



Universidad de Valladolid

x

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Economía

Los posibles efectos de la inteligencia artificial sobre el empleo

Presentado por:

Sofía Rodríguez Sanz

Tutelado por:

Carlos Borondo Arribas

Valladolid, 4 de julio de 2019

RESUMEN

La tecnología ha disparado el crecimiento económico en los últimos dos siglos y ha tenido efectos muy positivos sobre la productividad y el empleo. Sin embargo, con la llegada de la Cuarta Revolución Industrial y el surgimiento de nuevas disciplinas tecnológicas, tales como la Inteligencia Artificial y el aprendizaje automático, el mercado laboral está siendo sometido a una profunda transformación. Muchas tareas están comenzando a desaparecer y las nuevas que van surgiendo requieren, en su mayoría, una serie de habilidades para las que no todos los individuos están preparados. Por ello, en esta nueva era cobra especial importancia la acumulación del capital humano, convirtiéndose el factor educativo en la principal fuente de desigualdad de la población. En este trabajo se tratarán de explicar los problemas que todo ello pueda ocasionar y se darán pautas que garanticen la igualdad de oportunidades a largo plazo.

Palabras clave: automatización, Inteligencia Artificial, empleo, Cuarta Revolución Industrial.

Códigos JEL: O33, E24, J24.

ABSTRACT

Technology has triggered economic growth in the last two centuries and has had very positive effects on productivity and employment. However, with the arrival of the Fourth Industrial Revolution and the emergence of new technological disciplines, such as Artificial Intelligence and machine learning, the labor market is being undergone a profound transformation. Many tasks are beginning to disappear and most of the new ones which are emerging require a set of skills for which not all individuals are prepared. Therefore, in this new era, the accumulation of human capital is particularly important, with the educational factor becoming the main source of population inequality. In this paper we will try to explain the problems that all this may cause and guidelines will be given that guarantee equal opportunities in the long term.

Key words: automation, Artificial Intelligence, employment, Fourth Industrial Revolution.

JEL Codes: O33, E24, J24.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| 2. RECORRIDO HISTÓRICO DE LOS AVANCES TECNOLÓGICOS..... | 6 |
| 2.1. Las anteriores revoluciones industriales..... | 6 |
| 2.2. La Cuarta Revolución Industrial..... | 9 |
| 2.3. El pensamiento económico acerca de la tecnología..... | 11 |
| 3. EVALUACIÓN DE IMPACTO..... | 17 |
| 3.1. Efectos sobre la productividad..... | 17 |
| 3.2. Efectos sobre el empleo..... | 21 |
| 3.3. Efectos sobre los salarios..... | 26 |
| 4. UN MODELO MACROECONÓMICO PARA ANALIZAR LOS EFECTOS DE LA AUTOMATIZACIÓN..... | 29 |
| 4.1. Efectos de la automatización de los procesos productivos..... | 32 |
| 4.2. Inversión en educación..... | 34 |
| 4.3. Crecimiento endógeno..... | 35 |
| 4.4. Simulaciones para acercarnos al futuro..... | 37 |
| 5. CONCLUSIONES..... | 40 |
| Referencias bibliográficas..... | 43 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| GRÁFICO 2.1. Evolución del PIB per cápita entre 1875 y 2016 (en dólares de EE.UU de 2011, PPA) | 8 |
| GRÁFICO 2.2. Tasa de empleo entre 1960 y 2018 (número de ocupados entre población de 15-64 años) | 11 |
| GRÁFICO 2.3. Stock de capital neto por trabajador (K/L) o “intensidad del capital” (en miles de euros, PPA 2010)..... | 12 |
| GRÁFICO 2.4. PIB por trabajador (Y/L) (en miles de euros, PPS 2010) | 13 |
| GRÁFICO 2.5. Stock de capital neto por unidad de producto (K/Y) | 13 |
| GRÁFICO 3.1. Evolución de la productividad laboral (Y/L) a precios constantes (2010=100) entre 1960 y 2018..... | 18 |

| | |
|---|----|
| GRÁFICO 3.2. Relación entre la productividad laboral real por persona y el porcentaje de trabajadores en sectores de alta tecnología (1995 y 2018) | 20 |
| GRÁFICO 3.3. Tasa NAWRU entre 1965 y 2018 (expresado en porcentaje)..... | 22 |
| GRÁFICO 3.4. Nivel de cualificación de la población de entre 15 y 64 años para 2004 y 2017 (expresado en porcentaje) | 26 |
| GRÁFICO 3.5. Evolución de la diferencia salarial por nivel educativo en 2006, 2010 y 2014 (en PPA) | 27 |
| GRÁFICO 4.1. Simulación de los efectos que tendría un aumento de la productividad de los trabajadores más cualificados sobre las tareas de baja cualificación | 38 |
| GRÁFICO 4.2. Simulación de los efectos que tendría un aumento de la productividad de los trabajadores más cualificados sobre las tareas de baja y media cualificación | 39 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| TABLA 3.1. Evolución de las tasas de crecimiento de la productividad y las de sus componentes (1960-2018) | 19 |
| TABLA 3.2. Algunas ocupaciones con mayor y menor riesgo de ser automatizadas | 24 |

1. INTRODUCCIÓN.

El biólogo Charles Darwin apuntaba que en el mundo solo sobrevivían las especies con mayor capacidad de adaptación al medio. Se trata de un proceso de selección natural de aquellos seres capaces de adquirir, con el paso del tiempo, determinadas características que le permitan sobrevivir. Siguiendo esta línea, el concepto de “darwinismo tecnológico” del que habla Perasso (2016) viene referido al proceso de adaptación de las sociedades a los cambios en el mercado laboral como consecuencia del progreso tecnológico, tanto por parte de los trabajadores como de las empresas.

A lo largo de este trabajo nos dedicaremos a investigar las necesidades de ajuste de los individuos frente a las nuevas formas de empleo que irán surgiendo por la incorporación de las nuevas tecnologías a los sistemas productivos, así como las desigualdades que se generarán entre aquellos que sean capaces de adaptarse al cambio y aquellos que se vayan quedando atrás.

Esas nuevas tecnologías cada vez adoptan una forma más humana, haciendo nuestra vida más fácil. Las tres principales son la Inteligencia Artificial (IA), el aprendizaje automático y el Internet de las cosas (IoT, por sus siglas en inglés).

La Real Academia Española define la Inteligencia Artificial como la “disciplina científica que se ocupa de crear programas informáticos que ejecutan operaciones comparables a las que realiza la mente humana, como el aprendizaje o el razonamiento lógico”.

Por su lado, el Internet de las cosas viene referido a la idea de “conectar objetos entre sí y a Internet”. Más exactamente, es el “conjunto de escenarios en los que la conectividad a Internet y la capacidad de cómputo se extienden a una variedad de dispositivos de uso diario” (Rose y otros, 2015, pp. 13).

Esta nueva era tecnológica que viene desarrollándose desde finales del pasado siglo es conocida como la Cuarta Revolución Industrial, y son muchos los autores que la consideran un punto de inflexión en la historia de la humanidad como consecuencia de su gran capacidad para transformar las economías y sus sociedades (Schwab, 2016). Y en ello, específicamente, vamos a centrarnos.

La elección de este tema viene justificada por el interés sobre las nuevas tecnologías y sus efectos sobre la economía. El objetivo, por lo tanto, es investigar desde el punto de vista económico cómo la tecnología ha venido afectando y, sobre todo, cómo afectará a la vida de las personas. Dado que la actividad en la que los individuos invierten más tiempo es el empleo y que este constituye su principal fuente de recursos, el título de este trabajo es la combinación perfecta para someter a estudio.

De esta manera, comenzaremos haciendo un análisis de largo plazo en la sección dos, explicando las revoluciones industriales y tecnológicas anteriores y el nacimiento de la actual, así como un balance de sus efectos sobre el crecimiento económico y el empleo. Además, se recopilan en dicha sección los principales postulados sobre el progreso técnico de algunos de los economistas más importantes.

En la sección tres, una vez definido el concepto de automatización, se analizará el impacto de esta sobre la productividad, el empleo y los salarios en el medio y corto plazo. Como veremos, este proceso generará ciertas desigualdades sociales, donde el factor educativo tiene un papel fundamental.

Por otro lado, con el fin de modelizar el impacto que la automatización tiene sobre el empleo, en la sección cuatro estudiaremos un modelo completamente nuevo ideado por Jeffrey Sachs (2018). También se darán algunas pautas de ampliación del mismo y se explicarán las dos simulaciones que el autor ha parametrizado en su estudio.

Para finalizar, en la sección cinco se expondrán algunas medidas que podrían servir de guía para solucionar el problema planteado a largo plazo y se extraerán las conclusiones principales que se deducen de este estudio.

2. RECORRIDO HISTÓRICO DE LOS AVANCES TECNOLÓGICOS.

2.1. Las anteriores revoluciones industriales.

El impacto ocasionado en nuestras vidas por la tecnología no es algo nuevo, sino que viene dándose desde la más remota antigüedad. Como dice Schwab (2016), fundador del Foro Económico Mundial: *“las revoluciones se han producido a lo largo de la historia cuando nuevas tecnologías y formas de percibir*

el mundo desencadenan un cambio profundo en los sistemas económicos y las estructuras sociales” (p.11). En la historia contemporánea, son tres las grandes revoluciones industriales y tecnológicas que el mundo ha vivido.

El primer cambio abrupto se produjo entre 1760 y 1840 y significó el paso de una sociedad agraria a una sociedad industrial. La Primera Revolución Industrial, originada en Inglaterra, supuso un cambio profundo en las formas de trabajo y en la estructura de la sociedad. El nacimiento de inventos como la máquina de vapor (por J. Watt en 1774) o el ferrocarril (por G. Stephenson en 1825) sustituyeron tanto la energía animal como la humana (UNED, 2009).

A raíz de la incipiente introducción de máquinas textiles en los talleres de costura de Gran Bretaña, se originó un violento movimiento obrero conocido como “Ludismo”. Los trabajadores de dichos talleres, enormemente especializados en realizar siempre la misma tarea, vieron amenazados sus puestos de trabajo. Cualquier persona podría utilizar las nuevas máquinas, por lo que su mano de obra pasaría a ser prescindible. Por ello, con el fin de no perder sus empleos, se agruparon y decidieron asaltar las fábricas y destruir los nuevos inventos. Sin embargo, la realidad terminó imponiéndose y el fuerte avance tecnológico demostró ser imposible de frenar. Como consecuencia, cayeron los precios de la ropa, pues las empresas podían producir lo mismo que los trabajadores al mismo coste, pero en menos tiempo (Skidelsky, 2019).

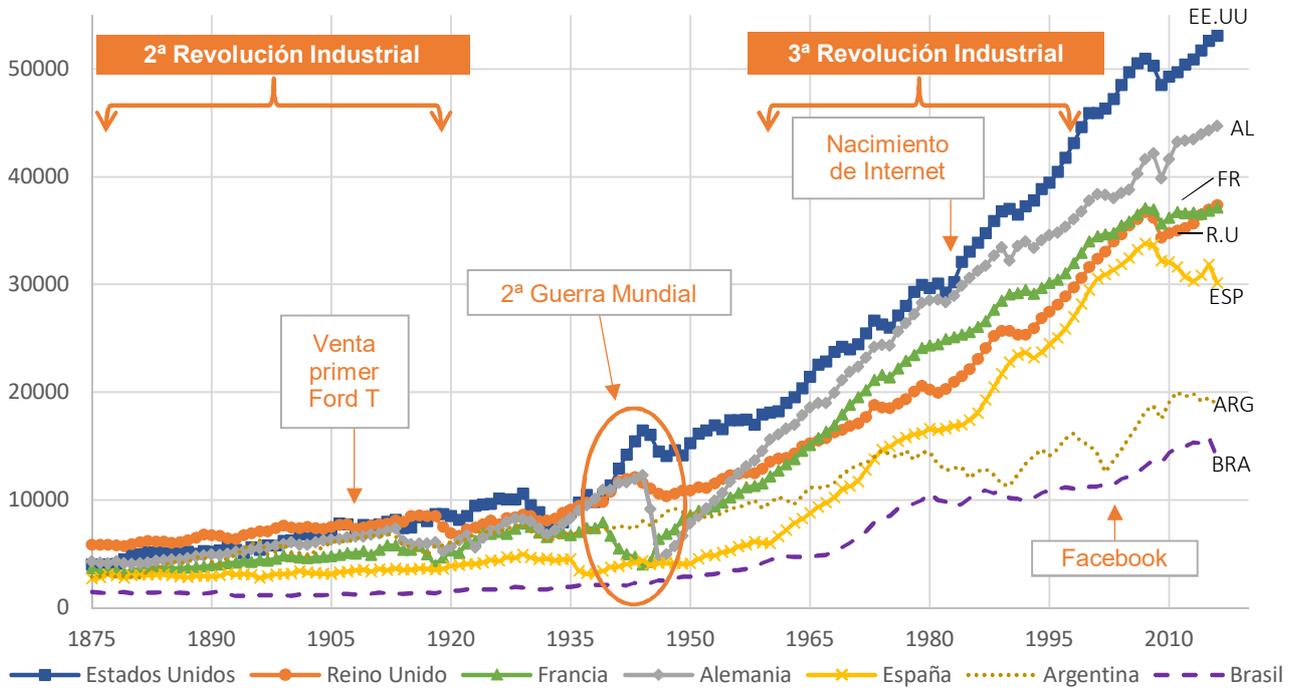
La Segunda Revolución Industrial llegó a mediados del siglo XIX y se extendió hasta principios del siglo XX. Una de las innovaciones más importantes fue la producción de acero a bajo coste. De la misma forma, estos años tuvieron gran importancia por la implantación de la luz eléctrica, el refinado del petróleo o el crecimiento de la industria química.

