginas web o plataformas como Google, Facebook, Twitter, Uber, Didi, etc. Aunque la programación es una actividad estandarizada, la manera en cómo se utiliza para crear estos servicios no es replicable, pues el algoritmo es único a menos que se haga público, y es el algoritmo de cada plataforma lo que le otorga una ventaja competitiva.

[69] La metodología y los modelos fueron puestos en el Apéndice, Modelos 2.1, 2.2 y 2.3.

Tabla 4.2

Modelo 2.1: de 1995-2018

	Modelo 1	Modelo 2	**Modelo 3**	Modelo 4**	Modelo 5**
Variable dep: dempt	Pooled	Efectos fijos robusto a heterocedasticidad	**Efectos aleatorios robusto de heterocedasticidad***	MCGF, heterocedasticidad	PCSE, heterocedasticidad
dfbkf	0.1391	0.1410	0.1407	0.1497	0.1391
	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.000]	[0.000]
drydt	0.0456	0.0496	0.0491	0.0576	0.0456
	[0.060]	[0.324]	[0.277]	[0.013]	[0.060]
dpat	0.0311	0.0246	0.0255	0.0206	0.0311
	[0.027]	[0.094]	[0.041]	[0.105]	[0.020]
Constante	0.0023	0.0022	0.0022	0.0026	0.0023
	[0.028]	[0.273]	[0.093]	[0.008]	[0.024]
R-cuadrada	0.5280	0.5376	0.5378		0.5384

Modelo 2.2: de 1995-2007

	Modelo 1	Modelo 2	**Modelo 3**	Modelo 4**	Modelo 5**
dfbkf	0.1731	0.1501	0.1565	0.1678	0.1731
	[0.000]	[0.004]	[0.000]	[0.000]	[0.000]
drydt	0.0568	0.1105	0.0971	0.0772	0.0568
	[0.084]	[0.019]	[0.002]	[0.013]	[0.089]
dpat	0.0184	0.0043	0.0071	0.0138	0.0184
	[0.275]	[0.759]	[0.642]	[0.328]	[0.256]
Constante	0.0003	-0.0010	-0.0007	0.0009	0.0003
	[0.849]	[0.378]	[0.734]	[0.476]	[0.838]
R-cuadrada	0.6176	0.6182	0.6248		0.6338

Modelo 2.3: de 2008-2018

	Modelo 1	Modelo 2	**Modelo 3**	Modelo 4**	Modelo 5**
dfbkf	0.1146	0.1184	0.1146	0.1139	0.1146
	[0.000]	[0.033]	[0.006]	[0.000]	[0.000]
drydt	0.0263	0.0125	0.0263	0.0333	0.0263
	[0.460]	[0.779]	[0.413]	[0.280]	[0.438]
dpat	0.0565	0.0616	0.0565	0.0619	0.0565
	[0.077]	[0.209]	[0.145]	[0.023]	[0.063]
Constante	0.0045	0.0049	0.0045	0.0052	0.0045
	[0.004]	[0.029]	[0.005]	[0.000]	[0.003]
R-cuadrada	0.4035	0.4295	0.4310		0.4310

Coeficientes y p-value

P-value entre corchetes [ ]

*Modelo elegido como el mejor estadísticamente.

**Se realizan estas correcciones ya que el modelo presenta heterocedasticidad (ver apéndice: modelo econométrico 1.1)

Los resultados de la **Tabla 4.2** muestran que aún se mantiene la contribución de la inversión sobre el empleo. Estadísticamente es relevante, pero el coeficiente es bajo, y después de 2008 lo es aún más. Esto puede explicarse por dos cuestiones fundamentales: 1) es que la inversión tiene una dinámica más lenta, y 2) autores como Marx señalan que hay un flujo de inversión que amplía constantemente el acervo de capital, incorporando maquinaria más eficiente que provoca un aumento de la capacidad productiva, pero requiere un volumen de trabajo menor.

Cabría señalar que después de la crisis financiera de 2008 se da un proceso recesivo a nivel mundial, y como señala Mandel (1980), las crisis económicas alientan a las

empresas a incorporar cambios en la organización del trabajo con la finalidad de elevar la tasa de ganancia; estos son cambios cualitativos dentro del proceso de producción. En este caso, el cambio de paradigma hacia una economía con automatización productiva venía desde los inicios de la tercera revolución en la década de los setenta, con las primeras maquinas robotizadas implementadas en la industria; pero fue después de la crisis del 2008 que se comienza a buscar un nuevo paradigma tecno-económico que potenciara las ganancias y disminuyera los costos, y que al ser más eficiente reemplaza a la fuerza de trabajo. Esta es la razón de que el coeficiente de la inversión sobre el empleo descienda de un periodo de estudio a otro.

Por ello, no es casualidad que pocos años después de la crisis del 2007 apareciera el concepto de Industria 4.0, los bocetos de su práctica y las políticas gubernamentales unos años más tarde.[70] El ciclo económico de los noventa llega a su fin en 2007. Después sigue una fase de estancamiento (tasas de crecimiento bajas), el modelo productivo se agota y se buscan nuevas formas de aumentar la rentabilidad. La industria 4.0, las energías renovables y otras nuevas tecnologías se ven como nuevas fuentes de rentabilidad, ya que además estos nuevos esquemas suponen un cambio en las preferencias de los consumidores.[71]

Como se observa en la **Tabla 4.2**, la inversión sigue siendo la mayor fuerza generadora de empleo, sin embargo, perdió su impacto a lo largo del tiempo. Como se observa, el coeficiente pasó de 0.15 durante 1995-2007 a 0.11 de 2008-2018. En el caso de las patentes y la I+D, al ser realizadas por trabajadores altamente especializados, es evidente que su impacto en el empleo es moderado y se reduce después de 2008. Los coeficientes para la I+D disminuyeron de 0.09 durante 1995-2007 a 0.02 de 2008-2018. Además de que los coeficientes de las patentes no son significativos.

Los modelos nos dan evidencia de que el bajo empleo generado en las distintas economías puede validar la hipótesis de que la innovación tecnológica es sustitutiva de empleo. La incidencia de las patentes y en el gasto de I+D sobre el crecimiento del empleo es baja, principalmente porque se trata de un trabajador especializado que no representa al grueso de la oferta de empleo. Adicionalmente, habría que agregar que Kalecki teoriza que cuando la maquinaria llega al final de su vida útil, ésta no es reemplazada por otra del mismo modelo, sino por un modelo más reciente, más rápida y ahorradora. Incluso tratándose de inversión bruta (la que sólo sustituye la depreciación de activos), ya lleva incorporado cierto grado de innovación. Si este razonamiento se extrapola al total de la economía, entonces toda la inversión trae consigo algún grado de innovación tecnológica que, acumulada, tiende a disminuir el volumen de empleo total. Es necesario señalar que

[70] Algunos ejemplos son: El *Plan Estratégico de Alta Tecnología* de Alemania, la estrategia *La Nueva Francia Industrial* del gobierno francés, y la *Sociedad 5.0* de Japón, todos ellos aparecieron después de la crisis del 2007 a raíz del concepto de Industria 4.0 usado en 2011 en Alemania.

[71] Por ejemplo, la red 5G y la IA llevan al desarrollo de productos como *Alexa* de Amazon, una asistente virtual programada con IA. También existen ahora bombillas que son controladas en color e intensidad a través del sistema de reconocimiento de voz y lenguaje de Alexa. De igual forma, cada vez hay más esquemas de consumo que hacen converger tecnologías como forma de competencia, como lo es la incursión de Huawei en la industria automotriz, que desarrollaron un reloj inteligente que funciona como una llave electrónica para acceder y encender un automóvil. De esta forma las tecnologías se producen y venden como bienes complementarios.

los datos econométricos no nos permiten diferenciar con exactitud el grado de sustitución del capital por trabajo, porque la caída del empleo también obedece a la menor dinámica de acumulación y a aspectos idiosincráticos de cada país.

Como se mencionó en el capítulo 1, para Kalecki las ganancias, en primer lugar, dependen del gasto capitalista (inversión) y del gasto de consumo de los asalariados. En esta lógica se construye un modelo que permita observar cual de estos dos factores tiene más peso sobre las ganancias. Las variables explicativas son la formación bruta de capital (dfbkf), el consumo de bienes finales (dcon) y las exportaciones (dx), que representan la demanda interna y externa, mientras la variable dependiente son las ganancias del capital (dkal),[72] y todas las variables están en primeras diferencias logarítmicas.[73]

[72] Las ganancias corresponden al Excedente Bruto de Explotación, medido como: PIB – Compensaciones totales del trabajo.

[73] La metodología sobre las variables y el modelo más apropiado para este conjunto de datos se ponen en el apéndice, Modelos 3.1, 3.2 y 3.3.

Tabla 4.3

Modelo 3.1: de 1995-2018

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5**	Modelo 6**
Variable dep: dkal	**Pooled***	Pooled robusto de heterocedasticidad	Efectos fijos robusto a heterocedasticidad	Efectos aleatorios robusto a heterocedasticidad	MCGF, correlación contemporánea y heterocedasticidad	PCSE, correlación contemporánea y heterocedasticidad
dfbkf	0.1864	0.1864	0.1932	0.1864	0.1833	0.1864
	[0.000]	[0.003]	[0.054]	[0.012]	[0.000]	[0.000]
dcon	0.5067	0.5067	0.4941	0.5067	0.5082	0.5067
	[0.000]	[0.000]	[0.003]	[0.000]	[0.000]	[0.000]
dx	0.0630	0.0630	0.0614	0.0630	0.0570	0.0630
	[0.000]	[0.004]	[0.026]	[0.001]	[0.000]	[0.002]
Constante	0.0057	0.0057	0.0060	0.0057	0.0048	0.0057
	[0.016]	[0.051]	[0.006]	[0.000]	[0.005]	[0.028]
R-cuadrad	0.6308	0.6389	0.6388	0.6389		0.6389

Modelo 3.2: de 1995-2007

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5**	Modelo 6**
dfbkf	0.1300	0.1300	0.1842	0.1663	0.0966	0.1300
	[0.046]	[0.104]	[0.125]	[0.090]	[0.027]	[0.031]
dcon	0.5435	0.5435	0.4754	0.4987	0.5569	0.5435
	[0.000]	[0.000]	[0.012]	[0.000]	[0.000]	[0.000]
dx	0.0483	0.0483	0.0314	0.0369	0.0610	0.0483
	[0.086]	[0.046]	[0.071]	[0.004]	[0.000]	[0.042]
Constante	0.0090	0.0090	0.0110	0.0103	0.0088	0.0090
	[0.018]	[0.040]	[0.003]	[0.000]	[0.000]	[0.003]
R-cuadrad	0.6166	0.6328	0.6279	0.6306		0.6328

Modelo 3.3: de 2008-2018

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5**	Modelo 6**
dfbkf	0.2613	0.2613	0.2664	0.2613	0.2296	0.2613
	[0.000]	[0.014]	[0.060]	[0.016]	[0.000]	[0.000]
dcon	0.3732	0.3732	0.3975	0.3732	0.4473	0.3732
	[0.017]	[0.022]	[0.014]	[0.001]	[0.000]	[0.018]
dx	0.0619	0.0619	0.0591	0.0619	0.0613	0.0619
	[0.018]	[0.057]	[0.009]	[0.000]	[0.000]	[0.047]
Constante	0.0047	0.0047	0.0041	0.0047	0.0057	0.0047
	[0.184]	[0.182]	[0.010]	[0.022]	[0.005]	[0.262]
R-cuadrad	0.5905	0.6094	0.6092	0.6094		0.6094

Coeficientes y p-value

P-value entre corchetes [ ]

*Modelo elegido como el mejor estadísticamente.

