



Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Economía

Efectos de la Automatización Sobre la Participación de la Renta Laboral

Presentado por:

Eva Martín Sanginés

Tutelado por:

Carlos Borondo Arribas

Valladolid, 09 de Julio de 2018

RESUMEN

Este trabajo tiene el propósito de describir y analizar los múltiples efectos de la automatización, entendida como la aplicación de máquinas capaces de realizar tareas humanas, sobre la productividad y el mercado de trabajo. Para ello, abordaremos el modelo basado en tareas de Acemoglu y Restrepo (2018a) las cuales pueden ser desempeñadas bien por el hombre o bien por máquinas. El modelo analiza cómo la automatización, al sustituir trabajo por capital, provoca un descenso de la demanda de trabajo, los salarios, y la participación de la renta laboral en el PIB. Sin embargo, no solo desencadena efectos negativos ya que a su vez incrementa la productividad y permite a las empresas un mayor ahorro en costes. Más allá de estos efectos, la automatización y más intensamente gracias a su forma más avanzada, la Inteligencia Artificial, es capaz de crear nuevos puestos de trabajo intensivos en mano de obra. Este último aspecto es fundamental para contrarrestar la caída de la participación de la renta laboral en PIB.

Palabras clave: participación de la renta laboral, mercado de trabajo, automatización, Inteligencia Artificial.

ABSTRACT

This paper has the purpose to describe and analyze the multiple effects on productivity and labor market of automation, understood as the application of machines able to perform human tasks. In this way, we will review Acemoglu and Restrepo's (2018a) task-based framework whose main idea is that some tasks can be performed either by human force or by machines. This framework analyzes how automation, by substituting labor for capital, decreases demand for labor, wages, and the share of labor in national income. However, there are not only negative effects because it also increases productivity and firms cost savings. Beyond these effects, automation, due to its more advanced form, Artificial Intelligence, can create new labor-intensive task. The latest is essential to counteract the share of labor income in GDP downfal.

Key words: participation of labor income, labor market, automation, artificial intelligence.

JEL Codes: O33, E24, J24.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA RECIENTE.....	7
3. LOS EFECTOS DE LA AUTOMATIZACIÓN: ACERCAMIENTO TEÓRICO.....	11
3.1. FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN.....	12
3.2. EQUILIBRIO EN EL MERCADO DE TRABAJO.....	13
3.3. EL EFECTO DESPLAZAMIENTO.....	17
3.4. EFECTOS COMPENSATORIOS.....	18
3.4.1. Efecto productividad.....	18
3.4.2. Acumulación de capital.....	21
3.4.3. Efecto profundización.....	22
3.4.4. Creación de nuevas tareas.....	22
3.5. INEFICIENCIAS DE LA AUTOMATIZACIÓN.....	26
3.5.1. Desajuste entre habilidades humanas y tecnología.....	26
3.5.2. El problema de la rápida introducción de la automatización.....	29
3.5.3. Automatización excesiva.....	30
4. LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL.....	31
4.1. ¿QUÉ ENTENDEMOS POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL?.....	31
4.2. LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LAS EMPRESAS.....	32
4.2.1. Estructura del mercado.....	32
4.2.2. Redistribución sectorial.....	33
4.2.3. Organización interna de las empresas.....	34
5. EVIDENCIAS EMPÍRICAS.....	37
6. CONCLUSIONES.....	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y PÁGINAS WEB.....	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1: Representación de las tareas.....	12
Figura 3.2: Representación de las tareas en función de la cualificación de los trabajadores.....	27
Figura 4.1: Salario por hora e intensidad en I+D.....	35
Figura 5.1: Participación de la renta del capital en industrias españolas (1970-2015).....	37
Figura 5.2: Participación de la renta del capital y su intensidad en industrias españolas (1995-2015).....	38
Figura 5.3: Participación de la renta de capital y aplicación de robots en industrias estadounidenses (2001-2014)	39
Figura 5.4: Participación de la renta de capital en la industria de equipos de transporte (1995-2015)	40

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia y cada vez con mayor intensidad, se han ido incorporando la automatización, la robótica y la Inteligencia Artificial (IA) en los sectores productivos de las economías. Este hecho ha marcado un profundo cambio no solo a nivel de la producción si no también en el mercado laboral y a mayor escala en el crecimiento económico.