Pero, sobre todo, lo que más nos interesa de esta etapa es la masificación del consumo y la producción gracias a la introducción de la cadena de montaje para la fabricación del famoso Ford “T” en 1913. Esta nueva forma de organización del trabajo permitía ahorrar tiempo y abaratar los costes (Prats y otros, 2013).

En la década de los 60 da inicio la Tercera Revolución Industrial, que es la responsable de la transformación digital de la sociedad y el gran paso a la

globalización. En su seno surgieron los ordenadores (que empezaron a llegar a los hogares en los años 70 y 80) e Internet (1983).

GRÁFICO 2.1. Evolución del PIB per cápita entre 1875 y 2016
(en dólares de EE.UU de 2011, PPA¹)



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Maddison Project 2018.

Todo ello ha hecho que el PIB no cesase de crecer en países como Estados Unidos (EE.UU), Reino Unido o Alemania. Con la automatización², el ritmo de crecimiento sigue la misma dirección, lo que nos indica que las nuevas tecnologías tienen un vínculo positivo con el crecimiento económico a largo plazo. Esto es, en definitiva, lo que podemos observar en el gráfico 2.1.

Además, existen diferencias considerables entre los países más y menos desarrollados. Si observamos la evolución del PIB per cápita en Argentina o Brasil, vemos un crecimiento positivo pero débil respecto al resto de los países representados. Mientras las economías avanzadas están presenciando la Cuarta Revolución, muchas otras están aún experimentando las anteriores. Millones de

¹ **PPA**: "Paridad del Poder Adquisitivo". Se trata del tipo de cambio artificial que permite comprar la misma cantidad de bienes y servicios en otro país con una cuantía de dinero fija.

² La **automatización** es la incorporación de nuevas máquinas y procesos tecnológicos en la producción, de manera que desplazan a la mano de obra a la que sustituyen.

personas aún no disponen de luz eléctrica (el 17% de la población mundial) o de acceso a Internet (más de la mitad de la población mundial) (Schwab, 2016).

A través de esta ilustración, se confirma lo que decían Díez y Neut (2018):

“La innovación tecnológica ha sido la principal fuente de crecimiento de las economías desarrolladas. Ha sido clave para que hoy, en España, el trabajador medio dedique un tercio menos de horas a la vez que se le remunera ocho veces más que a principios del siglo XX” (p.1).

Tras este éxito, muchos autores han intentado explicar los efectos que la automatización genera sobre el crecimiento económico y el empleo. Por ejemplo, J. M. Keynes (1930) habló acerca del “desempleo tecnológico” como una nueva enfermedad que estaba afectando a la población, según él, *“debido al descubrimiento de medios para economizar el uso de mano de obra, que supera el ritmo al que podemos encontrar nuevos empleos” (p.364).*

2.2.La Cuarta Revolución Industrial.

En la década de los 80, da comienzo la denominada Cuarta Revolución Industrial o “Revolución de las TICs”³. Los procesos de automatización cada vez eran más baratos y rentables, por lo que la tecnología ya llegaba incluso a las pequeñas empresas y a la sociedad de clase media (ordenadores, por ejemplo).

La principal diferencia entre esta Revolución y las anteriores reside en su efecto expansivo. Su velocidad y amplitud son mucho mayores gracias a la globalización, estimulada por el libre movimiento de ideas, personas y bienes. Eso no significa que estas nuevas tecnologías surjan de la nada, sino que se trata de una transición que toma sus bases de la Revolución anterior para construir nuevos sistemas (Schwab, 2019).

Uno de ellos es la IA, definida en la introducción. Ya en 1950, A. Turing (considerado el padre de la ciencia de la computación) escribió sobre ella en su trabajo *“Computing machinery and intelligence”* y presentó el “Test de Turing” en 1954, con el objetivo de responder a la pregunta de si las máquinas pueden

³ Otros autores, sin embargo, apuntan que comenzó a principios de este siglo.

realmente pensar. Esta prueba, aún hoy en uso, mide el grado de semejanza del comportamiento de una máquina al de un humano (Ball, 2015).

En el año 1956 se celebró la “Conferencia de Dartmouth”, a la que asistieron expertos en tecnología invitados por J. McCarthy, M. L. Minsky, C. Shannon y N. Rochester, científicos especializados en el aprendizaje automático de las máquinas. Es en esta reunión donde surge el término de IA (López de Mántaras, 2016).

Los años 70 fueron muy duros para el avance de la IA por la reducción de la financiación, en parte motivada por la obra de H. Dreyfus publicada en 1972 “*Lo que las máquinas aún no pueden hacer*”, en la que criticaba sus limitaciones (Rodríguez Cid, 2018).

A partir de entonces, los descubrimientos en IA han sido muy variados. El éxito que más vueltas ha dado al mundo ha sido “Sophia”, la primera mujer robot reconocida como ciudadana de un país desde 2017, gracias a la combinación de cámaras de reconocimiento de objetos, la sintetización del lenguaje natural y la buena movilidad que lleva incorporados⁴. Tampoco se debe olvidar el incipiente desarrollo de los coches autónomos, en los que empresas como Tesla o Ford están invirtiendo cantidades ingentes. Si todo continúa al mismo ritmo, estima R. Kurzweil (futurista de nuestros días) que para 2045 los ordenadores podrían pensar y razonar mejor aún que un ser humano (Rodríguez Cid, 2018).

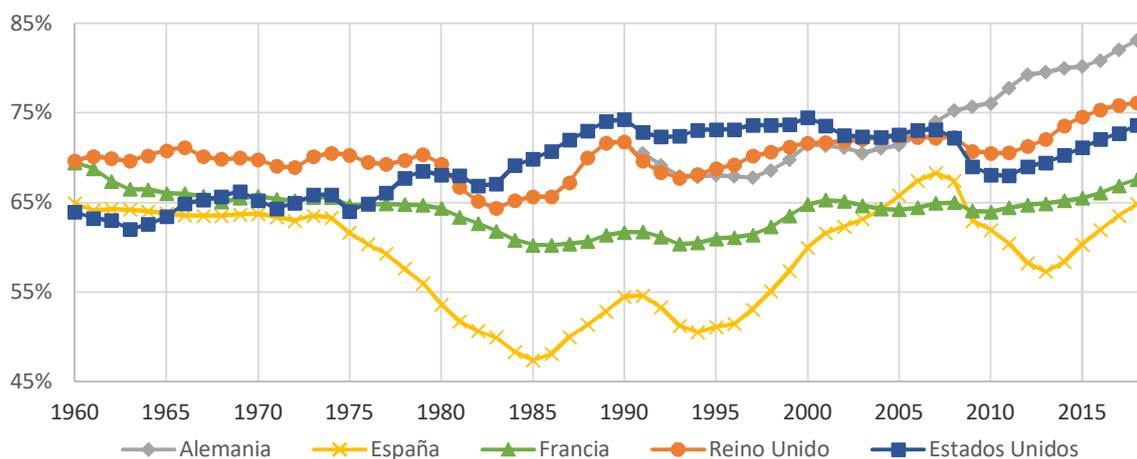
Como consecuencia de esa fuerte intensidad tecnológica, en un principio podría pensarse que muchos empleos acabarían desapareciendo. Sin embargo, tal y como afirman los expertos, hasta ahora las nuevas tecnologías no han ejercido de sustitutos de la mano de obra en el seno de las empresas, sino que realmente empleo y PIB han crecido de manera favorable a largo plazo.

En el gráfico 2.2 se representa la tasa de empleo entre 1960 y 2018. Utilizamos la tasa para eliminar el sesgo que provocaría hablar del número de ocupados en términos absolutos, pues la población ha venido creciendo a lo

⁴ Es importante destacar que, si se analizaran dichas características por separado, existen empresas que ofrecen unos sistemas de movilidad o reconocimiento mucho mejores que las de “Sophia”, creada por la empresa “Hanson Robotics”.

largo de la historia y, por lo tanto, el número de ocupados también. Por ello, lo mejor es realizar este estudio en términos relativos, es decir, analizar la evolución del número de ocupados en relación con el total de personas en edad de trabajar, consiguiendo así una mayor fiabilidad de los resultados.

GRÁFICO 2.2. Tasa de empleo entre 1960 y 2018 (número de ocupados entre población de 15-64 años)



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Ameco.

Tal y como se observa en dicho gráfico, la evolución de la tasa de empleo ha sido favorable en las distintas economías, excepto en Francia y España, donde posiblemente factores demográficos (como el envejecimiento) y sociales (como la incorporación de la mujer al mercado laboral) lo oscurecen. En todo caso, se mantiene la tendencia creciente a largo plazo en todos los países.

En definitiva, lo que se trata de demostrar con este estudio es que, pese a todas las transformaciones producidas, hasta ahora las revoluciones tecnológicas e industriales han tenido un efecto positivo, pues han favorecido un crecimiento del PIB per cápita y de la tasa de empleo perdurable en el tiempo.

2.3. El pensamiento económico acerca de la tecnología.

En esta subsección introducimos algunas consideraciones de la teoría del crecimiento sobre el efecto del progreso técnico en la economía, empezando por Solow (1956), que a través de su modelo de crecimiento económico pretendía analizar la relación existente entre el crecimiento del stock de capital (mediante

la tasa de ahorro), el crecimiento de la población y los avances de la tecnología. Para ello propuso la siguiente función de producción de tipo Cobb Douglas:

$$Y_t = AK_t^\alpha L_t^{1-\alpha}, \quad A_t > 0, 0 < \alpha < 1 \quad (1)$$

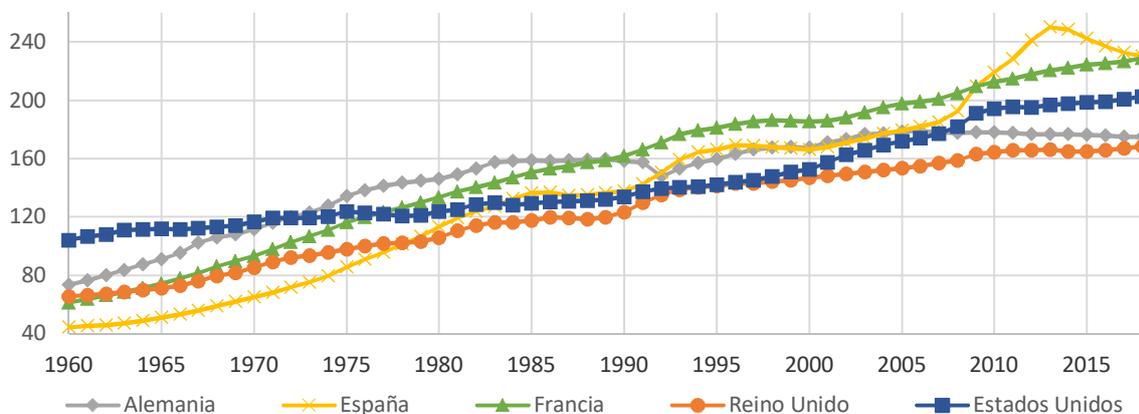
Donde K es el capital y L el número trabajadores, ambas predeterminadas al principio del período. Por otro lado, A es el progreso técnico, introducido como un parámetro constante en la función. En términos per cápita la función quedaría:

$$y_t = Ak_t^\alpha \quad (2)$$

De (2) se obtendría la productividad marginal del capital (Pma_k), que es decreciente y que provoca que, llegados a cierto punto, el capital ya no crezca más. Por lo tanto, a largo plazo la tasa de crecimiento económico por trabajador tiende a cero.