**Se realizan estas correcciones ya que el modelo presenta heterocedasticidad (ver apéndice: modelo econométrico 1.1)

Como se observa en el Modelo 3.1 que corresponde a todo el periodo de estudio, la principal fuente de las ganancias del capital fue el consumo interno, cuyo coeficiente fue de 0.50, seguido de la inversión de 0.18, y finalmente la demanda del exterior de 0.06. Durante el periodo 1995-2007 los coeficientes son similares al Modelo 3.1; sin embargo, durante el periodo de 2008-2018 el coeficiente de la inversión aumentó a 0.26, y el coeficiente del consumo disminuyó a 0.37, que es evidencia de que el consumo tiene cada vez un impacto menor sobre las ganancias, como se explicó en el Capítulo III. El coeficiente de las exportaciones subió de 0.04 durante 1995-2007 a 0.06 de 2008-2018, aunque su impacto sobre las ganancias es pequeño.

Las razones que explican este cambio en los coeficientes pueden encontrarse en Robinson (1956) y Bustamante & Lechuga (2013). Ya que, como se indica en el capítulo 3,

el cambio técnico no implica una modificación en los estratos salariales que permita incorporar la totalidad de estos nuevos bienes en el gasto de los consumidores, por lo que el consumo disminuye su impacto que tiene sobre las ganancias, lo que se compensó con el impacto de la inversión y las exportaciones, pues la suma de los estimadores para ambos periodos (modelo 3.2 y 3.3) son 0.72 y 0.69, respectivamente.

Esto significa que la base de la acumulación (las ganancias) en el periodo posterior a la crisis de 2008, se centró más en la demanda externa, incluso el nivel de acumulación disminuyó, pues la constante fue menor en este periodo. Después de la crisis de financiera de 2008 el ritmo de acumulación se ralentizó, principalmente porque la demanda mundial perdió dinamismo y se mostraron las limitantes del proceso de acumulación globalizado, donde una de sus características fue centrarse en las exportaciones en una configuración de las cadenas globales de valor que permitían disminuir los costos salariales y de insumos a nivel internacional. El PIB y la inversión tienen cada vez menos influencia sobre el nivel de empleo. En este ciclo recesivo es necesario resaltar que la dinámica de las ganancias ha descendido, y con ella la inversión y el crecimiento económico.[74]

Los modelos desarrollados en este capítulo nos proveen tres pruebas con distintos aspectos de la sustitución del trabajo por capital desde la macroeconomía. El primero modelo nos muestra que la relación entre el crecimiento del PIB y del empleo es menor después de la crisis de 2008. Esta relación es casi la mitad durante 2008-2018 de la que hubo entre 1995-2007, por lo que existe evidencia de que hay crecimiento económico sin empleo.

El segundo modelo muestra que la relación entre el crecimiento de la inversión y del empleo también es menor durante 2008-2018 que en el periodo de 1995-2018. Además, el gasto que se hace en I+D y el número de patentes tienen una baja incidencia en el empleo, lo que puede insinuar que las actividades relacionadas a la innovación no son un sustituto de la caída del empleo en general. Y al final, el último modelo indica que, aunque el consumo sigue siendo la principal fuente de las ganancias, su relación con ellas es menor después de 2008 y se compensaron con el aumento del capital y las exportaciones, aunque a un nivel de ganancias menor.

[74] En esta muestra de países, el crecimiento de la ganancia alcanzó un promedio de 3.6% de 1995 a 2007, y del 2008 a 2018 el crecimiento disminuyó a 0.18% en promedio, la mitad.

Capítulo V. Consideraciones medioambientales

El mundo está atravesando una crisis ambiental. Derivado de las actividades económicas se emite una cantidad sin precedentes de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmosfera. Por un lado, el sector energético es el principal contribuyente a las emisiones de GEI, y paradójicamente es el sector con el mayor crecimiento debido a las tecnologías digitales. De ahí la importancia del cambio de matriz energética.

Desde la teoría económica se ha defendido a la idea de que la innovación tecnológica es la solución a este problema. Con nuevas tecnologías se puede hacer más eficiente en energía en el uso de aparatos eléctricos, aumentar el aprovechamiento de los combustibles fósiles o explorar nuevas fuentes de energía económicamente viables. En este apartado se busca ofrecer una perspectiva sobre cómo la tecnología ha contribuido hasta ahora en la lucha contra el cambio climático a través de dos indicadores principales: el consumo de energía y las emisiones de dióxido de carbono (CO_2).

Los anuncios de política industrial de Alemania, Reino Unido, Francia, Japón, Corea del Sur y recientemente en Estados Unidos, han contemplado los beneficios y las oportunidades medioambientales que se abren del uso racional de las tecnologías. En Alemania y Japón, aunque los planes están más dirigidos a mantener la vanguardia industrial-digital, también se hace énfasis en cómo la sociedad puede hacer uso de estos avances para dar seguimiento y resolución de problemas sociales, políticos y medioambientales, tal es el ejemplo de la política japonesa *Society 5.0,* definido como "una sociedad sostenible y resistente que protege la seguridad y que se da cuenta del bienestar de las personas."[75] Este proyecto japones abarca terrenos que van desde lo económico hasta lo ambiental. Aun así, todavía no es clara la manera en cómo estas tecnologías son ambientalmente sostenibles o ayudan al medio ambiente en términos fuera del ámbito económico o de la eficiencia.

El estilo de vida que la población tiene actualmente no es compatible con los limites ecológicos del planeta, y la tecnología juega un papel cada vez más importante para la gestión de los recursos naturales. Ya se ha mencionado que la introducción de estas innovaciones en la industria tiene un sesgo hacia la reducción de mano de obra; pero no es la única manera en que ayuda a reducir los costos, también está la mejora en el aprovechamiento de los recursos. En un contexto donde los países buscan la sustitución energética del carbón y el petróleo por energías menos contaminantes, las innovaciones buscan mejorar la eficiencia energética de la maquinaria industrial. De hecho, la mayoría de los planes de política son optimistas respecto a dos problemáticas medioambientales:

- La eficiencia energética.
- El nivel de contaminación generada en las actividades económicas.

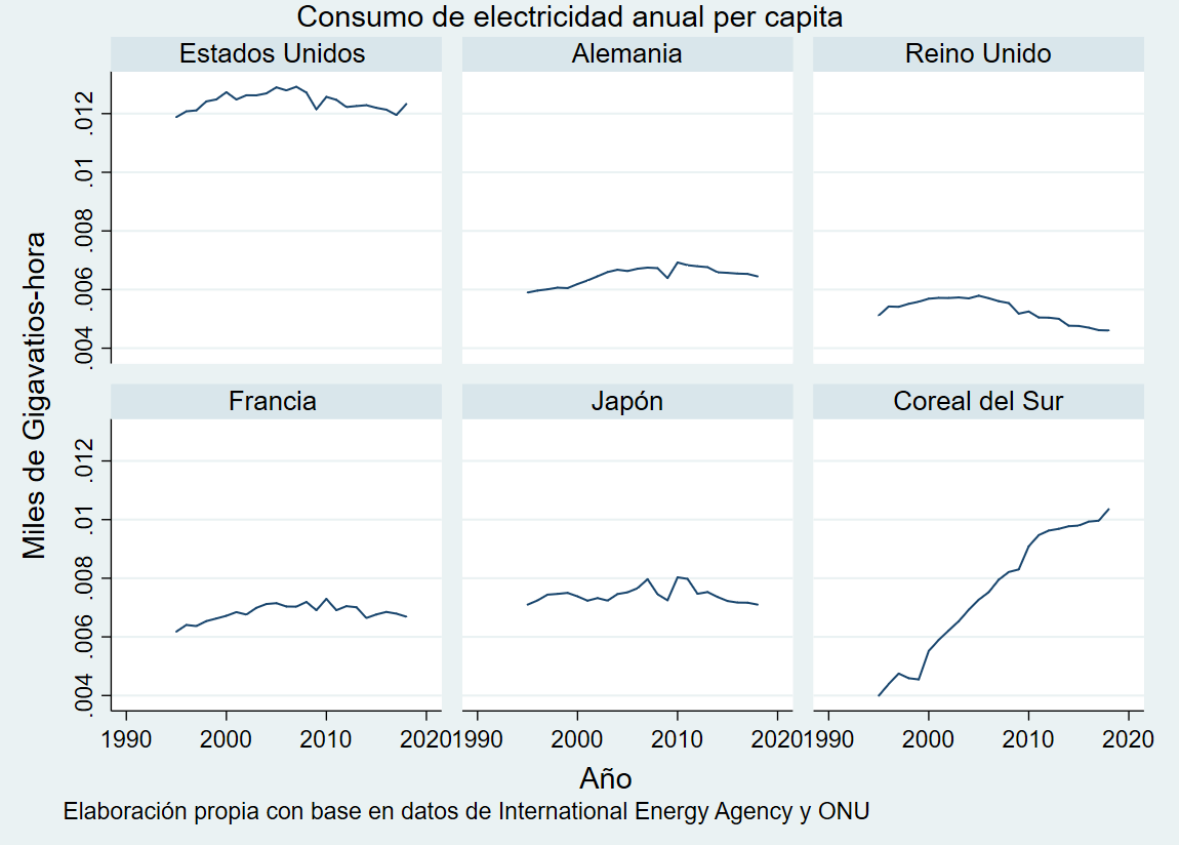
En cuanto al primer punto, la introducción de estos adelantos supone un consumo de energía sin precedentes: la colaboración robótica, los sensores, inteligencia artificial, realidad aumentada, la interconexión que permite la red 5G; todo requiere una oferta

[75] The Government of Japan (2022). En https://www.japan.go.jp/kizuna/2022/06/integrated_innovation_strategy.html

continua de electricidad. Por lo que el mejoramiento de la eficiencia energética, el uso de energías renovables y el desarrollo de energías experimentales no contaminantes (fusión nuclear) son factores indispensables para el funcionamiento sustentable de la industria.