En la actualidad y desde sus inicios, existe un fuerte debate acerca de los efectos de la automatización, ya que en primera instancia sustituye a los trabajadores por maquinaria, disminuyendo así el empleo y los salarios y por consiguiente la participación de la renta laboral en el PIB –efecto desplazamiento. Sin embargo, muchos autores olvidan los efectos positivos que permiten aumentar la productividad, la demanda de trabajo y los salarios.

Dentro de las implicaciones que supone la automatización, destaca la creación de nuevas tareas en las cuales el trabajo tiene una ventaja comparativa en relación con las máquinas. Este efecto es el único que compensa totalmente el desplazamiento de los trabajadores y aumenta la participación del trabajo en la renta nacional. Seguidamente, hay que prestar especial atención a la intensidad y velocidad con la que las economías automatizan los procesos, ya que un exceso podría desencadenar ineficiencias.

Autores como Acemoglu y Restrepo han realizado en estos últimos años rigurosos análisis acerca de las implicaciones de la automatización sobre la demanda de trabajo, la productividad y los salarios. A lo largo de este trabajo, prestaremos especial atención a su último y muy reciente modelo (2018a) basado en la tarea como unidad de producción, para poder analizar los efectos derivados de la automatización –tanto positivos como negativos.

Paralelamente abordaremos los efectos de la Inteligencia Artificial –como última forma de acelerar la automatización– ya que no solo transforma la producción de bienes y servicios si no que también afecta al proceso de innovación –o producción de ideas– y da lugar a la aparición de nuevas tareas exclusivas para el trabajo. Es interesante estudiar este hecho ya que su

repercusión difiere entre empresas y estructuras de mercado en cuanto al nivel de competencia y organización interna.

Además de modelos puramente teóricos, se han realizado numerosos estudios empíricos con el fin de determinar los efectos de la automatización y de la aplicación de robots sobre la economía. Al igual que realizaron Aghion, Jones y Jones (2017) con el mercado laboral estadounidense, en este trabajo ilustraremos los efectos de la automatización sobre las rentas del capital a partir de datos procedentes de industrias españolas con distinta intensidad innovadora.

Este trabajo se estructura por lo tanto de la siguiente manera. La Sección 2 hace una breve revisión de algunos estudios recientes sobre los efectos de la automatización. En la Sección 3 abordaremos los efectos tanto positivos como negativos de la automatización a partir del modelo de Acemoglu y Restrepo (2018a). En esta misma sección trataremos además las diferentes ineficiencias provocadas por la automatización. Seguidamente en la Sección 4 se prestará mayor atención a la Inteligencia Artificial como forma más avanzada de la automatización e indagaremos acerca de sus efectos en relación con la organización de las empresas, la competitividad y la estructura de mercado. En la Sección 5, siguiendo a Aghion, Jones y Jones (2017) a partir de la recopilación de datos presentaremos alguna evidencia de los efectos de la automatización sobre la participación de las rentas del capital en diversos sectores industriales. Por último, en la sección 6 se detallarán las conclusiones obtenidas.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA RECIENTE

Desde hace décadas, los países desarrollados están siendo testigos de un profundo cambio tecnológico. Dentro de dicho cambio, se encuentra la automatización de tareas, la cual ha supuesto un notable efecto en el conjunto de la economía y con mayor intensidad en el mercado de trabajo. La creación masiva de maquinaria ha provocado la caída del precio del capital tecnológico, por consiguiente la mayoría de sectores de la economía han optado por introducirlo en la producción ya sea como factor sustitutivo o como

complementario de la fuerza de trabajo. A lo largo del tiempo, este hecho ha originado un fuerte debate acerca de los efectos de la automatización ya que desde sus orígenes ha supuesto la desaparición de empleos. Sin embargo, en el último siglo, la innovación aplicada en los procesos de producción ha ido acompañada de mayores tasas de ocupación. Múltiples autores han dirigido sus estudios y modelos hacia este nuevo paradigma ¿Es la automatización creadora o destructora de empleo?