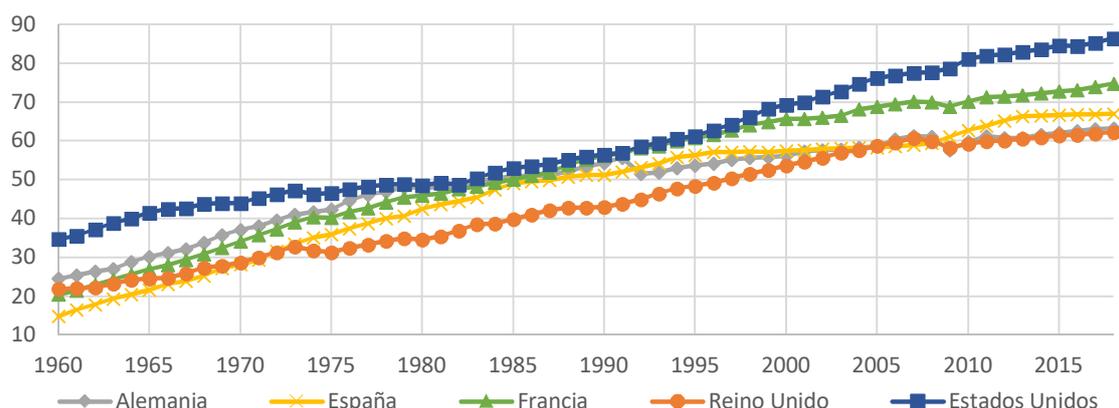
Este modelo inicial no incorporaba el progreso técnico (A constante), lo que hacía que las predicciones obtenidas no fueran las mejores. Por ejemplo, consideraba que el ratio “capital por trabajador” (K/L) y el ratio “PIB por trabajador” (Y/L) eran constantes, cuando eso no es cierto, pues tienden a aumentar a largo plazo, tal y como podemos observar en los gráficos 2.3 y 2.4 para los cinco países elegidos. Sí que acertó prediciendo que el ratio “capital por unidad de producto” (K/Y) era constante, como se puede ver en el gráfico 2.5. En este último, se parte de una misma base (ratio igual a 3) en 1960 y se observa que las variaciones son, como mucho, de un punto.

GRÁFICO 2.3. Stock de capital neto por trabajador (K/L) o “intensidad del capital” (en miles de euros, PPA 2010)



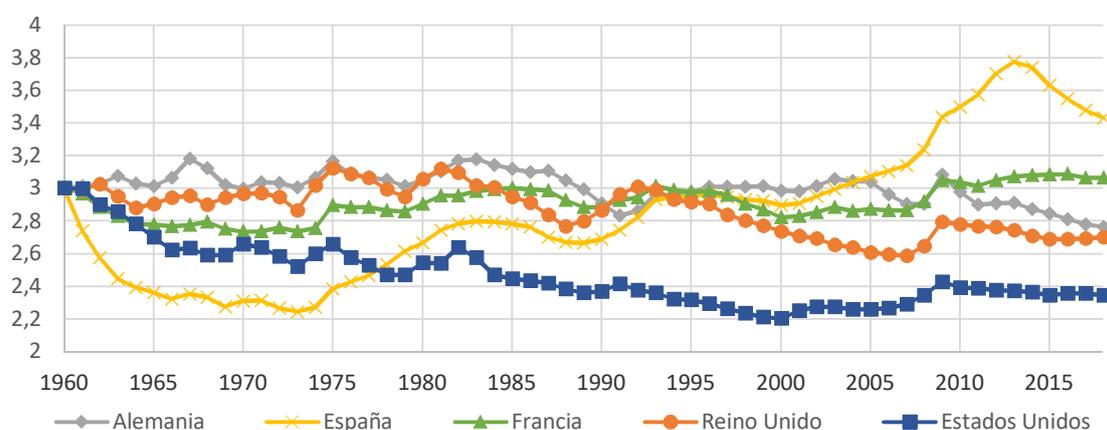
Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Ameco.

GRÁFICO 2.4. PIB por trabajador (Y/L) (en miles de euros, PPA 2010)



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Ameco.

GRÁFICO 2.5. Stock de capital neto por unidad de producto (K/Y)



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Ameco.

Con el fin de resolver estos problemas, Solow introdujo ampliaciones, como el progreso técnico exógeno (es decir, determinado fuera del modelo), el cual es considerado gratuito (no es necesario destinar una parte del PIB a su inversión) y cuya función de producción quedaría de la siguiente manera:

$$Y_t = K_t^\alpha (A_t L_t)^{1-\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3)$$

En términos per cápita quedaría:

$$y_t = k_t^\alpha A_t^{1-\alpha} \quad (4)$$

Donde A_t crece a una tasa constante g y acompaña al trabajo L_t , originando el concepto de “trabajo eficiente”. En el estado estacionario, el capital per cápita crece a una tasa constante que coincide ahora con g y que determina un ritmo de crecimiento igual de la renta per cápita y del consumo per cápita. Es decir, $\frac{K}{L}$

y $\frac{Y}{L}$ crecen de forma continuada con esta mejora del modelo. Sin embargo, sigue habiendo limitaciones, pues no explica el comportamiento de la tasa g (es exógena).

Otra ampliación importante fue la introducción del factor educativo en el modelo, que implica un mejor uso de la tecnología y del capital físico. La función de producción sería:

$$Y_t = AK_t^\alpha (h_t L_t)^{1-\alpha} \quad (5)$$

Al conjunto de conocimientos adquiridos por los trabajadores se le denomina capital humano (h). Gracias a ello, se observa la fuerte interrelación entre el nivel educativo y el salario, lo que conlleva mayores niveles de PIB per cápita.

Más tarde, Romer (1986) desarrolló un nuevo modelo que considera endógeno el crecimiento sin progreso técnico, manteniendo constante la PMa_k . La función de producción incorpora una acumulación de conocimientos B_t medidos según el nivel de importancia μ que tengan:

$$Y_t = AK_t^\alpha L_t^{1-\alpha} B_t^\mu \quad (6)$$

Utilizando el capital por trabajador k para medir B y pasando la función de producción a términos per cápita se obtendría lo siguiente:

$$y_t = Ak_t^{\alpha+\mu} \quad (7)$$

De tal forma que solo cuando $\mu = 1 - \alpha$, tendremos una senda de crecimiento equilibrado (SCE) donde el capital crece de manera constante ($y = Ak$). Gracias a la acumulación de conocimientos, que permite un manejo más efectivo del capital, se consigue que la PMa_k no caiga y se mantenga constante.

Existe, asimismo, un modelo que combina el proceso de acumulación de capital de Solow con el proceso de acumulación de ideas de Romer, llamado "Modelo combinado Solow-Romer", que justifica el crecimiento a largo plazo a través de la generación de ideas de personal especializado. La tasa de crecimiento de la producción es mayor que en el modelo de Romer y además hereda la dinámica de transición del modelo de Solow, por lo que también explica las diferencias en tasas de crecimiento entre países y en distintos períodos.

Por otra parte, tenemos el modelo MRW, planteado por N. G. Mankiw, D. Romer y D.N. Weil (1992), que considera tres factores de producción: el trabajo en un sentido convencional, el capital físico y el capital humano, tomando a este último como un bien competitivo⁵. De esta forma, al igual que en el modelo de Solow, la parte de renta generada que se ahorra se destina a la inversión en capital, que ahora se divide en dos. Es así como se introduce la competencia entre uno y otro en el seno de las empresas hasta que sus productos marginales se igualen. Esto nos ayudará a comprender, en la subsección 3.3, por qué la participación del capital en la renta de las economías está creciendo tanto en detrimento de la participación del trabajo.

Con el fin de profundizar en los factores económicos que contribuyen al progreso técnico, se parametrizaron los modelos de innovación horizontal y vertical, todos ellos con una función de generación de conocimientos propia.

Los primeros se centran en descubrir nuevas variedades de bienes intermedios que permitan producir más bienes finales de manera que los nuevos bienes conviven con los antiguos y permiten aumentar la productividad de las empresas. Así, el modelo de Romer (1990) permite relacionar directamente crecimiento endógeno, progreso técnico y gasto en I+D. Las empresas que fabrican bienes intermedios obtienen patentes perpetuas que les permiten la exclusividad en su producción. Lo que el modelo explica, en definitiva, es que el PIB per cápita solo aumenta si crece la variedad de estos bienes intermedios (progreso técnico), y esto es posible gracias al gasto en I+D (que se determina dentro del modelo).

Sin embargo, la tasa de crecimiento no es la óptima debido a la condición monopolista de las empresas, pues los precios serán superiores al coste marginal y el consumo per cápita será menor al adecuado. Además, existe un “efecto escala” determinado por el tamaño del país, de manera que si la población crece de forma continuada, las variables per cápita crecerán a tasas cada vez mayores, algo que en la realidad no ocurre.

⁵ Estos autores se basaron en el modelo que R. E. Lucas publicó en 1988.

Existe una variante de este modelo que diferencia entre científicos L_A y el resto de los trabajadores L_Y que producen el bien final, cuyo salario crece con el número de variedades (es decir, al mejorar el progreso técnico). Esto ocurre cuando aumenta el número de científicos L_A que, a su vez, vendría condicionado por el ritmo de crecimiento de la población g_N^* . Se consigue eliminar así el “efecto escala” anterior, pero la tasa de crecimiento sería exógena, dejando de explicar el proceso de generación de ideas. Con el “spillover” o desbordamiento intertemporal que introduce Romer (1990) sí que se conseguiría endogeneizar el empleo, pero tendríamos de nuevo efectos de escala. Esto lo solucionó Jones (1995) definiendo un parámetro ϕ que regule dicho desbordamiento, de tal forma que se puedan tener en cuenta los conocimientos anteriores y cada vez lleve más tiempo dar con nuevas ideas.

Por otro lado, los modelos de innovación vertical consideran que la productividad de los bienes intermedios aumenta al mejorar su calidad. De esta manera, las empresas son monopolistas temporalmente hasta que aparece otra que mejora el producto. Aghion y Howitt (1992) consideran que el número de inputs viene dado y que la mayor calidad de los mismos se consigue con una mejora en la productividad de la innovación A_i . Para poder compararlo con el anterior, es preferible tomar el modelo de Aghion y Howitt (2005).

Aquí, la probabilidad de éxito de la investigación depende positivamente de los recursos empleados en ella e inversamente de A_i , cuya tasa de crecimiento varía en función de la actividad investigadora (la productividad de la investigación y el tamaño de la innovación) y también presenta “efecto escala”, es decir, el beneficio de la I+D depende del tamaño del mercado. Lo que se deduce de este modelo es que la tasa de crecimiento del PIB per cápita viene determinada por el progreso técnico.

En definitiva, estos modelos de crecimiento no nos permiten conocer los efectos previstos de la tecnología sobre el empleo, pues la oferta de trabajo es vertical a largo plazo. Para estos autores, la clave está en que el progreso técnico favorece una mejora de la productividad marginal del trabajo (PMa_L) y eso aumenta la demanda de mano de obra por parte de las empresas, lo que desencadena un crecimiento de los salarios. La conclusión a la que llegamos en

esta subsección, por lo tanto, es que a pesar de que estos modelos no nos sirven para evaluar los efectos sobre el empleo a corto y medio plazo, sí que dejan ver los efectos positivos que la tecnología tiene sobre los salarios y el crecimiento económico.

En la sección seis se introducirá un modelo reciente que permite analizar con detalle los efectos de la automatización sobre el empleo dependiendo del nivel de cualificación que tengan los individuos, es decir, dependiendo del capital humano que estos lleven incorporado.

3. EVALUACIÓN DE IMPACTO.

Parece lógico que las empresas traten de beneficiarse del progreso tecnológico, pues eso las permite mejorar su productividad y adaptarse a los cambios que se van produciendo. Así, la introducción de la IA en los procesos productivos es algo que ya está a la orden del día. La tecnología evoluciona continuamente y son los trabajadores y la sociedad en general quienes deben adaptarse a ella.

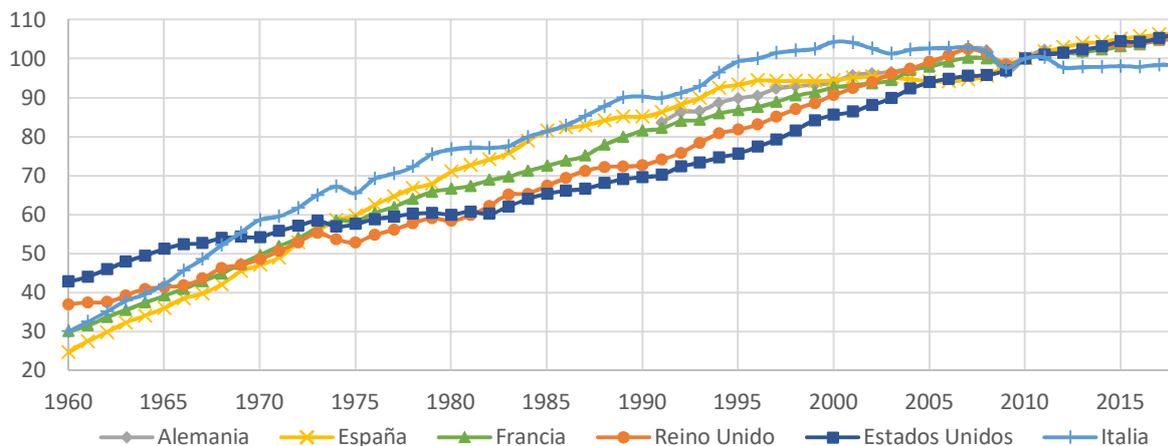
Por ello, en esta sección se tratará de ir más allá y profundizar en los efectos que el progreso técnico tiene sobre las distintas variables afectadas en el medio y corto plazo, especialmente en la referida al empleo.

3.1. Efectos sobre la productividad.

Son muchos los que ven el proceso de automatización como una solución al problema del estancamiento del crecimiento de la productividad que viene dándose desde hace años. Un impulso en la misma supondría, en primera instancia, un mayor crecimiento económico y, por lo tanto, una mayor capacidad de consumo de la población, lo que permitiría una mayor demanda de empleo por parte de las empresas. Esto ha venido ocurriendo desde la Primera Revolución Industrial.