En estas economías el consumo per cápita de electricidad se mantuvo estable desde 1995, y mostró descensos en Estados Unidos y Reino Unido. El único país fuera de estas tendencias es Corea del Sur por sus características de desarrollo tardío. En 2018 los niveles de consumo de electricidad per cápita son mayores a la de los países europeos y se asemejan a los niveles de Estados Unidos, como se ve en **Gráfico 5.1**.

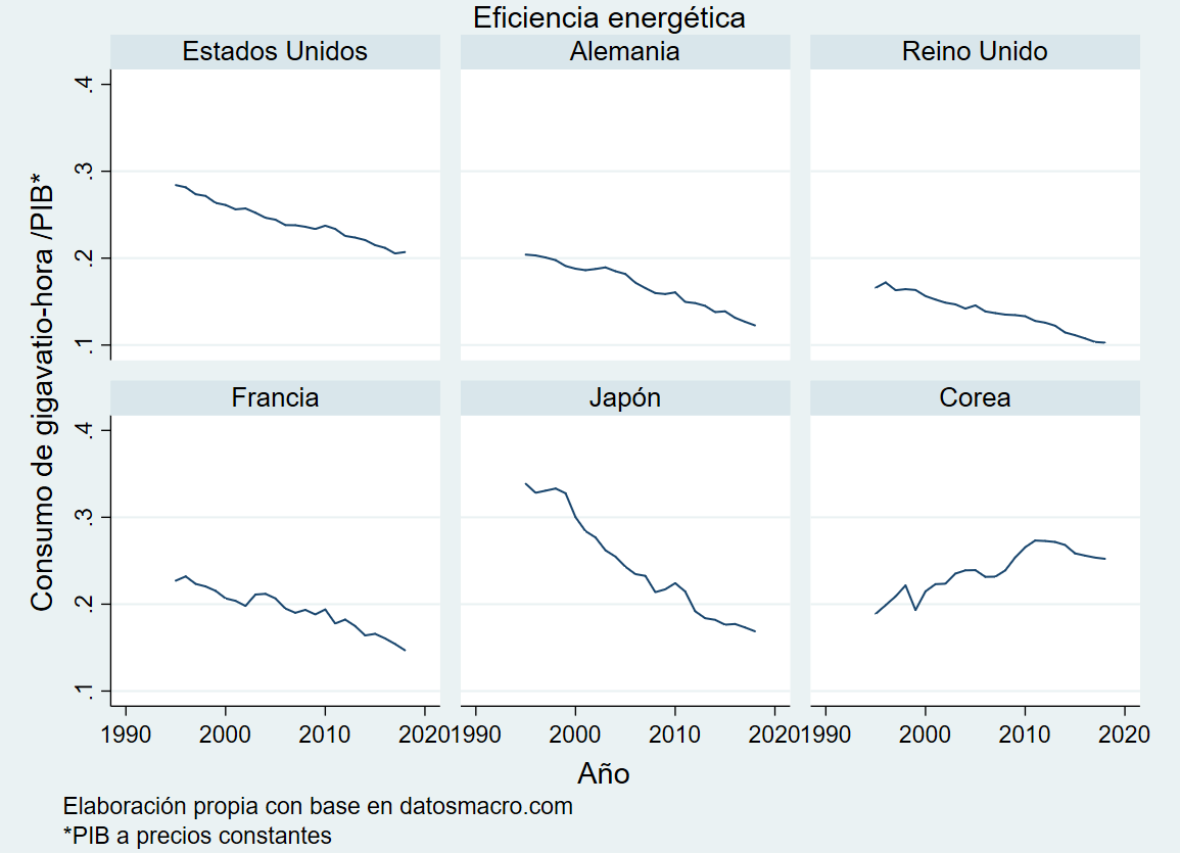
Gráfico 5.1



Elaboración propia con base en datos de International Energy Agency y ONU

De esta primera comparativa se ven los esfuerzos por tener un consumo de energía más responsable, lo que va de acuerdo con el discurso de la política industrial en la zona del euro y en Japón (aunque también sus esfuerzos podrían deberse a la escasez de recursos naturales con los que cuentan).

Gráfico 5.2



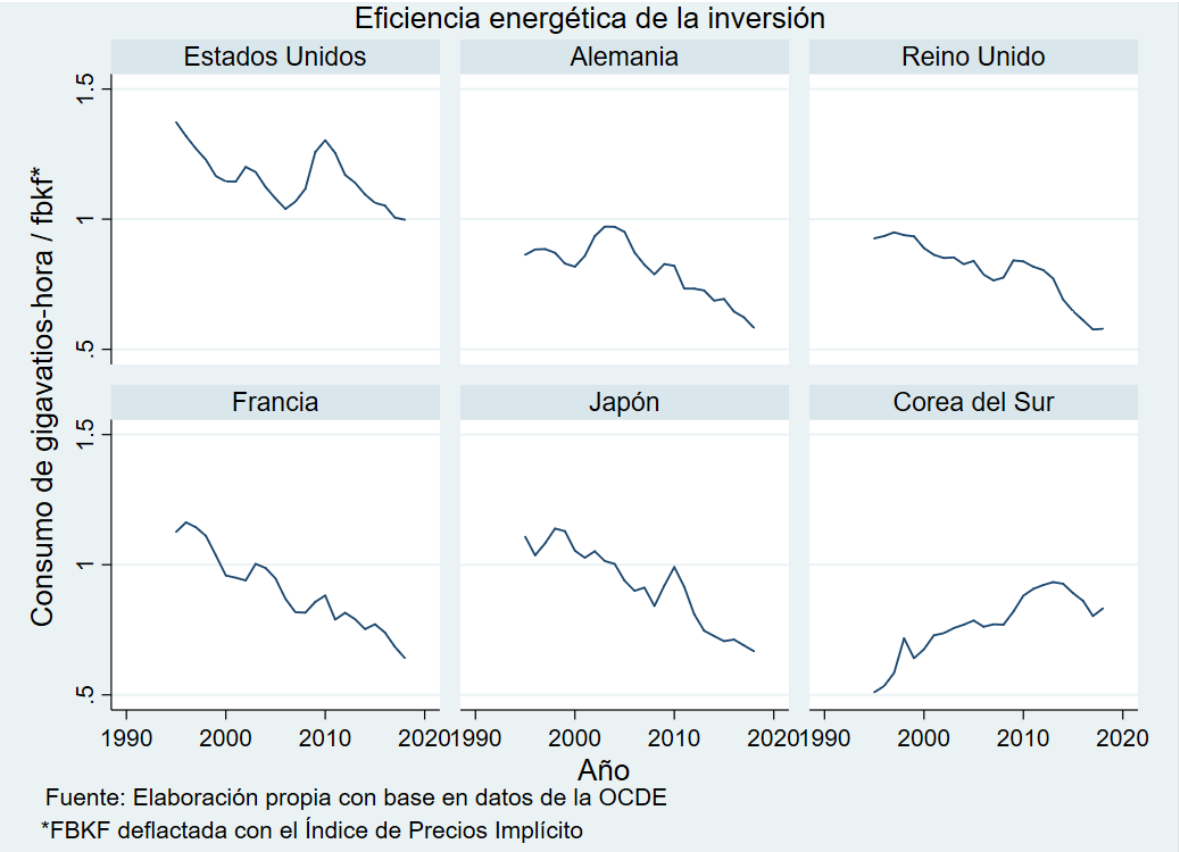
Elaboración propia con base en datosmacro.com
*PIB a precios constantes

La eficiencia energética mostrada en el **Gráfico 5.2**[76] muestra que el avance técnico ha logrado incrementar la producción de la economía con un consumo relativamente menor de electricidad. El país que mejor se desempeñó fue Japón. Corea del Sur, debido a las características descritas del párrafo anterior, hacen que su consumo por unidad de PIB crezca, aunque desde 2010 comienza a ser energéticamente más eficiente.

La eficiencia energética de la inversión también mejoró (**Gráfico 5.3**). En Estados Unidos hay subidas en este indicador en los periodos de crisis (2001 y 2008) donde la inversión se redujo, pero el consumo energético siguió una tendencia creciente. En Alemania existe un incremento en el consumo de electricidad de 1995 al 2004 en mayor medida que la inversión, después se mantiene. Para Corea la tendencia es la misma que con el producto: incrementa desde 1995 y a partir del 2010 comienza un proceso de sustitución de maquinaria con tecnología más eficiente que disminuye su consumo energético, por ello se comporta igual que el resto de las economías maduras.

[76] Medida como: consumo de gigavatios por hora / PIB constante

Gráfico 5.3



Fuente: Elaboración propia con base en datos de la OCDE

*FBKF deflactada con el Índice de Precios Implícito

Es muy probable que estas tendencias continúen durante los próximos años. Arriba se explicó que tecnologías como la impresión 3D ayudarían a reducir costos en la manufactura. Los bienes y repuestos que estas impresoras pueden fabricar se producen con un volumen de maquinaria menor y, por tanto, menor es la cantidad de energía empleada. Por ello, la impresión 3D tiene el potencial de ser una revolución en sí misma, ya que reconfigura la manufactura y el comercio, pero otras tecnologías como la IA también contribuyen a la eficiencia energética.[77]

Aumentar la eficiencia energética es un aspecto clave en la transición hacia una economía sostenible y de bajo carbono. Sin embargo, mientras la sustitución energética no represente una parte importante de la generación eléctrica, las emisiones de GEI seguirán siendo una parte considerable de la producción, sobre todo las emisiones de CO_2, que corresponde a la segunda problemática a considerar.[78]

[77] Por ejemplo, la IA puede analizar grandes cantidades de datos de la industria energética para detectar los picos y valles de demanda, y así la producción se acerca al consumo y se reduce el desperdicio de energía. También la programación de un algoritmo puede ser llegar a requerir una gran cantidad de energía; pero una vez que el algoritmo ya está programado, ejecutarlo cada que sea necesario gasta menos energía, y su gasto tiende a cero.