En primer lugar, Acemoglu y Restrepo (2017a) analizaron los efectos de la robotización industrial en los mercados de trabajo a nivel local en Estados Unidos entre 1990 y 2007. Estos autores, partieron de la idea de que los robots compiten frente al ser humano en la realización de tareas y a pesar de aumentar la productividad, pueden llegar a reducir el empleo y los salarios. Para corroborarlo, elaboraron una regresión entre la evolución del empleo y los salarios y la introducción de robots en cada industria. Como resultado obtuvieron que la introducción de un robot por cada mil trabajadores, reduce la tasa de empleo en 0,18-0,34 puntos porcentuales y los salarios en un 0,25-0,5 por ciento –dependiendo del intercambio comercial entre las zonas, la deslocalización y el tipo de industria.

Acemoglu y Restrepo (2017b) queriendo ir más allá, realizaron recientemente un estudio acerca de las implicaciones de la tecnología sobre el crecimiento, el empleo y la participación de los factores productivos sobre la renta. Inicialmente elaboraron un modelo estático con capital fijo y tecnología exógena. Tras el desarrollo de dicho modelo, concluyeron que la incorporación de la tecnología daba lugar a un doble impacto. En primer lugar, la automatización de tareas existentes –las empresas sustituyen trabajo por capital reduciendo el empleo– y en segundo lugar, la creación de nuevas tareas en las cuales el trabajo cuenta con una ventaja comparativa frente al capital –sustitución de antiguas tareas por otras en las que el trabajo se vuelve más productivo. Al contrario que la automatización, este último impacto afecta positivamente a los precios de los factores, al empleo y por lo tanto a su participación sobre la renta –abordaremos el modelo en la sección 3 de este trabajo.

Seguidamente elaboraron un modelo dinámico con tecnología endógena en el cual, los avances tecnológicos pasan a proceder de la parte de la acumulación de capital destinada a la inversión en I+D. Este nuevo modelo supone que la creación de nuevas tareas aumenta de manera exponencial la productividad de los trabajadores y que además ambos impactos tecnológicos –automatización y creación de nuevas tareas– surgen en una misma proporción. Por lo tanto, esta versión más completa ofrece una senda de crecimiento equilibrado al aumentar ambos efectos por igual.

Además, el modelo tras considerar la renta del capital constante traspasa todas las ganancias de productividad al trabajo y concluye que a pesar de que la automatización tienda siempre a reducir la participación de la renta laboral, los salarios reales aumentarán a largo plazo por dicho efecto productividad.

Por otra parte, exponen los beneficios que supone reducir los costes de producción procedentes del trabajo para las empresas, las cuales automatizarán su producción pero solo hasta un cierto punto ya que a su vez optarán por la creación de nuevas tareas debido a las ventajas que estas conllevan. Finalmente estos autores, hacen hincapié en un último inconveniente que surge tras la automatización, y es que a largo plazo aumentarán las desigualdades entre los trabajadores en función de su grado de cualificación.

Tras estudiar las implicaciones que puede conllevar la automatización, Aghion, Jones y Jones (2017) trataron de ampliar el modelo incluyendo el impacto potencial que supone la Inteligencia Artificial –entendida esta como la última forma de automatización– sobre el mercado de trabajo.

Para ello, desarrollaron la aportación de Baumol (1965) conocida bajo el nombre de “cost disease” o enfermedad de los costes, que mostraba cómo en sectores donde había un rápido crecimiento de la productividad –en las manufacturas o la agricultura– se veían reducidos los salarios mientras que aumentaban en sectores con un crecimiento de la productividad relativamente más lento –en el sector servicios. Por otra parte, analizaron como la introducción de maquinaria capaz de imitar el comportamiento humano no solo transformaba la producción de bienes y servicios si no que también la

generación de nuevas tecnologías –lo que denominaron la producción de ideas.

Asimismo, hicieron hincapié en la aparición de “singularidades tecnológicas” (término adoptado por John Von Neumann) referidas estas a la capacidad de las propias máquinas de auto-mejorarse. Como consecuencia, vieron como este hecho podría desembocar en una “explosión tecnológica” (Good (1950), Vinge (1993)), es decir en una situación en la cual la creación de inteligencia escapa del control humano llegando incluso a superar su capacidad intelectual. Por otro lado, también indagaron acerca de los efectos producidos a nivel interno de las empresas y en la estructura del mercado (se verá en la sección 4.2.).