En los países más desarrollados, no debemos olvidar que la productividad (definida como la producción por hora trabajada) es 25 veces más alta ahora que hace 200 años, y todo gracias a los avances tecnológicos (Skidelsky, 2019). En el gráfico 3.1 se puede observar su evolución de 1960 a 2018 y ese progresivo estancamiento en las últimas décadas, sobre todo en Italia.

GRÁFICO 3.1. Evolución de la productividad laboral (Y/L) a precios constantes (2010=100) entre 1960 y 2018



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Ameco.

Nota: En el caso alemán se toma como primer dato el de 1991 por falta de otros anteriores.

Analíticamente, con el fin de estudiar el comportamiento de la productividad, se partirá de la siguiente ecuación de crecimiento del PIB:

$$\hat{Y} = \hat{A} + \alpha \hat{K} + (1 - \alpha) \hat{L} \quad (8)$$

De la cual, se llega a la siguiente transformación:

$$\left(\frac{\hat{Y}}{\hat{L}}\right) = \hat{A} + \alpha \left(\frac{\hat{K}}{\hat{L}}\right) \quad (9)$$

Gracias a ella, se entiende que el crecimiento de la productividad $\frac{\hat{Y}}{\hat{L}}$ depende de la Productividad Total de los Factores (PTF) \hat{A} y de la intensidad del capital $\frac{\hat{K}}{\hat{L}}$, cuyo peso vendría determinado por la participación del capital en el PIB (α).

Una vez vista esta pequeña pincelada teórica, se presenta la tabla 3.1, donde se refleja la evolución por tramos de aproximadamente 20 años tanto del crecimiento de la productividad como del de sus componentes, para España, Alemania, Francia y Estados Unidos.

Como se puede observar, en los últimos años la productividad se ha resentido debido fundamentalmente a un menor crecimiento de la PTF. Si esto continúa ocurriendo, el crecimiento económico se estancará y el nivel de vida de la población retrocederá. Algunos autores justifican este suceso alegando que esto

ocurre porque los efectos de la Cuarta Revolución Industrial en realidad aún no han calado en la economía.

TABLA 3.1. Evolución de las tasas de crecimiento anual acumulado de la productividad y sus componentes (1960-2018)⁶

| | | Crecimiento de la productividad | Crecimiento de la PTF | α | Crecimiento de la intensidad del capital |
|-----------|----------|---------------------------------|-----------------------|----------|--|
| 1960-1979 | Alemania | 3,60% | 2,19% | 0,39 | 3,62% |
| | España | 5,49% | 3,83% | 0,35 | 4,73% |
| | Francia | 4,31% | 2,86% | 0,36 | 4,04% |
| | EE.UU | 1,83% | 1,53% | 0,38 | 0,80% |
| 1980-1999 | Alemania | 0,81% | 0,51% | 0,40 | 0,74% |
| | España | 1,57% | 0,77% | 0,39 | 2,06% |
| | Francia | 1,83% | 1,12% | 0,40 | 1,77% |
| | EE.UU | 1,80% | 1,39% | 0,39 | 1,06% |
| 2000-2018 | Alemania | 0,53% | 0,43% | 0,44 | 0,23% |
| | España | 0,81% | 0,01% | 0,44 | 1,82% |
| | Francia | 0,70% | 0,19% | 0,43 | 1,18% |
| | EE.UU | 1,06% | 0,40% | 0,42 | 1,58% |

Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Ameco.

En contraposición, expertos como H. R. Varian, economista jefe de Google, aseguran que los indicadores existentes en la actualidad esconden una eficiencia que sí se está produciendo. De hecho, ya se está planteando sustituir el PIB por otro conjunto de indicadores que, además de preocuparse del aspecto económico, también tengan en cuenta otros aspectos importantes como la salud o la felicidad de las personas (Gray, 2019).

El Grupo Adecco e Instituto Cuatrecasas (2018) entrevistaron a más de 200 directores de recursos humanos representativos en todos los sectores de la economía española. Para la mayoría de ellos, la IA supondrá un incremento exponencial de la productividad y del rendimiento humano. La clave para poder aprovechar los efectos positivos es anticiparse al cambio y hacer una buena gestión de la colaboración entre humanos y máquinas.

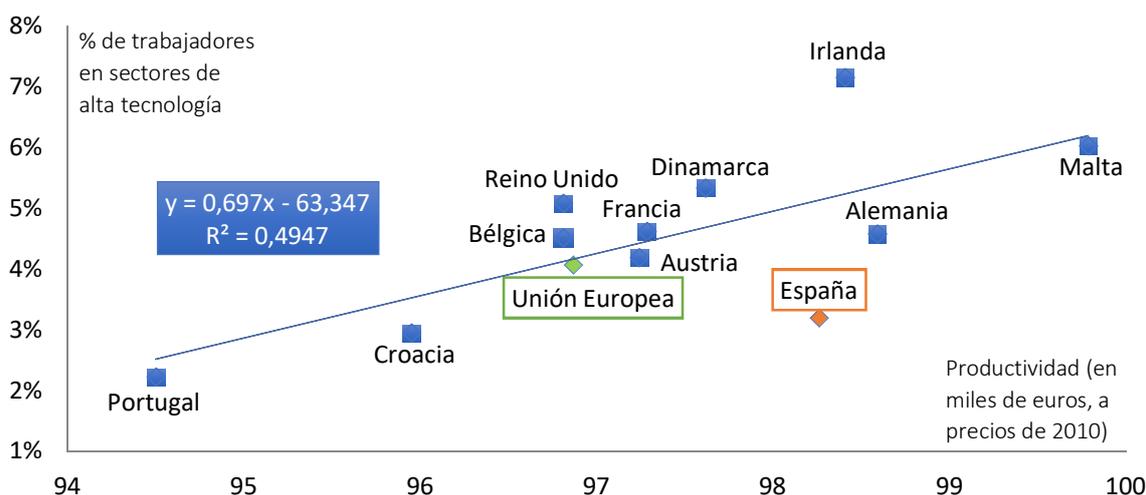
Observando el gráfico 3.2 se puede apreciar una relación positiva entre el porcentaje de personas ocupadas en tareas de alta tecnología y la productividad

⁶ La **tasa de crecimiento anual acumulado** se calcula a partir de: $TCAA = \left(\frac{x_f}{x_i}\right)^{\frac{1}{N}} - 1$, donde x_f es el último valor del período, x_i el primero y N el número total de valores que contenga el período.

real por trabajador para una muestra de once países de la Unión Europea y la media del conjunto de países que la conforman. Los que tienen mayor tasa de empleo en el sector tecnológico y mayor productividad por trabajador son, además, los más avanzados en I+D.

Encontramos que muchos de los países se concentran en un área donde la tasa de empleo en el sector de alta tecnología se sitúa entre el 4% y el 5% de la masa laboral y la productividad real por persona se sitúa entre los 97 y los 98 miles de euros por trabajador, siguiendo la media europea unas coordenadas muy similares. Estos países son, en general, los del noroeste de Europa, como Francia, Bélgica o Austria.

GRÁFICO 3.2. Relación entre la productividad laboral real por persona y el porcentaje de trabajadores en sectores de alta tecnología (1995-2018)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos extraídos de Eurostat.

Nota: El dato utilizado se ha obtenido a partir del promedio del período 1995-2018.

Sí que sorprenden, por el contrario, las posiciones de otros países que no se han incorporado en el gráfico por sus anomalías como Noruega, con un bajo empleo en alta tecnología o Suecia, con una escasa productividad por trabajador, ambos países nórdicos con una buena economía y que, sin embargo, no son los países mejor posicionados. Sí que lo son Irlanda (por su alta tasa de empleo “high-tech”) y Malta (por ambos).

En cuanto a España, aún queda un gran trabajo por hacer pues, aunque no se encuentre en una mala posición (tiene mayor productividad por trabajador que Francia o Reino Unido), es insuficiente el porcentaje de ocupación en sectores

de alta tecnología. Debe intentar mejorar la cualificación de sus ciudadanos y favorecer la creación de empresas y puestos de trabajo que utilicen intensamente la tecnología con el fin de subir escalones y conseguir posicionarse por encima de la media europea.

Además, resulta curioso que en los países con una menor productividad generalmente los empleados trabajan muchas más horas semanales que en los países donde esta es mayor. Doménech y otros (2017) demostraron que tanto en Estados Unidos como en España (para los años 1960-1970) dicha tendencia es evidente y que, al mismo tiempo, a mayor crecimiento de la productividad menos empleo se destruye.

3.2. Efectos sobre el empleo.

Los ejemplos históricos de la sección dos indican que la clave del proceso de incorporación de máquinas al sistema productivo reside en el aumento de la productividad. Las industrias textiles, al poder producir lo mismo en un menor período de tiempo, podían bajar los precios de la ropa que vendían y, por consiguiente, la sociedad obtenía una mayor variedad a un menor precio, por lo que también podían permitirse comprar otra clase de productos a los que antes les era imposible acceder. Y ese cambio de demanda solo sería satisfecha con una creación de empleos que sustituyesen a los perdidos en el sector textil (Skidelsky, 2019).

Por esa razón y siguiendo una visión neoschumpeteriana⁷, podría verse la automatización de los procesos productivos como un motor capaz de generar empleo a través de la mejora directa de la productividad (producir más con menos). Asimismo, los datos demuestran que beneficiarse de ese cambio es posible: en los últimos 55 años, la tasa de empleo ha crecido diez puntos porcentuales para los países de la OCDE. Así resume San Martín Mazzucconi

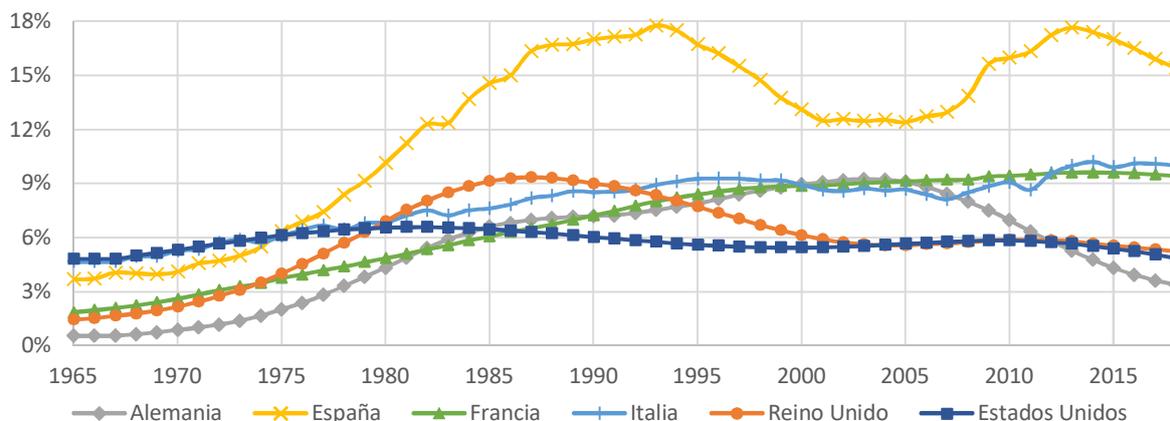
⁷ La **teoría neoschumpeteriana** considera a la tecnología como una fuente generadora de empleo. Estos autores ven la relación entre la tecnología y el empleo como una oportunidad y no como un problema. Cuando una revolución tecnológica afecta a un conjunto de puestos de trabajo, aparece de forma inmediata un nuevo sector que absorbe el excedente de trabajadores.

(2017) una nota informativa de la OIT⁸ donde, además, se especifica que dicha evolución ha sido posible gracias al rápido incremento de la tasa de empleo femenina en detrimento de la masculina, que cayó.

Con el fin de profundizar más en las causas que realmente han originado desempleo⁹ en los últimos 50 años, se representa en el gráfico 3.3 la “tasa de desempleo no aceleradora de los salarios” o NAWRU, que es una tasa de desempleo estructural que tiene como punto de partida la curva de Phillips, la cual relaciona inflación con desempleo.

Entre las razones por las que la NAWRU fluctúa está la introducción de avances tecnológicos en los sistemas productivos, lo que genera desajustes entre el nivel de cualificación ofrecido por los trabajadores y el requerido por las empresas, es decir, se produce un desequilibrio temporal entre la destrucción de empleos y la creación de otros nuevos.

GRÁFICO 3.3. NAWRU entre 1965 y 2018 (expresado en porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Ameco.

De este modo, la óptica optimista a largo plazo explicada en la sección dos estaría justificada, tal y como dice Melle Hernández (2018), por el nacimiento de nuevos sectores que sustituyesen a los anteriores y que fuesen capaces de absorber la masa de trabajadores “sobrante”. Para ello, eso sí, es necesario a

⁸ OIT: Organización Internacional del Trabajo. “Los cambios tecnológicos y el trabajo en el futuro: Cómo lograr que la tecnología nos beneficie a todos”, *La iniciativa del centenario relativa al futuro del trabajo*. Nota informativa, 2016.