[78] El CO_2 representa más del 80% de los gases de efecto invernadero.

Tabla 5.4

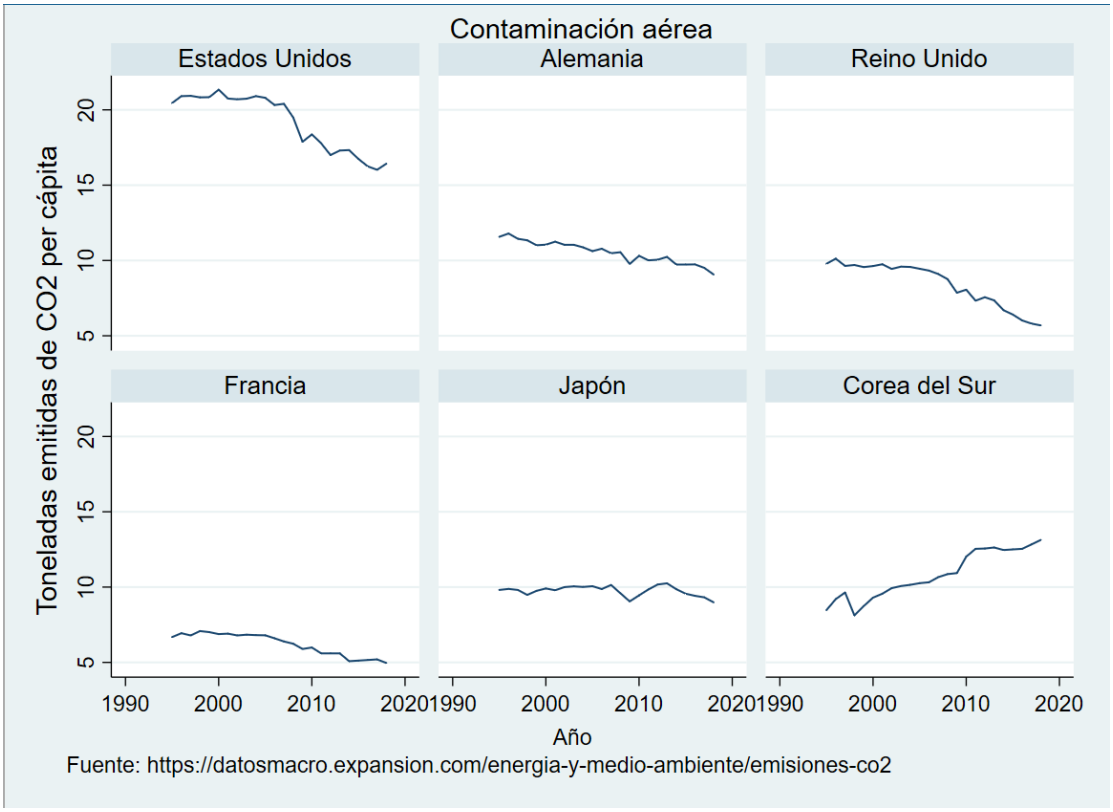
Emisiones totales de CO2 (millones de toneladas)

Año	Estados Unidos	Alemania	Reino Unido	Francia	Japón	Corea del Sur
1995	5,444	947	568	397	1,231	382
1996	5,633	967	589	414	1,242	419
1997	5,706	939	563	407	1,236	443
1998	5,745	931	568	426	1,198	376
1999	5,815	904	562	424	1,234	407
2000	6,020	909	568	419	1,258	437
2001	5,912	928	577	425	1,244	453
2002	5,954	911	562	420	1,274	473
2003	6,018	911	574	426	1,283	482
2004	6,123	896	576	427	1,278	488
2005	6,145	876	573	430	1,285	494
2006	6,064	887	570	420	1,261	500
2007	6,144	861	560	409	1,296	519
2008	5,926	865	544	401	1,224	533
2009	5,487	799	491	381	1,154	539
2010	5,682	827	508	389	1,206	596
2011	5,542	804	466	365	1,258	626
2012	5,338	809	483	367	1,297	631
2013	5,471	827	473	370	1,305	637
2014	5,521	790	435	337	1,253	632
2015	5,372	799	419	341	1,214	638
2016	5,250	804	397	345	1,196	642
2017	5,211	787	385	348	1,181	659
2018	5,374	753	379	334	1,137	677

Elaboración propia con base en datosmacro.com

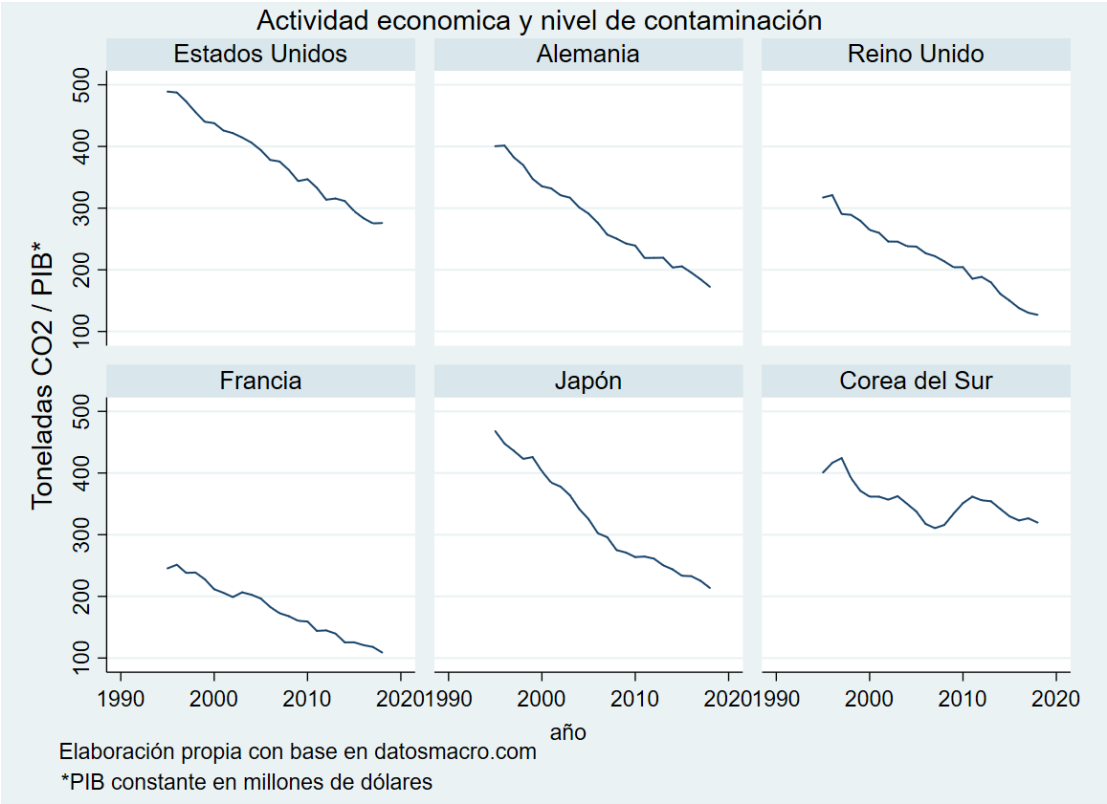
Las emisiones totales de CO_2 per cápita han disminuido (**Gráfico 5.5**). Estados Unidos es el país que más contaminación aérea representa, pero también el que más disminuyó sus emisiones, a partir de 2008 al igual que Europa. Los niveles de emisiones per cápita de Japón se mantuvieron oscilando entre 9 y 10 toneladas, pero con una tendencia decreciente a partir del 2014. Y en Corea, las emisiones totales y las emisiones per cápita fueron las únicas que incrementaron como se muestra en la **Tabla 5.4**.

Gráfico 5.5



Fuente: https://datosmacro.expansion.com/energia-y-medio-ambiente/emisiones-co2

Gráfico 5.6



Al comparar las emisiones de CO_2 con el PIB en el **Gráfico 5.6**, éstas disminuyeron. Esta tendencia puede responder a dos factores: el primero son los esfuerzos por utilizar fuentes de energía menos contaminantes en sustitución del petróleo y el carbón. Por ejemplo, según datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA), Estados Unidos incrementó la generación de energía usando gas natural (que emite menos contaminantes), pasando del 20% al 40% de la oferta energética. Los casos de Reino Unido, Alemania, Japón y Corea son similares. Y en Francia el petróleo y carbón se sustituyeron por energía nuclear.

El segundo factor es el propio cambio tecnológico. Japón y Corea del Sur tuvieron una disminución de carbón y petróleo, y un incremento similar en el uso del gas natural para la oferta energética. Sin embargo, como se ve en el **Gráfico 5.3**, ambos países tienen comportamientos diferentes respecto a la eficiencia energética. La avanzada y madura industria japonesa le permitió sustituir maquinaria y equipo por capital cada vez más eficiente en el consumo de energía, emitiendo menos gases contaminantes, al contrario de Corea que en los inicios de este periodo todavía se encontraba creciendo industrialmente, pero su tecnología industrial ya le permitía reducir el nivel de CO_2 por unidad de PIB.

No obstante, aunque los niveles de emisiones de CO_2 bajen en comparación con la población y el PIB, no significa que los esfuerzos para combatir el cambio climático y el calentamiento global son suficientes. En sus mejores pronósticos, la Industria 4.0 sólo puede mejorar la eficiencia energética, haciendo un uso más responsable de la energía en las fábricas, en los servicios y en los hogares. Pero reducir las emisiones de contaminantes requiere de la sustitución de combustibles fósiles por energías verdes. Las estrategias de tecnología de estos países no mencionan soluciones concretas o indicadores o bosquejan

medidas medioambientales. En sus mejores casos hacen mención del problema y se cree que lo resolverá, aludiendo al cambio de matriz y la eficiencia energética. Y en todo caso, este análisis sólo se centra en la contaminación aérea, por lo que se deja de lado la contaminación del suelo y del agua.