En cuanto a la eficiencia, Cockburn, Henderson, Stern (2018) estudian cómo podía incrementarse a través de la Inteligencia Artificial al transformar los procesos de innovación. Para hacer esto posible, resaltaron la necesidad de evitar el control absoluto de una sola empresa sobre todas las bases de datos y algoritmos –necesarios para desarrollar los sistemas inteligentes– y por el contrario, hacer que estos sean públicos y transparentes para poder beneficiar al conjunto de la sociedad. Por lo tanto, estos autores destacan la importancia del papel que deben jugar las políticas e instituciones para promover eficientemente los incentivos derivados de la innovación.

Finalmente, más allá de los efectos dentro del propio proceso productivo, la automatización se ha visto relacionada con la estructura demográfica de las economías. A primera vista, cabría suponer que en los países desarrollados tras un envejecimiento poblacional y un aumento del número de jubilados, disminuye el empleo. Sin embargo Acemoglu y Restrepo (2018c), en otro de sus estudios, encontraron una relación positiva entre el crecimiento económico y el envejecimiento de la población. A partir de ello demostraron que las diferencias tecnológicas entre las economías se debían a sus diferentes estructuras demográficas¹. Este hecho se debe a que los trabajadores de mediana edad –entre 31 y 55 años– tienden a trabajar en ocupaciones productivas altamente robotizadas –fábricas, talleres. Por lo tanto, si la

¹ Su estudio se centró en comparar el número de robots por cada mil empleados (2014) en manufacturas de Estados Unidos, Japón, Alemania y Corea del Sur. Observó como Estados

economía presenta rápidos cambios demográficos y por consiguiente un envejecimiento poblacional, dichos trabajadores escasearán y se implantará un mayor número de robots para realizar sus tareas. Sin embargo, el declive de estas ocupaciones debido a la introducción de robots, no afecta a los trabajadores de mayor edad, situados normalmente en ocupaciones del sector servicios y de mayor cualificación –administración, gestión, finanzas– las cuales son más difíciles de reemplazar por robots.

A pesar de todos estos trabajos y debido a la falta de datos, es difícil y complejo analizar cómo afectará, en un futuro, la incorporación de nuevas tecnologías al empleo y a la economía en general.

3. EFECTOS DE LA AUTOMATIZACIÓN: ACERCAMIENTO TEÓRICO

La introducción de la automatización, la Inteligencia Artificial y la robótica en los procesos productivos ha originado efectos decisivos sobre el mercado de trabajo, la realización de tareas y la productividad, aunque no siempre en el mismo sentido.

El efecto más inmediato de la automatización y el de mayor impacto, es la sustitución de los trabajadores por maquinaria, lo que denominaremos a partir de ahora como efecto desplazamiento. Dicho efecto conlleva una reducción de la demanda de trabajo y de salarios, ya que al aumentar la productividad y con ello la cantidad de output por trabajador, las empresas necesitarán menos trabajadores para mantener los mismos niveles de producción.

Sin embargo, existen evidencias a lo largo de la historia donde la automatización ha ido acompañada del crecimiento tanto de la demanda de trabajo como de los salarios. Este hecho, como veremos más adelante, se debe a los efectos compensatorios derivados como el efecto productividad, la acumulación de capital y el efecto profundización.

A pesar de estos últimos son capaces de aumentar el empleo y los salarios, el efecto desplazamiento sigue repercutiendo negativamente sobre la participación del trabajo en la renta nacional. Sin embargo, existe un último efecto de la automatización decisivo para equilibrar el crecimiento: la creación

de nuevas tareas o actividades en las que el trabajo tiene una ventaja comparativa frente al capital.

En esta sección detallaremos los diferentes efectos, dentro del marco teórico desarrollado por Acemoglu y Restrepo (2018a) el cual considera la tarea como unidad central de producción. Dichas tareas pueden ser desempeñadas únicamente por trabajadores o bien por máquinas y trabajadores y su productividad dependerá de las ventajas comparativas de dichos factores.