⁹ Empleo y desempleo pueden aumentar a la vez si aumenta la tasa de actividad, por ejemplo, debido a la incorporación de la mujer al mercado de trabajo.

corto y medio plazo un cambio en el sistema económico y una adaptación de la sociedad actual a esta nueva era, proceso que implica un impacto negativo puntual sobre el empleo. Si nos fijamos, la NAWRU crece con la llegada de la Cuarta Revolución, pero a lo largo de los últimos años esta ya ha ido cayendo en muchos países, como es el caso de Reino Unido o Alemania. Estas economías han sido capaces de absorber el impacto tecnológico producido hasta ahora sobre el empleo. Otras, como Italia o Francia, requerirán de más tiempo de adaptación.

Se trata, en definitiva, de un proceso de ajuste al cambio a través de las denominadas “reasignaciones laborales”, y de idear nuevas oportunidades que garanticen un futuro sostenible y con empleos de calidad. Por tanto, el pensamiento generalizado del impacto negativo de las nuevas tecnologías sobre el empleo no está en absoluto garantizado si miramos globalmente el mercado de trabajo (Peralta-Alva y Roitman, 2018).

El fondo de la problemática reside en el desconocimiento del número de esas nuevas tareas que pueden ir surgiendo, por un lado, y en cuáles serán las habilidades que las mismas requerirán, por el otro. La clave es detectar si la destrucción de puestos de trabajo será compensada con la creación de otros.

No obstante, con la incorporación de la IA a la producción y la aceleración del proceso, ¿qué ocurrirá? Está claro que las nuevas tecnologías cambiarán la naturaleza del trabajo en todas las industrias y ocupaciones. Skidelsky (2019) estima que en un futuro cercano las pérdidas de empleo variarán entre un 9% y un 47% y los empleos que perduren se volverán más y más precarios. Según la propia OCDE, hasta una tercera parte de los trabajadores en los países desarrollados están subutilizados o no están capacitados para ejecutar sus tareas ya en la actualidad (Torcal, 2018).

El empleo futuro se basará en la capacidad intelectual y cognitiva de los individuos y en sus competencias creativas y sociales. Algunas actividades, como la medicina, se verán afectadas de forma sustancial por la incorporación de robots a las tareas de cirugía, por ejemplo, incrementando la precisión y la efectividad. Sin embargo, esto requerirá de una supervisión continua por parte

del personal sanitario. Es decir, no se trataría tanto de una sustitución de personal (que también) sino que sería sobre todo un complemento de ayuda y de mejora de las técnicas. Además, y al menos por ahora, la sensibilidad humana es insustituible, por lo que solo un médico sabe cómo tratar a un paciente enfermo de cáncer o a otro con problemas mentales.

TABLA 3.2. Algunas ocupaciones con mayor y menor riesgo de ser automatizadas

| <i>Con menos riesgo de ser automatizadas</i> | |
|--|---|
| Rango de probabilidad | Tipo de ocupación |
| $0 < p < 0.0039$ | <ul style="list-style-type: none"> - Terapeutas recreativos. - Trabajadores en salud mental, abuso de sustancias y cuidados. - Supervisores de mecánicos, instaladores y reparadores. - Cirujanos orales y maxilofaciales. ... |
| $0.004 < p < 0.0049$ | <ul style="list-style-type: none"> - Dietistas y nutricionistas; Psicólogos; Dentistas. - Médicos y cirujanos. - Coreógrafos. - Maestros de educación primaria. - Diseñadores de ropa. ... |
| $0.0050 < p < 0.0075$ | <ul style="list-style-type: none"> - Directores de recursos humanos. - Logopedas. - Analistas de sistemas informáticos. - Entrenadores deportivos. ... |
| <i>Con más riesgo de ser automatizadas</i> | |
| Rango de probabilidad | Tipo de ocupación |
| $p = 0.99$ | <ul style="list-style-type: none"> - Vendedores vía telefónica. - Preparadores de impuestos. - Reparadores de relojes. - Bibliotecarios. ... |
| $p = 0.98$ | <ul style="list-style-type: none"> - Tasadores de seguros del automóvil. - Árbitros y otros jueces deportivos. - Inspectores y evaluadores; Contables y auditores. - Modelos. ... |

Fuente: Elaboración propia con datos de Carl Benedikt y Michael Osborne, 2013.

Para estudiar esto con mayor profundidad, Benedikt y Osborne (2013) elaboraron un ranking que clasifica las diferentes ocupaciones según la probabilidad que tengan de ser automatizadas en un futuro (de menos propensas a más), tomando el valor 0 si no corren ningún riesgo y 1 si corren un riesgo absoluto. Podemos ver algunos ejemplos de esas ocupaciones en la tabla 3.2.

Dicha estimación fue, sin embargo, criticada por Arntz y otros (2016), que puntualizaron que si se evaluara la propensión de automatización de las tareas que componen cada empleo en lugar de la de los empleos de forma global, tan solo un 9% de los mismos serían realmente desplazados, pues en la mayoría de ellos muchas de las tareas no son susceptibles de ser automatizadas (trabajo en grupo, atención al cliente,...). La decisión de si un trabajador sigue siendo necesario o no dependerá, por tanto, de cuántas de sus tareas reemplace la IA.

Predecir los efectos que los robots y la IA tendrán sobre nuestros empleos es algo complejo. En definitiva, el resultado final vendrá condicionado por lo que tome el mayor peso: la automatización o la creación de empleo.

❖ **La importancia del factor educativo en la brecha tecnológica.**

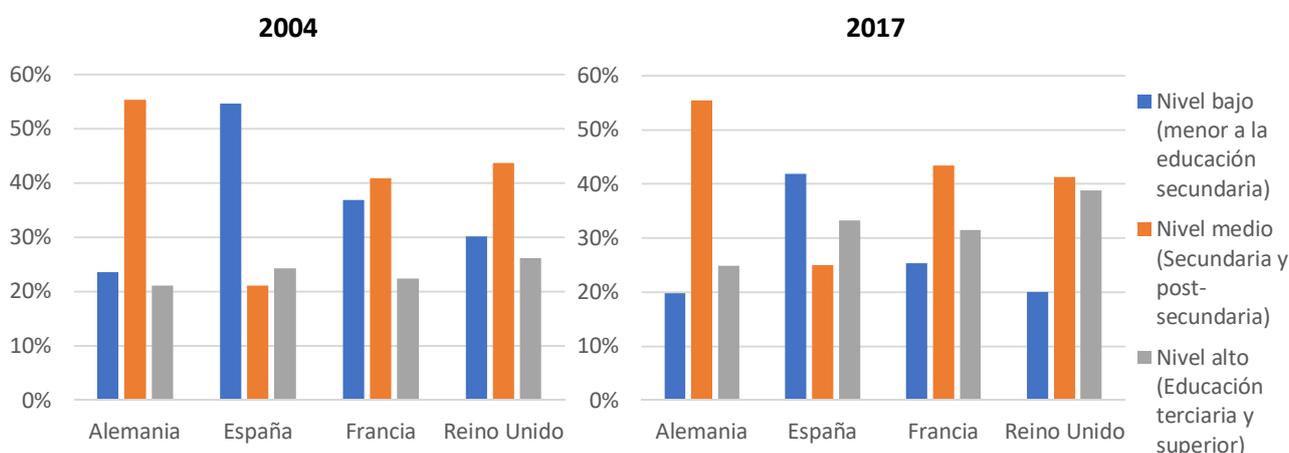
La globalización y los avances tecnológicos han supuesto un potenciador de las desigualdades entre los distintos submercados de trabajo. En el seno de estas desigualdades se encuentran principalmente el nivel educativo y la pertenencia a según qué países (Brussevich y otros, 2018).

Por regiones, se observa que las diferencias en la estructura productiva, el nivel de inversión tecnológica y la flexibilidad en el mercado de trabajo son factores que determinan la posición relativa de los diferentes países, que son enormemente heterogéneos. Por ejemplo, si se examina el estudio de la OCDE (2018) se observa que, en lo referido a Europa, el sudeste está sometido a mayores procesos de automatización que los países del norte y centroeuropeos.

En cuanto a la educación, en el gráfico 3.4 se refleja el nivel de formación de los individuos en 2004 y 2017 para los cuatro países europeos que se vienen analizando. En todos ellos, predomina la población con un nivel medio de estudios, a excepción de España, donde el porcentaje de población con estudios primarios era alarmante en 2004 (un 54,6%). La explicación a este hecho es que antes de la crisis inmobiliaria, muchos jóvenes abandonaron sus estudios por la facilidad para conseguir un trabajo en el sector de la construcción. Las tasas de fracaso escolar eran preocupantes. Por suerte, esa tasa ha caído en detrimento de la de la población con estudios superiores, pasando de representar un 24,3% a un 33,2% de la población encuestada. La proporción de personas con nivel

medio de estudios, sin embargo, se ha mantenido prácticamente invariante, lo que da como resultado una gran polarización de la población.

GRÁFICO 3.4. Nivel de cualificación de la población de entre 15 y 64 años para 2004 y 2017 (expresado en porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Eurostat.

Nota: El año 2004 ha sido elegido por ser el primero de la serie.

En el resto de los países se observa que, en líneas generales, el cambio más característico de un año a otro es la mayor formación de la población en educación terciaria y, como ya se ha comentado, la predominancia de un nivel medio de estudios.

En cualquier caso, queda claro que el factor diferenciador entre unos individuos y otros es su talento, sus aptitudes y su nivel educativo. Este último depende, por un lado, de los incentivos del mercado (que varían según las necesidades) y el nivel de gasto en educación que realizan los gobiernos (y cómo distribuyen ese gasto en cada uno de los escalones de la sociedad). Es fundamental garantizar una educación básica (y en la actualidad ya no tan básica) accesible a todos los individuos, con el fin de que exista una movilidad social que les permita encontrar su posición en el mercado de trabajo.

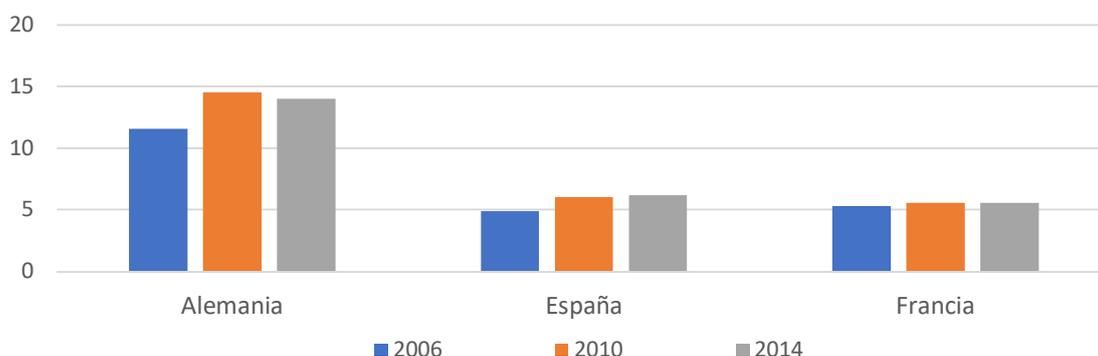
3.3.Efectos sobre los salarios.

Según Skidelsky (2019), un aumento de los salarios como consecuencia de la creciente empleabilidad de la que hablan los neoschumpeterianos provoca, de forma inmediata e inversa, una caída del coste del producto, por lo que la innovación tecnológica conllevaría automáticamente un aumento de la calidad

de vida de la población. Pero todo esto ocurre siempre que no exista una competencia por el trabajo que origine una presión bajista de los salarios nominales.

Como concluimos en la sección 2.3, los modelos de crecimiento afirman que el capital humano tiene la capacidad de alterar los salarios de los individuos. A medida que mejora su cualificación, crece la brecha que separa su nivel de ingresos con el de aquellos que realizan un trabajo físico simple. Grossman y Helpman (1991) propusieron un modelo donde el stock de conocimientos y la acumulación del capital son la base del crecimiento y los salarios de los trabajadores crecen en tanto que aumenta su acumulación de capital humano.

GRÁFICO 3.5. Evolución de la diferencia salarial por nivel educativo en 2006, 2010 y 2014 (en PPA)



Fuente: Elaboración propia con datos extraídos de Eurostat.

Nota: La diferencia salarial ha sido calculada entre los individuos con educación superior y aquellos con educación primaria o menos, tomando los ingresos laborales medianos por hora.

En el gráfico 3.5 aparece la brecha salarial existente entre las personas con nivel educativo alto y aquellas con una educación básica (educación primaria o menos) para los años 2006, 2010 y 2014 en Alemania, España y Francia. En los tres países se aprecian grandes diferencias salariales, pero más aún en el caso alemán, que ya en 2006 presentaba una brecha de más de once euros/hora, cifra que ha ido aumentando. Este agravamiento de la situación se ha producido también en otros países europeos perjudicados por la crisis económica de 2008. En España, el escenario no mejora en el año 2014 y tampoco lo hace en Francia.