Conclusiones

El objetivo de este trabajo es mostrar que en esta muestra de países de la OCDE se ha dado un proceso de sustitución gradual de la fuerza de trabajo por tecnología y maquinaria especializada, y que esto incide en primera instancia sobre el mercado de trabajo, y en última instancia en la forma y en los niveles de acumulación, tomando como base el marco teórico de Marx, Mandel, Robinson, Kalecki, Schumpeter, Dosi y Pérez, principalmente.

Entre los principales resultados se destaca que la Industria 4.0, que es el nombre con el que se le ha llamado al nuevo paradigma tecno-económico, por sus características podemos decir que se trata de un proceso de automatización mucho mas intenso que el que se dio a raíz de la tercera revolución industrial. Esta automatización no sólo afecta a la industria sino también a la esfera de los servicios.

El desarrollo de las TIC's permitió que este proceso de automatización fuera posible desde el siglo XX, y se comenzó a expandir a partir del 2007, cuando se comienza a difundir el nuevo paradigma tecno-económico de la Industria 4.0. Antes de este cambio, el sistema de acumulación estaba basado en la obtención de ganancias a través del incremento de la demanda, el cual era la base del sistema fordista que poco a poco llegó a presentar grandes problemas de productividad. Después hubo un sistema de acumulación basado en demanda externa, marcado por la internacionalización del capital y crecimiento del comercio, cuando se desvincularon los salarios de la productividad.

La crisis del 2007 fue el final del ciclo económico de la telemática. A partir de entonces las innovaciones tienen un impacto significativamente menor en la productividad y es mucho más costoso llevarlas a cabo, lo que puede significar que la economía se encuentra en una etapa madura, siguiendo a Dosi y Pérez. Se espera de la Industria 4.0, apoyada en una nueva matriz energética, es que se pueda aumentar la rentabilidad, aunque no está claro si en este contexto se podrá hacer.

La automatización de ciertas tareas fuera del ámbito industrial abre la posibilidad de sustituir trabajo vivo por capital en actividades repetitivas y de baja calificación, pero también en tareas para las que se requiere cierto nivel de preparación, como actividades contables, agentes de bienes raíces, trading o periodismo. Esto se da porque en términos de productividad la sustitución es más conveniente en la reducción de costos. Esto significa que aunque la innovación tecnológica cree nuevas ramas industriales y por lo tanto nuevos empleos, no se espera que el nivel de empleo aumente significativamente.

El mercado laboral es impactado de diversas formas. Por un lado, aunque las remuneraciones per cápita han aumentado como resultado de la incorporación de trabajadores calificados a la economía, los ingresos totales del trabajo como porcentaje del PIB han disminuido respecto a los niveles de 2018. La explicación teórica es que incluso el trabajo calificado tiende a ser proletarizado a través de medidas como la propiedad intelectual, la marca o las patentes. Aunado a lo anterior, la digitalización de la economía también permite que se creen "formas no empleo no convencionales", las cuales ofrecen condiciones de trabajo adversas a los empleados, pues son privados de algunos derechos

como la seguridad social, seguro médico y otras prestaciones sociales, lo que contribuye a que las compensaciones del trabajo contribuyan menos a la economía.[79]

En última instancia, este proceso repercute en la rentabilidad, al disminuir la demanda que representan los trabajadores sin una fuente que la compense, contribuyendo a una tasa de ganancia cada vez menor y a afectar la posterior acumulación del sistema.

El Capítulo IV nos da evidencia de que estos procesos tienen validación estadística en las variables macroeconómicas. Los dos primeros modelos desarrollados indican que el crecimiento y la acumulación contribuyen menos al empleo, lo que siguiere que la economía experimenta cambios estructurales y que la crisis de 2008 fue un detonante importante, un deterioro de los niveles de empleo en el trabajo simple, aunque sin un incremento que lo compense en esferas de trabajo más complejo, como en I+D.

El último modelo nos muestra evidencia de que, como consecuencia de la sustitución del trabajo y las condiciones laborales cada vez más adversas de los trabajadores, el consumo interno pierde lentamente su contribución a las ganancias y es desplazado por la inversión y las exportaciones. Sin embargo, como se muestra en el Capítulo III, estas dos variables han perdido dinamismo después de 2008, por lo que es posible que no puedan seguir siendo la fuente del crecimiento de la acumulación.

Por último, este trabajo también ha comprobado que las nuevas tecnologías son más eficientes en el uso de energía y menos contaminantes, lo que resulta en un menor grado de emisiones de CO_2. Esto va de acuerdo con los argumentos de la curva de Kuznets: aunque las sociedades más ricas son las que más contaminan, una vez alcanzado un cierto nivel de desarrollo sus preferencias se encaminan a procesos menos contaminantes, apoyados en la nueva tecnología; aunque esto último tampoco significa que el esfuerzo sea suficiente para contrarrestar el cambio climático.

Las tendencias recientes de la tecnología también representan nuevos retos para la teoría económica. La población necesita dinero para intercambiarlo por bienes que mantienen su vida material, y a su vez intercambia trabajo por dinero. De esta manera se conjugan la oferta y la demanda. Sin embargo, como establece Santens (2017), en el momento en que se utilizan herramientas que pueden realizar nuestro trabajo y cumplir esa demanda sin personas de las que dependan, ¿qué sucede con la capacidad de las personas para trabajar, para vivir y para obtener todo el producto que está hecho cada vez con mayor maquinaria que con el factor humano? (p. 108). Las respuestas que se han ofrecido van desde disponer de bienes básicos garantizados hasta la imposición de una renta básica universal (UBI), discutidos principalmente en Europa.[80]

En algunas regiones estos efectos ya están siendo considerados dentro de la política económica, como el caso de Europa y el Sudeste Asiático.[81] En otras regiones como

[79] Esto también varía según el país, puesto que Alemania, Francia o Japón tienen regulaciones benéficas para los trabajadores, contrario a Estados Unidos o Reino Unido.

[80] Hubo varios proyectos piloto en: Finlandia en 2016, India entre 2011 y 2012, Brasil entre 2008 y 2014, Alemania en 2014, o España y Países Bajos en 2017, entre otros. También se han hecho políticas en algunos estados como en Alaska que tiene un ingreso básico universal (UBI) financiado por los ingresos petroleros.

[81] Tal como se menciona en el reporte del PECC (2018).

América Latina, el impacto de estas nuevas tecnologías puede agravar aún más los problemas del mercado laboral por la sustitución del trabajo, lo que profundizará tendencias existentes como la informalidad y la concentración del ingreso.

Bibliografía y referencias

Amazon Go, ¿De qué trata el ambicioso proyecto de Amazon? ESIC. En: https://www.esic.edu/rethink/comercial-y-ventas/que-es-amazon-go-%20y-como-funciona, consultado el 28 de enero de 2023.

America Retail (2023). *Ser considerado clase media en EE. UU.* En: https://www.america-retail.com/usa/ser-considerado-clase-media-de-ee-uu/, consultado en febrero del 2023.

Bayona, Nohora (s.f.). *Avances tecnológicos destacados del 2000 al 2015*. Sutori. En: https://www.sutori.com/es/historia/avances-tecnologicos-destacados-del-2000-al-2000-2015--PT3kGsqPZ9iFZmcsyn21VQ8R, consultado en marzo de 2023.

Boyer R., Freyssenet M. (2003). *Los modelos productivos*. Editorial Fundamentos. Madrid. Edición numérica: freyssenet.com, 2013, 1,6 Mo, ISSN 1776-0941. Traducción: Eveline Tocut.

Boyer R., Freyssenet M., Los modelos productivos, Editorial Fundamentos, Madrid, 2003, 155 p. Edición numérica: freyssenet.com, 2013, 1,6 Mo, ISSN 1776-0941.

Bustamante, Jorge & Lechuga, Jesús (2013). Monopolización del trabajo complejo especializado, precio de producción y la "marca" como agente de centralización de capital. *Ensayos de Economía,* 42, 157-174.

Cantwell, J. (2002) *Innovation, profits, and growth: Penrose and Schumpeter.* In: Pitelis, C. (ed.) *The growth of the firm: the legacy of Edith Penrose*. Oxford University Press, Oxford, pp. 215-248.

Castaldi, Carolina & Dosi, Giovani (2009). Cambio tecnológico y crecimiento económico: Algunas lecciones de pautas seculares y algunas conjeturas sobre el impacto actual de las TIC. *Economía: Teoría y Práctica,* vol. 1. Pp. 81-129.

Castaneda-Navarrete Jennifer, López-Gómez Carlos y Leal-Ayala David (2020). *Comparing the UK's Response to Industry 4.0: An Internartional Perspective*. University of Cambridge. United Kingdom. En https://www.ciip.group.cam.ac.uk/reports-and-articles/comparing-the-uks-response-to-industry-40-an-inter/

Charles Lorraine, Shuting Xia and Adam Coutts (2022). *Digitalization and Employment: A Review*. International Labour Organization. En: https://www.ilo.org/employment/Whatwedo/Publications/WCMS_854353/lang--en/index.htm

Coriat, Benjamin (1991). Relaciones industriales y relación salarial. En *Pensar al revés: Trabajo y organización en la empresa japonesa* (Pp. 67-97). Ciudad de México. Siglo XXI editores.

Deloitte (2015). *Industry 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies.* Zurich, Suiza.

Diarioti (2010). *Once tecnologías y productos que marcaron la década 2000-2009.* En https://diarioti.com/once-tecnologias-y-productos-que-marcaron-la-decada-2000-2009/25533, consultado en marzo de 2023

Dosi, Giovani (1988). Sources, Procedures, and Microeconomic effects of Innovation. Journal of Economic Literature, 26(3). Pp. 1120-1171.

DW (2021). *La impresión 3D: Una revolución*. En https://youtu.be/QqrAUAXC2pQ, consultado el 19 de agosto de 2022.

European Commission (2017). *France: Industrie fu Futur.* En https://ati.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-06/DTM_Industrie%20du%20Futur_FR%20v1.pdf

International Trade Administration (2022). *Manufacturing Technology – Smart Factory*. South Korea Country Commercial Guide. En https://www.trade.gov/country-commercial-guides/south-korea-manufacturing-technology-smart-factory

Jung, Liliane (s/f). *Perfil nacional de legislación laboral: Japón*. Organización Internacional del Trabajo (OIT). En https://www.ilo.org/ifpdial/information-resources/national-labour-law-profiles/WCMS_159159/lang--es/index.htm.