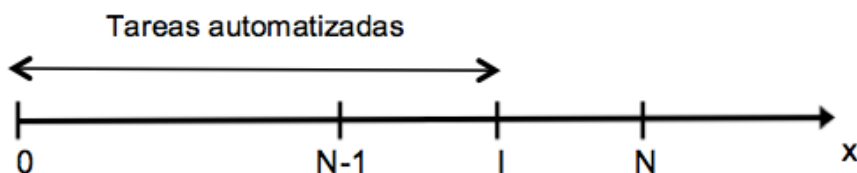
3.1. Función de producción

En el modelo, la función de producción agregada recoge a través de una Cobb-Douglas de elasticidad unitaria, el conjunto total de output obtenido por cada tarea ($y(x)$). La variable x representa cada tarea va indexada entre $N - 1$ y N . Esto se debe a que el número vigente de tareas está normalizado a 1 , pero N puede aumentar con la aparición de nuevas tareas.

$$\ln Y = \int_{N-1}^N \ln(y(x)) dx$$

Las tareas automatizadas pueden ser realizadas tanto por hombres como por máquinas y se presentan en un rango $x \in [0, I]$. Por el contrario, las tareas no automatizadas son llevadas a cabo únicamente por hombres y toman el rango $x \in [I, N]$. Asimismo el valor de I representa la frontera de posibilidades de la automatización –rango de tareas que pueden ser automatizadas mediante la tecnología disponible (ver figura 3.1).

Figura 3.1: Representación de las tareas



La producción en función del número de tareas queda por lo tanto definida como:

$$y(x) = \begin{cases} \gamma_L(x)l(x) + \gamma_M(x)m(x) & , x \in [0, I] \\ \gamma_L(x)l(x) & , x \in (I, N] \end{cases}$$

Donde $\gamma_L(x)$ representa la productividad del trabajo en cualquier tarea x y $\gamma_M(x)$ la productividad de las máquinas en las tareas automatizadas ($x \in [0, I]$). Este modelo considera al ratio $\frac{\gamma_L(x)}{\gamma_M(x)}$ creciente respecto al número de tareas (x), por lo que el trabajo (L) presentará una ventaja comparativa frente a las máquinas (M) en las tareas de mayor rango ($x \sim N$).

Con el fin de simplificar, se suponen las cantidades de trabajo (L) y de maquinaria (M) fijas e inelásticas. La inelasticidad del trabajo implica que ante cualquier cambio en la demanda de trabajo, la participación del trabajo sobre la renta nacional y el salario se verán afectados, pero nunca el nivel de empleo.

Los anteriores supuestos servirán de base para estudiar las implicaciones correspondientes a los cuatro tipos de avance tecnológico. Todos ellos aumentan la productividad pero tienen diferente impacto sobre la demanda de trabajo, la renta laboral y los salarios. Estos cuatro son: los avances tecnológicos que aumentan el trabajo –incrementan la productividad $\gamma_L(x)$ –, la automatización extensiva –aumenta el número de tareas que pueden ser automatizadas (I)–, la automatización intensiva o profundización –incrementa la productividad $\gamma_M(x)$ en las tareas ya automatizadas ($x < I$)– y la creación de nuevas tareas en las cuales el trabajo tiene una ventaja comparativa – incremento en el número de tareas (N).

3.2. Equilibrio en el mercado de trabajo

Se supone que las empresas minimizan su función de costes tomando la rentabilidad del capital (R) y el salario (W) como valores exógenos. Además el precio relativo del trabajo vendrá condicionado por:

(1)

$$\frac{\gamma_L(N)}{\gamma_M(N-1)} > \frac{W}{R} > \frac{\gamma_L(I)}{\gamma_M(I)}$$

Con el fin de simplificar, los autores definen a priori la parte izquierda de la expresión, la cual implica que la introducción de nuevas tareas, ya sea un

aumento de N , incrementará la producción agregada –se verá más adelante. Asimismo, la parte derecha de (1) determina que la totalidad de las tareas automatizadas ($x \in [N - 1, I]$) serán realizadas por máquinas debido a que presentan un coste inferior ($WL > RM$).

A continuación detallaremos el proceso por el cual se obtiene la renta agregada –con la que obtendremos más adelante el equilibrio del modelo.