Se trata de una justificación de la importancia de invertir en educación y en la formación de la población tanto en el aspecto formal como en otros (por ejemplo, a través de la experiencia laboral), pues mientras que el salario de los

trabajadores con educación superior ha aumentado, el de los trabajadores con menor nivel de estudios ha caído (Doménech y otros, 2017).

❖ **La caída de la participación de la renta laboral en la renta nacional.**

A lo largo de las últimas décadas, la participación de las rentas del trabajo¹⁰ ha caído en la mayoría de los países desarrollados. Las cuatro razones principales de que esto ocurra son las siguientes: la pérdida de poder de negociación de los trabajadores, la competencia comercial entre países y la deslocalización, el incremento de la concentración y tendencia al monopolio de las empresas (que hace que aumenten sus márgenes) y, por último, la automatización de los procesos de producción (Díez Catalán, 2018).

Según Schwab (2016), la mitad de esa caída es debida al abaratamiento relativo de los bienes de inversión como consecuencia de los avances tecnológicos y la mejora del capital humano y del capital físico (ambos componentes de las rentas del capital). Con todo, las empresas tendrán una mayor propensión a adquirir capital que factor trabajo, por lo que se va produciendo un trasvase de dinero importante desde las rentas del trabajo a las rentas del capital (Peralta-Alva y Roitman, 2018). Cada vez se va haciendo más rentable la automatización y robotización de los procesos.

Lo que realmente refleja esta tendencia es la progresiva polarización de la sociedad entre los propietarios del factor trabajo y los propietarios del factor capital, dado que la mayor parte de los beneficios va a parar a estos últimos y podría dar lugar a la desaparición de las clases medias.

Acemoglu y Restrepo (2016) aportan un punto de vista diferente. Defienden que cuando la demanda de empleo se resiente debido a la automatización, esto hace que el precio de la mano de obra disminuya. Es por ello que, al surgir nuevos puestos de trabajo, muchas empresas vean más rentable contratar humanos que realicen esas nuevas funciones antes que automatizarlas. Esto es

¹⁰ La **Renta Nacional Bruta** (RNB) consta de dos componentes: las rentas del trabajo (salarios) y las rentas del capital (intereses y beneficios de las empresas).

lo que denominan “efecto precio”, el cual corregiría, siguiendo esta línea, los desequilibrios que pudiesen producirse.

4. UN MODELO MACROECONÓMICO PARA ANALIZAR LOS EFECTOS DE LA AUTOMATIZACIÓN.

Hasta ahora, ningún modelo conocido ha incorporado los efectos económicos de las nuevas tecnologías que van surgiendo, capaces de desarrollar una inteligencia parecida a la humana. Con este fin, el economista J. Sachs (2018) ha diseñado un modelo básico a partir del cual se podrán obtener ampliaciones en un futuro, con el fin de lograr un potente “modelo computable de equilibrio general” (CGE, por sus siglas en inglés). Pese a haberlo diseñado para el caso estadounidense, él mismo afirma la perfecta posibilidad de ser aplicado a cualquier país desarrollado.

Por todo ello, vamos a estudiarlo a lo largo de este apartado y, para finalizar, expondremos algunas propuestas que el mismo autor da para mejorarlo en un futuro. Algunos de los resultados, como se podrá ver, han sido corregidos por la existencia de erratas en el modelo original.

Para empezar, vamos a definir las principales variables:

- La producción (Y), con dos factores variables: el trabajo (L) y el capital (K).
- El capital físico se divide en: Construcciones (B) y Máquinas (M).
- El trabajo, por su lado, está repartido en diferentes tareas que requieren distintos niveles de cualificación. Vamos a distinguir tres niveles distintos: Bajo (U), Intermedio (I) y Alto (H). Además, asumimos que existen tan solo dos formas de trabajo: de producción (P) y de no producción (N). Así:
 - Las tareas de producción (P) precisan de habilidades básicas (U). También pueden ser desarrolladas por trabajadores de media o alta cualificación.
 - Las tareas de no producción (N) requieren de habilidades intermedias (I). También pueden ser realizadas por trabajadores de elevado nivel educativo.

- Los trabajadores altamente cualificados (H) son necesarios para tres fines: para el desarrollo de I+D, para servicios de tipo profesional como la medicina o para la educación universitaria.
- Mientras que las máquinas (M) actúan como sustitutas del trabajo, las construcciones (B) son complementarias.

Una vez determinadas estas variables, definimos la función de producción Y , de tipo Cobb-Douglas:

$$Y = P^a N^b B^{(1-a-b)}, \quad 0 < a < 1, \quad 0 < b < 1 \quad (10)$$

Desglosando un poco dicha definición tenemos que:

- P es producida tanto por la mano de obra (L_P) como por máquinas (M_P), los cuales son factores sustitutivos perfectos. Definimos t_P como el potencial de automatización de M_P , cada vez con una tecnología más sofisticada. La función de P quedaría:

$$P = L_P + t_P * M_P \quad (11)$$

- N son las tareas producidas por la mano de obra L_N o las máquinas M_N . La función de N quedaría:

$$N = L_N + t_N * M_N \quad (12)$$

Tal y como hemos ido viendo a lo largo del trabajo, son las ocupaciones más básicas (P) las más fáciles de automatizar, al contrario que las tareas especializadas (N). Por ello suponemos que $t_P > 0$ y $t_N = 0$.

Sin embargo, también sabemos que, a medida que las máquinas se van volviendo más inteligentes, más tareas de no producción se ven amenazadas por la tecnología, algo que podría servir de crítica al modelo si no fuera porque simplifica mucho el análisis.

Por otra parte, el mercado de trabajo se va a caracterizar de tal manera que:

- Los trabajadores poco cualificados (L_U , definido como el número de trabajadores con educación básica U) solo podrían dedicarse a tareas P :

$$(Oferta) \quad L_U = L_{PU} \quad (Demanda) \quad (13)$$

- Los trabajadores cualificados de tipo intermedio (L_I , definido como el número de trabajadores con educación intermedia) podrían dedicarse tanto a esas mismas como a las tareas N :

$$(Oferta) \quad L_I = L_{NI} + L_{PI} \quad (Demanda) \quad (14)$$

Sin embargo, como no es lógico que estas personas realicen tareas básicas habiendo invertido más años de su vida en formarse y se estarían desaprovechando los conocimientos y destrezas adquiridos, podríamos considerar esta situación como un desequilibrio temporal, denominado como “downskilling”, el cual supondría que: $L_{PI} > 0$. Lo lógico sería que a largo plazo ocurriese: $L_{PI} = 0$, es decir, que hubiera una clasificación perfecta de los trabajadores en función de su nivel educativo.

En definitiva, (11) y (12) implican que no hay desempleo a largo plazo sino cambios en los salarios y reasignaciones entre sectores.

En lo que se refiere al capital K , este viene determinado por sus ahorros pasados y es invertido en máquinas para las tareas de producción (M_P) y en edificios (B):

$$K = B + M_P \quad (15)$$

Los inversores pueden repartir el capital de dos formas:

- Equiparando los productos marginales que generan máquinas y edificios conjuntamente.
- Cuando el producto marginal de los edificios es mayor que el de las máquinas, destinando todo el capital a infraestructuras y nada a la inversión en maquinaria, es decir: $B = K$ y $M_P = 0$.

Suponiendo que no hay “downskilling” (existe una perfecta clasificación de los trabajadores según su nivel de formación), los salarios (W) vienen dados por la PMa_L de la siguiente manera:

$$W_U = \frac{\partial Y}{\partial L_U} = a * (L_U + t_P * M_P)^{(a-1)} L_I^b B^{(1-a-b)} \quad (16)$$

$$W_I = \frac{\partial Y}{\partial L_I} = b * (L_U + t_P * M_P)^a L_I^{(b-1)} B^{(1-a-b)} \quad (17)$$

La tasa de retorno del capital, denotada por r , es la siguiente¹¹:

$$r = \frac{\partial Y}{\partial K} = \frac{\partial Y}{\partial B} = (1 - a - b) * L_U^a L_I^b B^{-(a+b)} \quad (18)$$

El siguiente paso es definir un umbral t_p^T y estudiar dos posibles escenarios:

- Si $t_p < t_p^T$, entonces el capital K se destinará a la inversión en infraestructuras, por lo que nos queda: $B = K$ y $M = 0$. El reparto del capital se haría conforme a la ecuación (18).
- Si $t_p > t_p^T$, entonces se destinará una parte del capital K a la inversión en infraestructuras y otra a la compra de máquinas. Solo entonces, el reparto de K se hace de acuerdo a la siguiente condición de equilibrio agregada:

$$r = t_p * W_U \quad (19)$$

Dicho umbral t_p^T se calcula igualando r cuando t_p es bajo (18) y cuando t_p es alto (19), es decir, cuando t_p está por debajo y por encima del umbral. La igualdad quedaría así:

$$(1 - a - b) * L_U^a L_I^b B^{-(a+b)} = t_p^T * a * (L_U + t_p * M_p)^{(a-1)} L_I^b B^{(1-a-b)}$$

Como $M_p = 0$ y $B = K$, el resultado al que se llega es el siguiente:

$$t_p^T = \frac{(1 - a - b)}{a} * \left(\frac{L_U}{K} \right) \quad (20)$$

4.1.Efectos de la automatización de los procesos productivos.

Una vez vista la base del modelo, vamos a suponer ahora que se da $t_p > t_p^T$, es decir, asumiremos que los inversores van a destinar su capital a la compra tanto de edificios como de maquinaria, por lo que $M > 0$ y se darían las condiciones favorables para que se produjese una automatización de los procesos, lo que favorecería un mayor incremento en t_p . ¿Cuáles son los efectos que tendría un aumento adicional de t_p sobre el resto de las variables?

-

¹¹ Considerando que $M_p = 0$.

- El efecto sobre el tipo de interés lo calculamos a partir de (19):

$$\frac{\partial r}{\partial t_p} = W_U > 0 \quad (21)$$

Los rendimientos del capital se incrementan al introducir mayores avances tecnológicos en los sistemas productivos.

- El efecto sobre los salarios de los trabajadores menos cualificados lo calculamos a partir de (16):

$$\frac{\partial W_U}{\partial t_p} = a * (a - 1) * (L_U + t_p * M_P)^{(a-2)} * M_P * L_I^b * B^{(1-a-b)} < 0 \quad (22)$$

W_U cae en tanto que aumenta el grado de automatización.

- El efecto sobre los salarios de los trabajadores con un nivel medio de cualificación lo calculamos a partir de (17):

$$\frac{\partial W_I}{\partial t_p} = b * a * (L_U + t_p * M_P)^{(a-1)} * M_P * L_I^{b-1} * B^{(1-a-b)} > 0 \quad (23)$$

A medida que crece el potencial de automatización, aumenta W_I .

- Evidentemente, el efecto sobre el número de máquinas en las que se invierte es positivo. Cuanto mayor sea t_p , más deseos tendrán las empresas de invertir en maquinaria sofisticada.

$$\frac{\partial M_P}{\partial t_p} > 0 \quad (24)$$

- El efecto sobre la participación de las rentas del capital en la producción total lo obtenemos a partir de (19):

$$\frac{\partial \frac{r * K}{Y}}{\partial t_p} = \frac{\partial \frac{(t_p * W_U) * K}{Y}}{\partial t_p} = \frac{W_U * K}{Y} > 0 \quad (25)$$

Cuanto más automatizables sean los puestos de trabajo, más se invertirá en capital en lugar de en mano de obra.

Son las habilidades de los individuos las que originan este cambio técnico. Se trata de un sesgo que viene dado por la tecnología y que induce a sustituir mano de obra con poca formación por máquinas en el sector de bienes de producción.

4.2. Inversión en educación.

Asumir L_U y L_I como datos que vienen dados no es muy lógico en un contexto dinámico. La vuelta a los estudios por parte de muchos supondrá un aumento del gasto educativo tanto para los hogares como para los gobiernos.

Vamos a denotar los niveles iniciales de capital y el número de trabajadores de baja y media cualificación como $K(0)$, $L_U(0)$ y $L_I(0)$, respectivamente. Además, asumiremos que existe un flujo de ahorros (SV) que la economía utilizará de dos formas: en inversión empresarial fija F o en educación E_I (con el fin de ganar habilidades y mejorar su cualificación).

$$SV = F + E_I \quad (26)$$

$$K = K(0) * (1 - d_K) + F \quad (27)$$

Necesitamos definir una variable que nos mida el coste unitario de obtener un trabajador de habilidades intermedias a partir de uno que tenía habilidades básicas. Este parámetro va a ser c_I e incluye tanto los costes directos en educación (por ejemplo, el pago de la matrícula) como el coste de oportunidad que le supone al individuo destinar más años de su vida a seguir formándose en lugar de incorporarse al mercado laboral y obtener ingresos durante ese tiempo. Por tanto, nos quedaría:

$$L_I = L_I(0) + \frac{E_I}{c_I} \quad (28)$$

$$L_U = L_U(0) - \frac{E_I}{c_I} \quad (29)$$

A continuación, se igualan los rendimientos marginales de dichas inversiones, es decir, se igualan los rendimientos de la mejora de E_I teniendo en cuenta el coste que conlleva $\left(\frac{W_I - W_U}{c_I}\right)$ y el producto marginal que genera F (r):

$$r = \frac{W_I - W_U}{c_I} \quad (30)$$

O lo que es lo mismo:

$$r * c_I = W_I - W_U \quad (31)$$

Pese a que parezca que t_p no tiene por qué afectar a la inversión en educación, un aumento de dicha variable tendría dos efectos:

- Incrementaría los rendimientos de la inversión fija F (es decir, aumenta r), por lo que habría un mayor flujo de ahorros SV y un trasvase de los flujos de inversión del capital humano hacia el capital físico.
- El salario de los trabajadores con cualificación intermedia aumentaría en relación con el de los trabajadores poco cualificados (se incrementaría el ratio $\frac{W_I}{W_U}$, por lo que mejoraría el rendimiento neto de la educación).