Kalecki, Michal (1956). Capítulos 3, 9, 11 y 15. En *Teoría de la dinámica económica*. Ciudad de México. Fondo de Cultura Económica.

Kim Guypan, Lee Hyongkun, Lee Boram, Lee Jungeun, Son Wonju (2021). Fourth Industrial Revolution in Japan: Technology to Address Social Challenges. World Economy Brief 11(2), 1-8. En https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3815376

Kumar, Mohd & Suhaib, Mohammad (2020). Industry 4.0: Complex, disruptive, but inevitable. *Management and Production Engineering Review.* 11(1). Pp. 43-51. DOI: 10.24425/mper.2020.132942

LaGrandeur, Kevin y Hughes, James (2017). Introduction: An Overview of Emerging Technology and Employment in the Early Twenty-First Centrury. En *Surviving the Machine Age: Intelligent Technology and the Transmomation of Human Work* (pp. 1-18). New York, Estados Unidos. Palgrave Macmillan.

Mandel, Ernest (1980). Las ondas largas, las revolucione tecnológicas y los ciclos de la lucha de clases. En *Las ondas largas del desarrollo capitalista: la interpretación marxista.* Madrid, España. Siglo XXI Editores.

Marx, Karl (2009). Capítulo XIII. Maquinaria y gran industria. En *El Capital*, *Tomo I, Vol. 2* (Pp. 451-543). Madrid, España. Siglo XXI Editores.

Marx, Karl (2009). Capítulos II y XIII. La tasa de ganancia. En *El Capital*, *Tomo III, Vol. 6*. Madrid, España. Siglo XXI Editores.

Microsoft (s.f.). *What is augmented reality or AR?* En: https://dynamics.microsoft.com/en-us/mixed-reality/guides/what-is-augmented-reality-ar/, consultado el 24 de julio del 2022

Moltalbano D'Amico, Sandy (2016). *Industry 4.0: The Future of Competitiveness in U.S. Mnufacturing.* Innovative Manufactures' Center. United States. En https://imcpa.com/industry-4-0-future-competitiveness-u-s-manufacturing/

Nabi Khan, Rahat (1987). The third industrial revolution: an economic overview. En *The Third Industrial Revolution* (pp. 115-122). Impact of Science in Society, No. 146. Unesco

Nissan (2020). *Humans are the Nissan´s future factories*. En: https://global.nissanstories.com/en/releases/story-200212, consultado el 7 de diciembre de 2022.

Nonaka I, Toyama R., Nagata A (2000). A firm as a knowledge-creating entity: a new perspective on the theory of the firm, *Industrial and Corporate Change*, 9(1). Pp 1–20. DOI: https://doi.org/10.1093/icc/9.1.1

Pacific Econonomic Cooperation Council (2018). Chapter 2: The future of Jobs and Skills. En PECC State of the Region Report 2018-2019. En: https://www.adelaide.edu.au/future-employment-skills/news/list/2018/12/04/jobs-and-skills-in-the-asia-pacific-region

Pasión por las motos (2021). *Motos con impresión 3D.* En https://www.youtube.com/watch?v=sKz6obdF2JQ&ab_channel=Pasi%C3%B3nporlasMotos, consultado el 21 de agosto de 2022.

Pérez, Carlota (2004). Las revoluciones tecnológicas como grandes oleadas de desarrollo sucesivas. En *Revoluciones tecnológicas y capital financiero* (Pp. 25-104). Buenos Aires, Argentina. Siglo XXI Editores.

Ranchal, Juan (2016). *Abren en Japón la primera granja robótica*. En https://www.muycomputer.com/2016/02/05/granja-robotica/, consultado el 15 de enero del 2023.

Robinson, Joan (1956). Book II. Accumulation in the long run. En *The Accumulation of Capital* (Pp. 63-178). Illinois. Editorial: Richard D. Irwin.

Rosenberg, Nathan (1982). *Inside de Black Box.* Reino Unido. Cambridge University Press.

Rosenberg, Nathan (1983). The historiography of technical progress. En *Inside the black box: technology and economics* (pp. 3-33). Reino Unido. Cambridge University Press.

Schumpeter, Joseph A. (1934). Capítulo VI. El ciclo económico. En *Teoría del desenvolvimiento económico* (Pp. 213-254). Ciudad de México. Fondo de Cultura Económica.

Schwab, Klaus (2016). Chapter 3: Impacts. En *The Fourth Industrial Revolution* (pp. 31-51). World Economic Forum. Suiza. Visto en: https://law.unimelb.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/3385454/Schwab-The_Fourth_Industrial_Revolution_Klaus_S.pdf

Secretary of State for Business, Energy and Industrial Strategy (2019). *Regulation for the Fourth Industrial Revolution*. United Kingdom. En https://www.gov.uk/government/publications/regulation-for-the-fourth-industrial-revolution/regulation-for-the-fourth-industrial-revolution

Shaikh, Anwar (1990). Capítulo I: Conceptos básicos del análisis económico marxista. En *Valor acumulación y crisis* (pp. 27-64). Colombia. Tercer Mundo Editores.

Slashdot (2019). *What hapenned when automation came to Gerenal Motors?* En: https://tech.slashdot.org/story/19/01/05/0248207/what-happened-when-automation-came-to-general-motors, consultado el 11 de enero de 2023.

Slashdot (2019). *What happened when automation came to General Motors?* En https://tech.slashdot.org/story/19/01/05/0248207/what-happened-when-automation-came-to-general-motors, consultado el 11 de enero del 2023.

Sullivan, Arthur (2022). *Escasez de aprendices se suma al problema de mano de obra en Alemania.* DW. En: https://www.dw.com/es/escasez-de-aprendices-se-suma-al-problema-de-mano-de-obra-en-alemania/a-62997477, consultado en octubre del 2022.

Swan, Melanie (2017). Is Technological Unemployment Real? An Assesment and a Plea for Abundance Economics. En *Surviving the Machine Age: Intelligent Technology and the Transmomation of Human Work* (pp. 19-34). New York, Estados Unidos. Palgrave Macmillan.

The Federal Government (2014). *The New High-Tech Strategy Innovations for Germany.* Germany. En https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/hts_broschuere_engl_bf_1.pdf

The Government of Japan (2022). *Integrated Innovation Strategy 2022: Making Great Strides Toward Society 5.0*. En https://www.japan.go.jp/kizuna/2022/06/integrated_innovation_strategy.html

The Government of Japan (2022). *Integrated Innovation Strategy 2022: Making Great Strides Toward Society 5.0*. En https://www.japan.go.jp/kizuna/2022/06/integrated_innovation_strategy.html

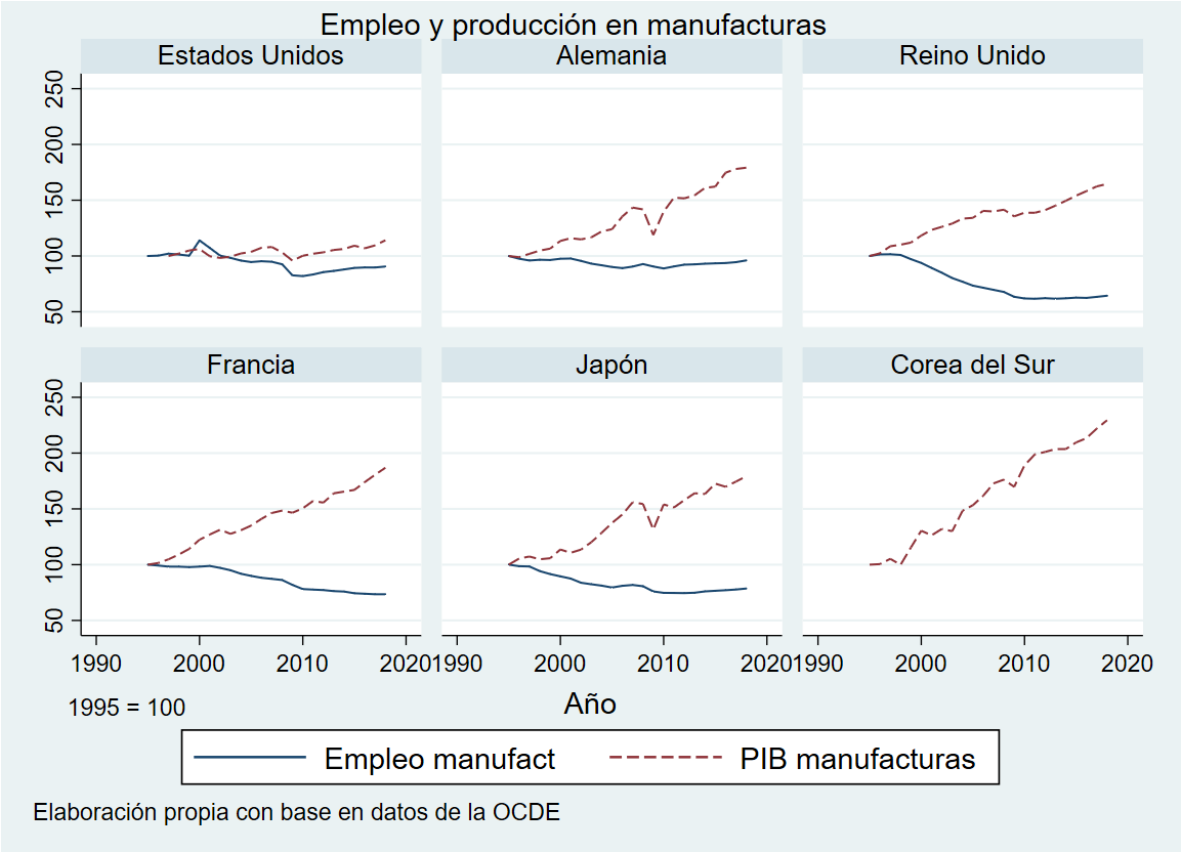
Tilley, Jonathan (2017). *Automation, robotics and the factory of the future.* McKinsey & Company. En: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/automation-robotics-and-the-factory-of-the-future, consultado el 10 de diciembre de 2022.