Para ello partiremos de la ecuación de precios de las tareas, obtenida a partir de las condiciones de primer orden de minimización de costes. El precio resultante para cada tarea –automatizada o no– coincidirá con su respectivo coste marginal:

$$p(x) = \begin{cases} \frac{R}{\gamma_M(x)} & , x \in [0, I] \\ \frac{W}{\gamma_L(x)} & , x \in (I, N] \end{cases} \quad (2)$$

La demanda de tareas es inversamente proporcional al precio, por lo tanto:

$$y(x) = \frac{Y}{p(x)}$$

En cuanto a la demanda de factores productivos, ya sean estos “máquinas inteligentes” $k(x)$ o trabajo $l(x)$, se obtiene dividiendo la producción deseada entre la productividad de cada factor. En el caso del capital:

$$k(x) = \frac{y(x)}{\gamma_M(x)} = \frac{Y}{p(x)\gamma_M(x)} = \frac{Y}{R}$$

Sabiendo que la demanda de capital es diferente para cada tipo de tarea:

$$k(x) = \begin{cases} \frac{Y}{R} & , x \in [0, I] \\ 0 & , x \in (I, N] \end{cases}$$

En cuanto al factor trabajo:

$$l(x) = \frac{y(x)}{\gamma_L(x)} = \frac{Y}{p(x)\gamma_L(x)} = \frac{Y}{W}$$

Asimismo, la demanda de trabajo también difiere en cuanto al tipo de tarea:

$$l(x) = \begin{cases} 0 & , x \in [0, I] \\ \frac{Y}{W} & , x \in (I, N] \end{cases}$$

Las condiciones de equilibrio para el stock de ambos factores –con las que se vacía el mercado– se obtienen tras agregar sus demandas e igualándolas a su oferta:

$$K = \int_{N-1}^I k(x)dx = \int_{N-1}^I \frac{Y}{R} dx = \frac{Y}{R}(I - N + 1)$$

$$L = \int_I^N l(x)dx = \int_I^N \frac{Y}{W} dx = \frac{Y}{W}(N - I)$$

Del mismo modo, dados los stocks de capital (K) y trabajo (L) se determinan sus precios de equilibrio (R y W):

$$K = \frac{Y}{R}(I - N + 1) \rightarrow R = \frac{Y}{K}(I - N + 1) \tag{3}$$

$$L = \frac{Y}{W}(N - I) \rightarrow W = \frac{Y}{L}(N - I)$$

Finalmente se comprueba que la renta agregada es consistente a la agregación de las rentas factoriales:

$$RK + WL = Y(I - N + 1) + Y(N - I) = Y$$

A continuación, se define el precio del producto final (P) como un índice agregado de los logaritmos de $p(x)$, tal que:

$$\ln P = \int_{N-1}^N \ln(p(x))dx$$

Si normalizamos el precio del producto final ($P = 1$)

$$\int_{N-1}^N \ln(p(x))dx = 0$$

Sustituyendo (2)

$$\int_{N-1}^I (\ln R - \ln(\gamma_M(x)))dx + \int_I^N (\ln W - \ln(\gamma_L(x)))dx = 0 \tag{4}$$

Considerando los costes de los factores productivos (R y W) hallados en (3) y aplicando logaritmos:

$$\ln R = \ln Y - \ln\left(\frac{K}{I - N + 1}\right)$$

$$\ln W = \ln Y - \ln\left(\frac{L}{N-1}\right)$$

Sustituyendo los valores anteriores en la función de precios -ecuación (4)

$$\int_{N-1}^I \left(\ln Y - \ln\left(\frac{K}{I-N+1}\right) - \ln \gamma_M(x) \right) dx$$

$$+ \int_I^N \left(\ln Y - \ln\frac{L}{N-1} - \ln \gamma_L(x) \right) dx = 0$$

Resolviendo las integrales y reordenando:

$$\left(\ln Y - \ln\frac{K}{I-N+1} \right) (I-N+1) - \int_{N-1}^I \ln \gamma_M(x) dx$$

$$+ \left(\ln Y - \ln\frac{L}{N-1} \right) (N-I) - \int_I^N \ln \gamma_L(x) dx = 0$$