Como el segundo efecto domina sobre el primero, en la práctica, un aumento de t_p implicaría un mayor flujo de estudiantes hacia una educación superior de modo que pasará a haber un mayor número de trabajadores con cualificación intermedia L_I y un menor número de trabajadores con habilidades bajas L_U . Esto hace que las desigualdades salariales provocadas por el aumento de la productividad se vean moderadas.

4.3. Crecimiento endógeno¹².

Al hacer que la tasa de avance tecnológico dependa de las inversiones en I+D realizadas por científicos e ingenieros (personal altamente cualificado L_H), se da al modelo una riqueza de la que otros no pueden presumir. Estos trabajadores de elevada cualificación son titulados en todo lo relacionado con ciencia, ingeniería, matemáticas y nuevas tecnologías, y su mano de obra está distribuida entre cuatro ocupaciones distintas: investigación y desarrollo (L_{I+D}), educación superior (L_{ED}), salud (L_S) y servicios profesionales de consultoría (L_C).

La mayoría de los trabajadores altamente cualificados trabajan en empresas de este tipo (de ingeniería, de arquitectura, consultorías, etcétera), las cuales venden sus servicios a empresas de otros sectores (como las manufacturas).

$$L_H = L_{I+D} + L_{ED} + L_S + L_C \quad (32)$$

¹² Cuando endogeneizamos una variable, quiere decir que esta pasa a ser determinante por sí misma del crecimiento económico y que ya no viene dada por otros factores externos.

Ahora, al flujo de ahorros que destinábamos para inversión empresarial fija F y para educación de nivel intermedio E_I , le tenemos que añadir la inversión que realizan estos individuos en educación superior, que denotamos como E_H . Añadiendo ese dato, las ecuaciones quedarían ahora de la siguiente manera:

$$SV = F + E_I + E_H \quad (33)$$

$$K = K(0) * (1 - d) + F \quad (34)$$

$$L_H = L_H(0) + \frac{E_H}{c_H} \quad (35)$$

$$L_I = L_I(0) + \frac{E_I}{c_I} - \frac{E_H}{c_H} \quad (36)$$

$$L_U = L_U(0) - \frac{E_I}{c_I} \quad (37)$$

El beneficio de invertir en una educación avanzada depende de la productividad que tenga L_H y, para eso, necesitaríamos conocer las funciones de producción de las cuatro ramas.

Por ejemplo, si nos centramos en el campo de la investigación y el desarrollo ($I + D$), este conlleva una aceleración del proceso de automatización de la mano de obra menos cualificada y de la sofisticación de las máquinas (t_p), las cuales están sometidas a un proceso de depreciación (d_{t_p}). Podríamos explicarlo como:

$$t_p(t + 1) = t_p(t) * (1 - d_{t_p}) + (I + D)(t) \quad (38)$$

Este $I + D$ es producido por la combinación de tres factores: mano de obra altamente cualificada (con gran capital humano), máquinas que incorporen IA y edificios del sector de I+D.

$$(I + D)(t) = (t_{I+D} * M_{I+D} + \theta_{I+D} * L_{I+D})^g * B_{I+D}^{(1-g)} \quad (39)$$

El parámetro θ_{I+D} mide la eficiencia de la investigación realizada por esos trabajadores L_{I+D} . Cuantos más avances en la investigación científica se producen, o más importantes sean estos, tendremos una mayor θ_{I+D} .

Una vez llegados a este punto, vamos a definir el parámetro que realmente interesa: t_{I+D} . Esta variable va a reflejar la probabilidad de que las máquinas inteligentes sustituyan el trabajo de los investigadores en un futuro, el trabajo de aquellos individuos que mejor cualificados están. En la mayoría de los casos, como hemos visto, estas máquinas se han complementado con los trabajos que realizan estos profesionales, pero con la capacidad de aprendizaje automático que van desarrollando estas máquinas, no es algo inconcebible que hasta ellos puedan perder sus empleos en un futuro. Incluso los propios creadores de esas máquinas inteligentes podrían ver amenazados sus puestos o, al menos, reducidos sus salarios si t_{I+D} aumenta lo suficiente.

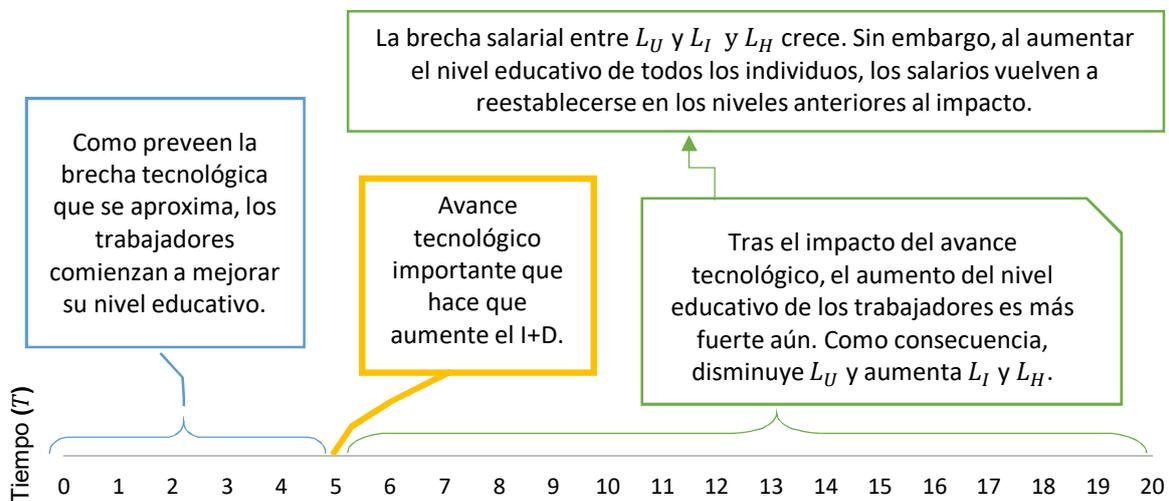
4.4. Simulaciones para acercarnos al futuro.

Sachs (2018) también ofrece dos simulaciones con el fin de ilustrar lo que puede ocurrir en los próximos años en la economía estadounidense. A partir de una serie de suposiciones, calcula a través de su modelo los efectos de los nuevos avances tecnológicos y llega a la conclusión de que cuanto más aumentan los rendimientos de los avances en I+D, mayor es la productividad de los trabajadores altamente cualificados y más competencia existe entre los trabajadores con menor cualificación por permanecer en sus puestos de trabajo.

En el gráfico 4.1 podemos observar la posible evolución del proceso de adaptación de los trabajadores menos cualificados ante un cambio tecnológico.

Esta simulación asegura que, incluso antes de introducir un avance innovador en las empresas, los trabajadores se percatan de la amenaza que este supondría para sus empleos, por lo que comienzan a mejorar su formación. Llegado el momento donde ese avance se introduce en las empresas ($T = 5$), el interés por mejorar su nivel educativo se refuerza, lo que provoca una caída del número de trabajadores poco cualificados y un incremento de trabajadores de media y alta cualificación. Las tareas poco cualificadas, al no ser ya necesarias, cada vez pasarían a estar peor pagadas, por lo que disminuiría el salario de los individuos que aún las ejecutasen y, por el contrario, aumentarían los salarios de aquellos trabajadores con una cualificación de tipo intermedio y alto. El equilibrio volvería a reestablecerse cuando aumentase el nivel educativo de todos los individuos.

GRÁFICO 4.1. Simulación de los efectos que tendría un aumento de la productividad de los trabajadores más cualificados sobre las tareas de baja cualificación

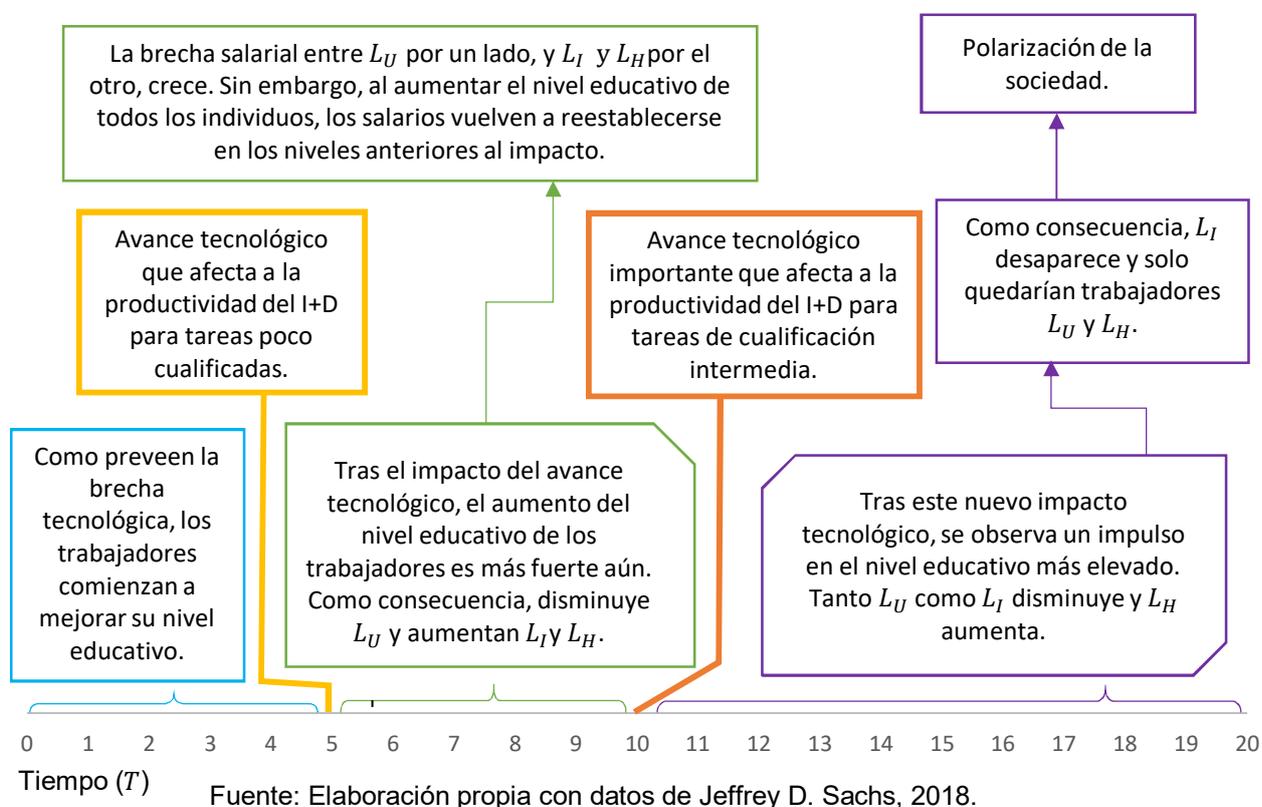


Fuente: Elaboración propia con datos de Jeffrey D. Sachs, 2018.

Sin embargo, como explicábamos, la realidad cada vez se aleja más de esta situación y se va acercando más a la que predice que la automatización también afectará a tareas que requieren habilidades intermedias, además de a las de baja cualificación, que es lo que vamos a ver representado en el gráfico 4.2.

En esta segunda simulación se representan dos avances tecnológicos en I+D, uno afecta a las ocupaciones menos cualificadas (en $T = 5$) y el otro afecta a las de cualificación intermedia (en $T = 10$). De esta manera, pese a que en un principio solo los trabajadores menos cualificados se verían desplazados de sus puestos de trabajo por la automatización, ahora también los de cualificación intermedia se comienzan a quedar atrás. Como consecuencia, los trabajadores de cualificación intermedia comienzan a perfeccionar y ampliar su formación, por lo que L_U y L_I disminuyen y L_H aumenta. Por esta razón, poco a poco va desapareciendo la franja de trabajadores con habilidades de tipo medio y solo quedarían en el mercado los trabajadores no cualificados y los muy cualificados, lo que conllevaría una polarización de los ingresos.

GRÁFICO 4.2. Simulación de los efectos que tendría un aumento de la productividad de los trabajadores más cualificados sobre las tareas de baja y media cualificación



En ambas simulaciones es evidente una caída de la participación salarial en el PIB debido los empleos perdidos por ese proceso de automatización que genera el aumento de la productividad de los trabajadores más cualificados.