Tilley, Jonathan (2017). *Automation, robotics and the factory of the future.* McKinsey & Company. En: https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/automation-robotics-and-the-factory-of-the-future, consultado el 10 de diciembre de 2022.

Unidiversidad (2019). *Historia y evolución de los teléfonos celulares:* https://www.unidiversidad.com.ar/historia-y-evolucion-de-los-telefonos-celulares-con-cual-empezaste, consultado en marzo de 2023.

Anexo del capítulo 3

Gráfico 1



Elaboración propia con base en datos de la OCDE

Gráfico 2

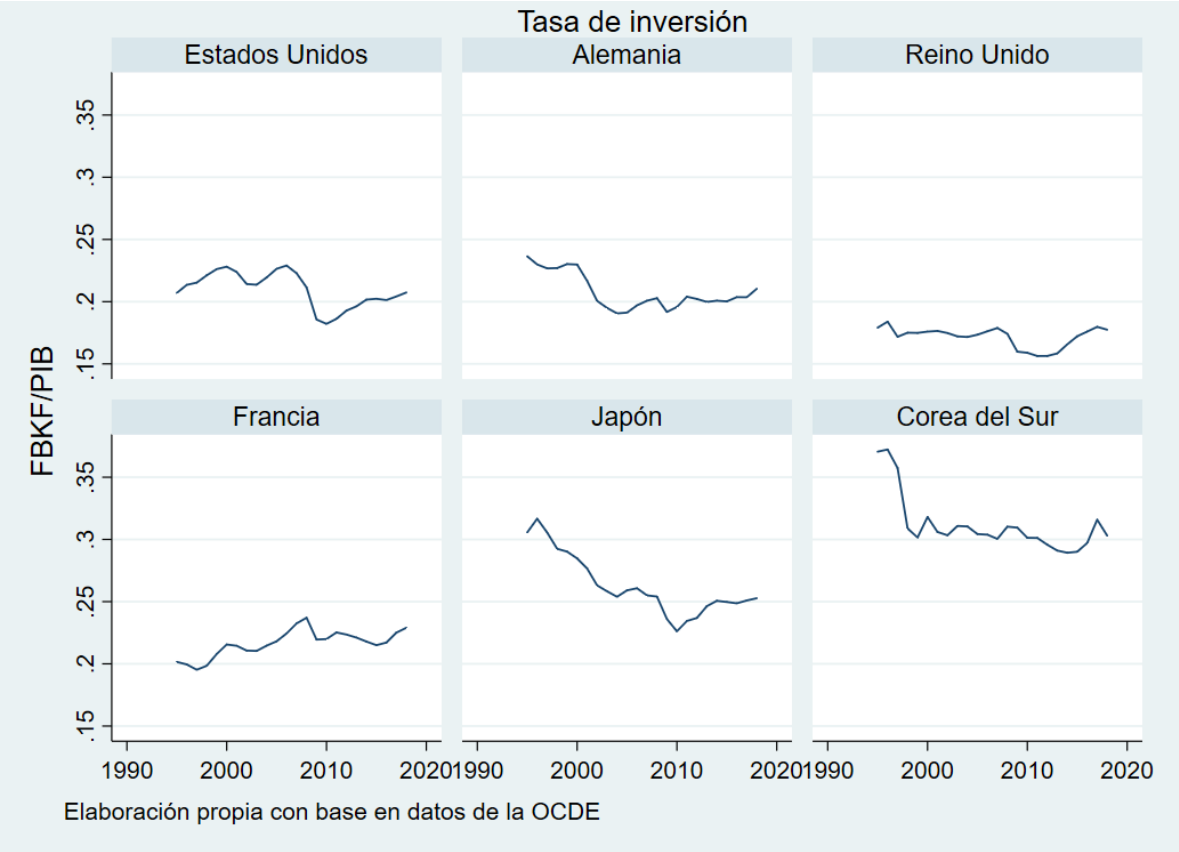
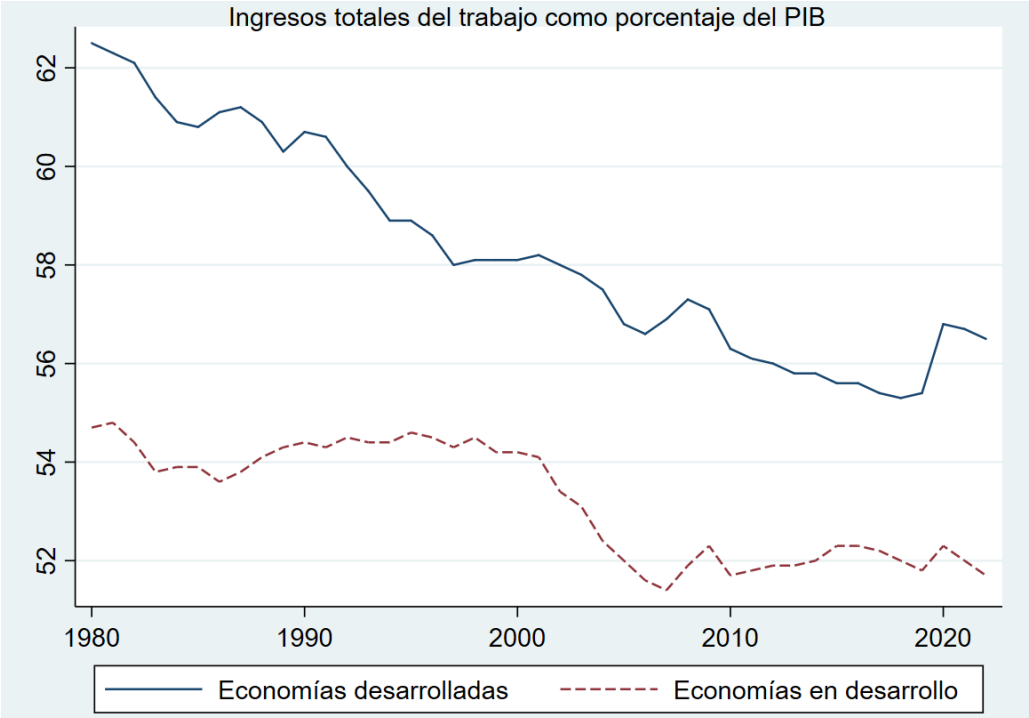

Tasa de inversión
Estados Unidos
Alemania
Reino Unido
Francia
Japón
Corea del Sur
FBKF/PIB
.15
.2
.25
.3
.35
1990
2000
2010
2020
Elaboración propia con base en datos de la OCDE

Gráfico 3



Obtenido de UNCTAD, Trade and Development Report 2022

Apéndice. Modelos econométricos del capítulo 4

Modelo 1.1

El primer modelo econométrico que se presenta es un modelo de efectos aleatorios, es decir, que cada unidad transversal tiene un intercepto diferente, es decir, las diferencias entre países son relevantes:

$$dempt_t = \alpha_0 + \beta_1\, dpib_t + e_t$$

Donde dpib se refiere al PIB real, deflactado con el índice de precios implícitos del PIB que registra la base de datos de la OCDE. Éste se transforma en logaritmos y luego se obtiene su diferencia de un periodo a otro. La variable dempt es la transformación en logaritmo del número de trabajadores totales en un año que estima la OCDE, en primeras diferencias logarítmicas.

Este modelo se escoge al realizarse la prueba del *Multiplicador de Lagrange para Efectos Aleatorios.* La hipótesis de esta prueba es:

$$H_0: \sigma^2_u = 0$$

Si se rechaza H_0 significa que si existe diferencia entre un modelo Pooled y un modelo de efectos aleatorios y es preferible usar efectos aleatorios.

El resultado de esta prueba es:

```
Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects

        dempt[id,t] = Xb + u[id] + e[id,t]

        Estimated results:
                         |       Var     sd = sqrt(Var)
                ---------+------------------------------
                   dempt |    .0001551       .0124536
                       e |     .000097       .0098475
                       u |    .0000125       .0035423

        Test:   Var(u) = 0
                                 chibar2(01) =    11.33
                              Prob > chibar2 =   0.0004
```

Ya que Prob < 0.05 se rechaza H_0, o sea que existen diferencias entre ambos modelos y es preferible usar un modelo de efectos aleatorios.

En el modelo de Efectos Fijos la prueba F contrasta los interceptos están en el rango de la significancia:

```
F test that all u_i=0: F(5, 131) = 3.80                     Prob > F = 0.0030
```

Ya que H_0: u_i = 0 (es decir, los interceptos no tienen significancia estadística), y la prob < 0.05, se rechaza H_0 y los interceptos son estadísticamente significativos, por lo que también es conveniente usar un modelo de Efectos Fijos.

Finalmente, se comparan los modelos de Efectos Fijos y Efectos Aleatorios para seleccionar el modelo más robusto estadísticamente. El resultado de la prueba de Hausman es:

```
hausman FIXED RANDOM
```

	Coefficients			
	(b) FIXED	(B) RANDOM	(b-B) Difference	sqrt(diag(V_b-V_B)) S.E.
dpib	.2672063	.2650531	.0021532	.0027227

```
                b = consistent under Ho and Ha; obtained from xtreg
     B = inconsistent under Ha, efficient under Ho; obtained from xtreg

  Test:  Ho:  difference in coefficients not systematic

              chi2(1) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
                      =          0.63
            Prob>chi2 =        0.4290
```

Se acepta H_0, es decir que la diferencia entre los coeficientes no es sistemática, por lo que es conveniente usar como referencia el modelo de Efectos Fijos.

Autocorrelación y autocorrelación contemporánea

Se utiliza la *prueba de Wooldridge para autocorrelación en datos panel.* El resultado es:

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F(  1,       5) =      5.193
           Prob > F =      0.0716
```

Se acepta H_0, es decir, que no existe autocorrelación de primer orden.

Se realiza también la prueba de Breusch y Pagan para identificar problemas de correlación contemporánea en los residuales de un modelo de efectos fijos. La H_0 es que los errores entre las unidades son independientes entre sí. El resultado es:

```
Breusch-Pagan LM test of independence: chi2(15) =    29.670, Pr = 0.0132
Based on 23 complete observations over panel units
```

Se acepta H_0, por lo que el modelo de efectos fijos presenta correlación contemporánea.

Heterocedasticidad

Se realiza la prueba modificada de Wald para comprobar si el modelo de efectos fijos presenta Heterocedasticidad. Considerando que H_0: $\sigma^2_i = \sigma^2$, el resultado es:

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6)  =       77.88
Prob>chi2 =      0.0000
```

Se rechaza H_0, por lo que el modelo de efectos fijos presenta heterocedasticidad.