Despejando el logaritmo de la producción agregada:

$$\ln Y (I-N+1 + N-I) = \ln Y =$$

$$= \left(\ln\frac{K}{I-N+1} \right) (I-N+1) + \left(\ln\frac{L}{N-1} \right) (N-I)$$

$$+ \int_{N-1}^I \ln \gamma_M(x) dx + \int_I^N \ln \gamma_L(x) dx$$

Tras invertir la ecuación se obtienen finalmente los términos agregados:

$$e^{\ln Y} = B \cdot e^{\left(\ln\frac{K}{I-N+1}\right)^{(I-N+1)}} \cdot e^{\left(\ln\frac{L}{N-1}\right)^{(N-I)}}$$

Y finalmente:

(5)

$$Y = B \left(\frac{K}{I-N+1} \right)^{I-N+1} \left(\frac{L}{N-1} \right)^{N-I}$$

Donde:

$$B = e^{\int_{N-1}^I \ln \gamma_M(x) dx + \int_I^N \ln \gamma_L(x) dx}$$

La producción agregada presenta una forma Cobb-Douglas homogénea de primer grado –rendimientos constantes de escala $((I-N+1) + (N-I) = 1)$. Esto implica que el coste de independiente del nivel de producción y solo dependerá únicamente de los precios relativos de los factores determinados por los stocks de capital y trabajo. A partir de los exponentes de los factores

productivos, se observa que el capital depende directamente de la extensión de la automatización (I) e inversamente de la creación de nuevas tareas (N) y que en el caso del factor trabajo, ocurre lo contrario.

Por último, la demanda de trabajo obtenida anteriormente en (3) permite determinar la participación de la renta laboral como el número de tareas no automatizadas:

$$s_L = \frac{WL}{Y} = N - I \quad (6)$$

En las secciones siguientes, siguiendo este modelo, detallaremos con mayor precisión los efectos provocados por la automatización.

3.3. El efecto desplazamiento

Si el capital es lo suficientemente barato y productivo, las empresas optarán por automatizar la producción de forma extensiva –incrementando el número de tareas automatizadas– lo que provocará un efecto desplazamiento, el cual hará caer la demanda de trabajo al ser sustituido por capital.

La automatización al reducir la cantidad de empleo, aumentará la productividad y con ello de la cantidad de output por trabajador. Este hecho situará a la productividad marginal por encima del salario de los trabajadores provocando un desequilibrio que reducirá la participación del trabajo en la renta nacional.

Continuando dentro del marco formal del modelo de Acemoglu y Restrepo (2018a) podemos obtener a partir de la ecuación (3) los efectos producidos por el desplazamiento de trabajadores –considerado como un aumento de I – en la demanda de trabajo:

$$\frac{d \ln W}{dI} = \frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dI} + \frac{d \ln(N - I)}{dI}$$

Donde:

$$\frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dI} > 0; \quad \frac{d \ln(N - I)}{dI} = -\frac{1}{N - I} < 0$$

El segundo término del sumatorio corresponde al efecto desplazamiento y al ser este negativo, disminuye la demanda de trabajo y el salario. El primer término por el contrario, representa el efecto productividad y afecta positivamente –se detallará más adelante.

Si la automatización no generase un efecto productividad reduciría inequívocamente el salario, pero a pesar de que el salario pueda aumentar tras un fuerte aumento de la productividad, la ecuación (6) nos muestra que la participación de la renta laboral siempre se verá reducida

3.4. Efectos compensatorios

A pesar del impacto negativo del efecto desplazamiento, la automatización no siempre se traduce en una reducción del empleo. Existen periodos a lo largo de la historia en los cuales la automatización ha supuesto importantes mejoras en la productividad, ha incrementado la demanda de trabajo e incluso ha elevado los salarios. Es evidente por lo tanto que su implantación también es capaz de desencadenar efectos positivos para el conjunto de la economía y de promover el crecimiento económico.

3.4.1. Efecto productividad

El efecto productividad derivado de la automatización impulsa la demanda de trabajo a través de dos vías. En primer lugar, una empresa al sustituir trabajo por capital –siendo este más barato– reduce sus costes de producción y con ello –dentro de un marco competitivo– los precios de sus bienes y servicios. Si la demanda de dichos bienes es elástica se incrementará de manera más que proporcional –efecto productividad-precio– lo que reportará a la empresa mayores beneficios. Esta al disponer de mayor cantidad de capital, ampliará o abrirá nuevos negocios con el fin de expandir su producción. Por lo tanto ofrecerá nuevos puestos de trabajos para la realización las tareas complementarias a aquellas que han sido automatizadas y que por el contrario no pueden ser realizadas por máquinas.