Así, este estudio se acerca a la realidad más que muchos otros, pero no está libre de críticas ni de aspectos a mejorar. Con el fin de perfeccionar el modelo, el propio Sachs apunta distintas propuestas:

- Hay que tener en cuenta que no todas las personas son capaces de obtener un título universitario o un máster con la misma facilidad ni tienen las aptitudes necesarias para liderar tareas de alta responsabilidad, por lo que la oferta de L_H se vería más limitada de lo que el modelo deja ver, es decir, existiría una barrera de entrada a ese rango de ocupaciones.
- Como ya se ha dicho, existen dos tipos de máquinas, las que actúan como sustitutas de la mano de obra y las que la complementan. El modelo, tal y como está planteado, no diferencia entre unas y otras.

- Las simulaciones realizadas con el fin de predecir los efectos de la automatización en un futuro son meramente cualitativas, no existen demostraciones matemáticas que midan el alcance de dichos efectos.
- Habría que tener en cuenta el impacto sobre los empleos de los propios investigadores, pues es posible que en un futuro puedan ver amenazadas sus tareas con el aprendizaje de las máquinas inteligentes. Según el modelo de Romer (1990) del que hablamos en la sección 2.3, es el número de individuos con estas características el que marca la SCE de una economía, es decir, la capacidad de generación de nuevas ideas vendría condicionada por la cantidad de personas altamente cualificadas del país. Por ello, también es importante medir los rendimientos del I+D.
- Sería igual de conveniente hacer una diferenciación entre las actuaciones del sector público y el sector privado para saber el origen de las fuentes de financiación del I+D y de la enseñanza (sobre todo la superior).

5. CONCLUSIONES.

La Cuarta Revolución Industrial ya ha llegado pero, ¿estamos realmente preparados para hacer frente a su impacto? Sin duda la respuesta es no. Aún no existe un diseño sólido y adecuado ni en lo económico, ni en lo social ni en lo político capaz de adaptarse de manera adecuada a esta nueva era.

Algunos de los desafíos que nos planteará son predecibles. Es incuestionable la necesidad de unas políticas de intervención que ayuden a que esta revolución tenga, a largo plazo, efectos positivos para el ser humano. Son tres los agentes que deben actuar de acuerdo a sus responsabilidades (Manyika y otros, 2019).

En primer lugar, los principales encargados de equilibrar el mercado de trabajo son los *gobiernos*, que cuentan con dos papeles fundamentales: servir de fuente de apoyo a la mano de obra que pueda verse desplazada y facilitar todas aquellas acciones que tengan como fin un aumento de la productividad y que, en última instancia, impulsen el crecimiento económico. Así, el deber de las instituciones es fomentar el desarrollo tecnológico, apoyando al sector privado en su financiación.

Las principales medidas que podrían adoptar los Estados para conseguir reubicar a la mano de obra desplazada son:

- Garantizar un sistema educativo renovado, pues en la actualidad no existen formatos educativos que ofrezcan una adecuada cualificación para los nuevos puestos de trabajo demandados por las empresas. Los mayores esfuerzos deberán hacerse en las ramas de ciencia, tecnología, ingenierías y matemáticas (aquellas profesiones que denominábamos de alta cualificación *H* en el apartado cuatro).
- Fomentar tanto el diálogo con las empresas para conocer cuáles serán los empleos del futuro como el emprendimiento en el sector tecnológico.
- Garantizar unos ingresos mínimos a la población y salarios dignos. Algunos proponen medidas como una renta básica universal, reducción de las jornadas laborales, etcétera.

El segundo agente serían las *empresas*, que verán en la automatización de sus procesos productivos la oportunidad de obtener una mejor y mayor producción, de ahorrar en costes salariales y de eliminar los tiempos muertos de trabajo. Todo ello les permitirá obtener mayores ventajas competitivas frente a aquellas corporaciones que se vayan quedando atrás. Estas deberán, no obstante, reubicar a sus empleados, ya sea dentro de su organización o no, y ofrecerles una formación que les garantice un reciclaje continuo de sus conocimientos.

En tercer lugar, son los *trabajadores* los que tienen la capacidad de decidir, al menos en las economías más avanzadas, qué profesión se adapta más a sus gustos y necesidades. Deberán elegir con responsabilidad y teniendo en cuenta el sesgo tecnológico que existe entre unos y otros campos. Para esto necesitan información, y deben ser los gobiernos y las empresas los que la recopilen y ofrezcan.

Pero tampoco debemos ser pesimistas. En la sección dos de este trabajo demostramos que las revoluciones tecnológicas anteriores han tenido efectos positivos a largo plazo sobre el PIB per cápita, la tasa de empleo y los salarios. Es en la sección tres en la que observamos ciertos desajustes, un impacto

negativo que viene dado por la falta de preparación por parte de la sociedad a las nuevas tecnologías, algo que debemos asumir como temporal.

En definitiva, la clave para apaciguar el “problema tecnoético” del que nos habla Torcal (2018) es la cooperación entre los sectores público y privado con el fin de controlar el ritmo con que la innovación llega a nuestras vidas, pues solo así, seremos capaces de absorber el impacto negativo a corto y medio plazo y podremos beneficiarnos del cambio, tal y como hemos venido haciendo hasta ahora.

Referencias bibliográficas.

Acemoglu, D. y Restrepo, P. (2016): "The Race Between Machine and Man: Implications of Technology for Growth, Factor Shares and Employment", *American Economic Review*, 108(6), pp. 1488-1542.

Aghion, P. y Howitt, P. (1992) : "A Model of Growth Through Creative Destruction", *Econometrica*, 60(2), pp. 323-352.

Aghion, P. y Howitt, P. (2005) : "Growth with Quality-Improving Innovations: An integrated Framework", en P. Aghion y S. Durlauf (eds.), *Handbook of Economic Growth*, Elsevier.

Arntz, M., Gregory, T. y Zierahn, U. (2016): "The risk of Automation for Jobs in OCDE Countries: A Comparativa Analysis". *OCDE Social, Employment and Migration Working Papers*, 189, OCDE Publishing, París. Disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/the-risk-of-automation-for-jobs-in-oecd-countries_5jlz9h56dvq7-en [consulta: 14/05/2019]

Ball, P. (2015): "¿Puede realmente el Test de Turing distinguir un robot de un humano?", *BBC Future*. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/07/150731_tecnologia_vert_fut_prueba_turing_lv [consulta: 3/04/2019]

Benedikt, C. y Osborne, M. (2013): "The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? ", University of Oxford. Disponible en: https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf [consulta: 10/05/2019]

Brussevich, M., Dabla-Norris, E., Kamunge, C., Karnane, P., Khalid, S., y Kochhar, K. (2018): "Gender, technology and the future of work". *IMF Staff discussion note*.

Díez Catalán, L. (2018): "La participación del trabajo en la renta nacional en una economía de servicios", *BBVA Research*. Disponible en: <https://www.bbva.com/publicaciones/la-participacion-del-trabajo-en-la-renta-nacional-en-una-economia-de-servicios/> [consulta: 12/04/2019]

Díez, L. y Neut, A. (2018): "Empleo y productividad en la era digital", *BBVA Research*. Disponible en: https://www.bbva.com/wp-content/uploads/2018/11/LuisDiez_AlejandroNeut_Expansion_ESP.pdf [consulta: 15/01/2019].

Doménech, R., García, J., Montañez, M., y Neut, A. (2017): "El impacto del cambio tecnológico y el futuro del empleo", *BBVA Research*. Disponible en: <https://www.bbva.com/publicaciones/el-impacto-del-cambio-tecnologico-y-el-futuro-del-empleo/> [consulta: 13/04/2019]

Gray, Á. (2019): "Esta es nuestra oportunidad de redefinir completamente el significado del trabajo", *Formative content*, Foro Económico Mundial. Disponible en: <https://es.weforum.org/agenda/2019/01/esta-es-nuestra-oportunidad-de-redefinir-completamente-el-significado-del-trabajo/> [consulta: 21/03/2019]

Grossman, G. M. y Helpman, E. (1991): *Innovation and growth in the global economy*. The MIT Press, Cambridge y Londres.

Grupo Adecco e Instituto Cuatrecasas. (2018): "Estudio sobre el impacto de la Inteligencia Artificial en los recursos humanos". Disponible en: <https://adecco.es/wp-content/uploads/2018/09/NdP-So%CC%81lo-1-de-cada-4-expertos-en-RRHH-cree-que-la-IA-sera%CC%81-una-amenaza-para-el-empleo.pdf> [consulta: 25/04/2019]

Jones, C. (1995) : "R&D Based Models of Economic Growth", *Journal of Political Economy*, 103(4), 759-784.

Keynes, J. M. (1930) : *Economic possibilities for our grandchildren*, Norton & Co, Nueva York.

López de Mántaras, R. (2016): "El legado de un pionero", *El Mundo*. Disponible en: <https://www.elmundo.es/ciencia/2016/01/27/56a7dabfe2704e69448b4653.html> [consulta: 4/06/2019]

Mankiw, N. G., Romer, D. y Weil, D. N. (1992): "A Contribution to the Empirics of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 107(2), pp. 407-437.

Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., y Dewhurst, M. (2017): "A future that works: Automation, employment and productivity". *McKinsey Global Institute*. McKinsey & Company. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/Digital%20Disruption/Harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/MGI-A-future-that-works-Executive-summary.ashx> [consulta: 2/05/2019]

Melle Hernández, M. (2018): "Los retos del empleo en la economía 4.0". *Telos* 109. Disponible en: <https://telos.fundaciontelefonica.com/telos-109-analisis-monica-melle-los-retos-del-empleo-en-la-economia-4-0/> [consulta: 27/01/2019]

OCDE (2018): "Putting faces to the jobs at risk of automation". *Policy brief on the future of work*, OCDE Publishing, Paris. Disponible en: <http://www.oecd.org/els/emp/future-of-work/Automation-policy-brief-2018.pdf> [consulta: 30/05/2019]

Peralta-Alva, A. y Roitman, A. (2018): "Technology and the Future of Work". *IMF Working Paper*, IMF.

Perasso, V. (2016): "Qué es la cuarta revolución industrial (y por qué deberíamos preocuparnos)", *BBC Mundo*. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37631834> [consulta: 16/04/2019]

Pissarides, C. y Bughin, J. (2018): "Abrazar la nueva era de la automatización", *Project Syndicate*. Disponible en: <https://www.project-syndicate.org/commentary/automation-jobs-policy-imperatives-by-christopher-pissarides-and-jacques-bughin-2018-01/spanish?barrier=accesspaylog> [consulta: 11/03/2019]

Prats, J., Castelló, J. E., Forcadell, C., García, M. C., Izuzquiza, I., y Loste, M. A. (2013): “Historia del Mundo Contemporáneo”, Anaya.

Rodríguez Cid, S. (2018): “Historia y evolución de la inteligencia artificial”, CICE. Disponible en: <https://www.cice.es/noticia/historia-evolucion-la-inteligencia-artificial/> [consulta: 15/02/2019]

Romer, P. M. (1986): “Increasing Returns and Long-Run Growth”, *Journal of Political Economy*, 94(5), 1002-37.

Romer, P. M. (1990): “Endogenous Technological Change”, *Journal of Political Economy*, 98(5), S71-S102.

Rose, K., Eldridge, S., y Chapin, L. (2015): “El Internet de las cosas – Una breve reseña”. Internet Society (ISOC). Disponible en: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf> [consulta: 3/06/2019]

Sachs, J. D. (2018) : “R&D, Structural Transformation and the Distribution of Income”, en Agrawal, A., Gans, J. y Goldfarb, A. (eds.), *NBER Book on The Economics of Artificial Intelligence: An Agenda (2019)*, National Bureau of Economic Research, pp. 329-348.

San Martín Mazzucconi, C. (2017): “Generalización tecnológica: efectos sobre las condiciones de trabajo y empleo”, Universidad Rey Juan Carlos, Madrid.

Schwab, K. (2016): *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum, Ginebra.

Schwab, K. (2019): “¿Qué es la Globalización 4.0 y estamos listos para ello?”, Foro Económico Mundial. Disponible en: <https://es.weforum.org/agenda/2018/11/los-forcejeos-de-la-globalizacion-4-0/> [consulta: 13/04/2019]

Skidelsky, R. (2019): “¿El camino de IA hacia la servidumbre?”, Project Syndicate. Disponible en: <https://www.project-syndicate.org/commentary/automation-may-not-boost-worker-income-by-robert-skidelsky-2019-02/spanish> [consulta: 13/03/2019]

Solow, R. M. (1956) : “A Contribution to the Theory of Economic Growth”, *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), pp. 65-94.

Torcal, L. (2018): “El corazón del problema tecnoético: integración versus superación”. *Telos 109*. Disponible en: <https://telos.fundaciontelefonica.com/telos-109-cuaderno-central-tecnoetica-lluc-torcal-corazon-problema-tecnoetico/> [consulta: 27/01/2019]

UNED (2009): “La Revolución Industrial: de las sociedades agrarias a las industriales”. Historia del mundo contemporáneo. Disponible en: http://ocw.innova.uned.es/epica/his_contempo/contenidos/html/unidad2/unidad_001_2.html [consulta: 1/04/2019]