En resumen, el Modelo 1.1 presenta heterocedasticidad y correlación contemporánea.

Modelo 1.2

Se realizan las mismas pruebas de los supuestos para el modelo con el periodo de 1995-2007

La prueba de autocorrelación de Wooldridge muestra que no presenta autocorrelación:

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F(  1,       5) =      2.430
           Prob > F =      0.1798
```

La prueba de correlación contemporánea resulta:

```
Breusch-Pagan LM test of independence: chi2(15) =    29.670, Pr = 0.0132
Based on 23 complete observations over panel units
```

El modelo de efectos fijos presenta correlación contemporánea

El modelo presenta heterocedasticidad cuando se trata de efectos fijos:

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6)  =       77.88
Prob>chi2 =      0.0000
```

El Modelo 1.2 presenta heterocedasticidad y correlación contemporánea.

Modelo 1.3

Las mismas pruebas para el modelo de panel del 2008-2018

La prueba de Wooldridge para autocorrelación y correlación contemporánea son:

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F(  1,       5) =      2.329
           Prob > F =      0.1875
```

```
Breusch-Pagan LM test of independence: chi2(15) =    29.670, Pr = 0.0132
Based on 23 complete observations over panel units
```

Asimismo, la prueba de heterocedasticidad de Wald:

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6)  =       77.88
Prob>chi2 =      0.0000
```

El modelo 1.3 presenta correlación contemporánea y heterocedasticidad en efectos fijos.

Modelo 2.1

El modelo seleccionado es un modelo de Efectos Aleatorios, tal que:

$$dempt_t = \alpha + \beta_1\, dfbkf_t + \beta_2\, drydt_t + \beta_3\, dpat_t + u_t + e_t$$

El modelo se transforma a:

$$dempt_t = \alpha_i + \beta_1\, dfbkf_t + \beta_2\, drydt_t + \beta_3\, dpat_t + e_t$$

donde $\alpha_i = \alpha + u_t$, es decir, que se controla el carácter individual de cada país. Las variables son dempt, que la misma variable que en el modelo econométrico 1 al igual que dfbkf. La variable drydt corresponde al gasto total en I+D que realizan los países, transformado a logaritmos y obtenido su diferencia año con año. Y la variable dpat son el registro de patentes residencias, transformado a logaritmos y obtenido su diferencia anual. El intercepto α_i representa un intercepto diferente para cada país respecto al valor medio α.

Al contrastar un modelo Pooled con uno de Efectos Aleatorios se realiza la prueba del *Multiplicador de Lagrange para Efectos Aleatorios.* La hipótesis de esta prueba es:

$$H_0: \sigma^2_u = 0$$

Si se rechaza H_0 significa que si existe diferencia entre un modelo Pooled y un modelo de efectos aleatorios y es preferible usar efectos aleatorios. El resultado de la prueba es:

```
Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects

        dempt[id,t] = Xb + u[id] + e[id,t]

        Estimated results:
                         |       Var     sd = sqrt(Var)
                ---------+------------------------------
                   dempt |   .0001551        .0124536
                       e |   .0000663        .0081406
                       u |   .0000191        .0043659

        Test:   Var(u) = 0
                                 chibar2(01) =    11.58
                              Prob > chibar2 =   0.0003
```

Se rechaza H_0 ya que prob > 0.05, por lo que si hay diferencias entre el modelo Pooled y el de efectos aleatorios, y es preferible usar el modelo de efectos aleatorios

En la prueba F de los interceptos de la regresión de efectos fijos el resultado es:

```
F test that all u_i=0: F(5, 129) = 3.80                     Prob > F = 0.0030
```

Ya que se rechaza H_0 donde los interceptos no son estadísticamente cero, y hay diferencias entre países que se reflejan en el intercepto, por lo que las diferencias entre los países son importantes.

La prueba de Hausman contrasta los estimadores del modelo de efectos fijos y del modelo de efectos aleatorios. Si se rechaza H_0 los estimadores si difieren y es más conveniente usar efectos fijos. El resultado de esta prueba es:

```
Test:  Ho:  difference in coefficients not systematic

              chi2(3) = (b-B)'[(V_b-V_B)^(-1)](b-B)
                      =          0.14
            Prob>chi2 =        0.9866
```

Ya que Prob > 0.05 se acepta H_0, y los coeficientes no difieren sistemáticamente y es más conveniente usar el modelo de efectos aleatorios.

Autocorrelación y autocorrelación contemporánea

El resultado de la prueba de Woolridge para autocorrelación en panel de datos es:

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F(  1,       5) =      4.229
           Prob > F =      0.0948
```

Se acepta H_0, por lo que no existe autocorrelación de primer orden.

La prueba de Breusch y Pagan para identificar problemas de correlación contemporánea en los residuales de un modelo de efectos fijos. La H_0 es que los errores entre las unidades son independientes entre sí. El resultado es:

```
Breusch-Pagan LM test of independence: chi2(15) =    13.875, Pr = 0.5350
Based on 23 complete observations over panel units
```

Se acepta H_0, por lo que no existe correlación contemporánea.

Heterocedasticidad

La prueba de modificada de Wald resulta en:

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6)  =       49.50
Prob>chi2 =      0.0000
```

Se rechaza H_0, por lo tanto, el Modelo 2.1 presenta heterocedasticidad.

Modelo 2.2

Las pruebas de autocorrelación y correlación contemporánea resultan:

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F(  1,       5) =      0.869
           Prob > F =      0.3940

Breusch-Pagan LM test of independence: chi2(15) =     8.683, Pr = 0.8935
Based on 12 complete observations over panel units
```

En cuanto a heterocedasticidad:

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6)  =       50.82
Prob>chi2 =      0.0000
```

El Modelo 2.2 no tiene autocorrelación ni correlación contemporánea, pero si heterocedasticidad en el modelo de efectos fijos

Modelo econométrico 2.3

Pruebas de autocorrelación y correlación contemporánea:

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F(  1,       5) =      2.125
           Prob > F =      0.2047

Breusch-Pagan LM test of independence: chi2(15) =    23.861, Pr = 0.0675
Based on 11 complete observations over panel units
```

Heterocedasticidad:

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6)  =       71.63
Prob>chi2 =      0.0000
```

El Modelo 2.3 con efectos fijos sufre de heterocedasticidad

Modelo 3.1

Se usará también un modelo Pooled. La razón de esto es que, al tratarse de un modelado en tasas de crecimiento, no existen diferencias de niveles entre las variables. El modelo es:

$$dkal_t = \alpha_0 + \beta_1\, dfbkf_t + \beta_2\, dcon_t + \beta_2\, dx_t + e_t$$

Donde dkal es el excedente bruto de explotación (obtenido por la medición del PIB por el método del ingreso) que registra la OCDE, el cual está deflactado. La variable dfbkf es la misma que se obtuvo del modelo econométrico 1. La variable dcon es el consumo de bienes finales deflactado, y dx son las exportaciones. Todas las variables se convirtieron a primeras diferencias logarítmicas.

Este modelo se escoge al realizarse la prueba del *Multiplicador de Lagrange para Efectos Aleatorios.* La H_0: $\sigma^2_u = 0$, donde u se refiere a un término de los errores del modelo de efectos aleatorios. El resultado de la prueba es:

```
Breusch and Pagan Lagrangian multiplier test for random effects

        dkal[id,t] = Xb + u[id] + e[id,t]

        Estimated results:
                         |       Var     sd = sqrt(Var)
                ---------+------------------------------
                    dkal |   .0010116       .0318051
                       e |   .0003833       .0195775
                       u |          0              0

        Test:   Var(u) = 0
                                 chibar2(01) =      0.00
                              Prob > chibar2 =    1.0000
```

Se acepta H_0 y la u_t del modelo de efectos aleatorios no es significativo para el modelo.

Para el caso de un modelo de efectos fijos, donde H_0 es que los interceptos no son cero, el resultado es:

```
F test that all u_i=0: F(5, 129) = 0.31                     Prob > F = 0.9051
```

Se acepta H_0, por lo que los interceptos son no significativos y no existe diferencias entre los países. Por lo tanto, se opta por usar un modelo Pooled.

Autocorrelación y correlación contemporánea

El resultado de la prueba de Woolridge para autocorrelación en panel de datos es:

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F(  1,       5) =      0.527
           Prob > F =      0.5003
```

Ya que Prob > 0.05 se acepta H_0 y no existe autocorrelación de primer orden.

La prueba de Breusch y Pagan para identificar problemas de correlación contemporánea en los residuales de un modelo de efectos fijos. La H_0 es que los errores entre las unidades son independientes entre sí. El resultado es:

```
Breusch-Pagan LM test of independence: chi2(15) =    33.904, Pr = 0.0035
Based on 23 complete observations over panel units
```

Se rechaza H_0. Existe autocorrelación contemporánea.

Heterocedasticidad

Utilizando la prueba modificada de Wald, tenemos que:

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6)  =       21.69
Prob>chi2 =      0.0014
```

Se rechaza H_0, por lo que existe heterocedasticidad en el modelo de efectos fijos. En resumen, el modelo 3.1 presenta autocorrelación contemporánea y heterocedasticidad.

Modelo 3.2

Pruebas de autocorrelación y correlación contemporánea:

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F(  1,       5) =      0.398
           Prob > F =      0.5559
```

```
Breusch-Pagan LM test of independence: chi2(15) =    29.154, Pr = 0.0154
Based on 12 complete observations over panel units
```

Heterocedasticidad:

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6)  =        3.04
Prob>chi2 =      0.8037
```

El modelo de efectos fijos presenta sólo presenta correlación contemporánea.

Modelo 3.3

Pruebas de autocorrelación y correlación contemporánea:

```
Wooldridge test for autocorrelation in panel data
H0: no first-order autocorrelation
    F(  1,       5) =      0.182
           Prob > F =      0.6878
```

```
Breusch-Pagan LM test of independence: chi2(15) =    28.613, Pr = 0.0180
Based on 11 complete observations over panel units
```

Heterocedasticidad:

```
Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (6)  =       48.34
Prob>chi2 =      0.0000
```

El modelo de efectos fijos presenta correlación contemporánea y heterocedasticidad.