En segundo lugar, al disminuir los precios y aumentar la demanda de bienes y servicios, se incrementa la renta real de toda la economía ya que por

un lado las familias gastarán menos y por otro lado las empresas obtendrán más beneficios. Las familias al contar con una mayor renta disponible, consumirán y demandarán mayor cantidad de productos en general –no solo de aquellos cuya producción ha sido automatizada. El conjunto de sectores, al verse beneficiados, expandirán su producción y ofrecerán nuevos puestos de trabajo para aquellos trabajadores que han sido desplazados. Por lo tanto la demanda de trabajo aumentará en todos los sectores de la economía hayan sido estos automatizados o no.

Esto demuestra que el verdadero problema para los trabajadores no surge al incrementar su productividad, si no al automatizar de forma “mediocre” las tareas que realizaban anteriormente, es decir lo justo como para desplazarlos de sus puestos de trabajo pero sin desarrollar puestos de trabajo complementarios. Es por ello necesario que la automatización aumente a gran escala la productividad para poder lograr los efectos positivos y paliar la caída del empleo.

Continuando dentro del modelo formal, obtenemos la productividad del trabajo a partir la expresión (5) –como cociente entre la producción y el stock de trabajo $\left(\frac{Y}{L}\right)$:

$$\begin{aligned}
 \ln\left(\frac{Y}{L}\right) &= \ln Y - \ln L \\
 &= \ln \frac{K}{I - N + 1} (I - N + 1) + \ln \frac{L}{N - 1} (N - I) \\
 &+ \int_{N-1}^I \ln(\gamma_M(x)) dx + \int_I^N \ln(\gamma_L(x)) dx - \ln L
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Derivando respecto del número de tareas automatizadas (I) y teniendo en cuenta las demandas de trabajo y de capital halladas en la ecuación (3) se obtienen las implicaciones del efecto productividad en función de las productividades físicas de los factores de producción ($\ln(\gamma_M(I)), \ln(\gamma_L(I))$) y de sus respectivos precios (W, R):

$$\begin{aligned}
\frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dI} &= \ln(\gamma_M(I)) - \ln(\gamma_L(I)) \ln \left(\frac{K}{I - N + 1} \right) - (I - N + 1) \frac{d \ln(I - N + 1)}{dI} \\
&\quad - \ln \left(\frac{L}{N - 1} \right) - (N - I) \frac{d \ln(N - 1)}{dI} \\
&= \ln \gamma_M(I) - \ln \gamma_L(I) + \ln \left(\frac{Y}{R} \right) - \ln \left(\frac{Y}{W} \right)
\end{aligned}$$

Tras agrupar y simplificar la expresión obtenemos:

$$\frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dI} = \ln \frac{W}{\gamma_L(I)} - \ln \frac{R}{\gamma_M(I)} > 0$$

Tras considerar el supuesto (1) obtenemos que la productividad del trabajo responde de manera positiva al automatizar un mayor número de tareas – cuando se incrementa I .

Al igual que en la sección anterior, el efecto de la automatización sobre la demanda de trabajo (3) se obtiene tras derivar respecto del número de tareas automatizadas (I):

$$\frac{d \ln W}{dI} = \frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dI} + \frac{d(N - I)}{dI} = \ln \frac{W}{\gamma_L(I)} - \ln \frac{R}{\gamma_M(I)} - \frac{1}{N - I}$$

Donde:

$$\ln \frac{W}{\gamma_L(I)} - \ln \frac{R}{\gamma_M(I)} > 0$$

El último término corresponde al efecto desplazamiento, siendo este negativo e inversamente proporcional a la cantidad de tareas realizadas únicamente por trabajo ($N - I$). Por el contrario, los dos primeros muestran el efecto productividad y su relación positiva con la demanda de trabajo.

Asimismo, se pueden apreciar las dos consecuencias inherentes a dicho efecto ya que incrementa la demanda de trabajo en tareas no automatizadas tanto en los sectores donde se ha llevado a cabo la automatización como en el resto –al incrementar la renta del conjunto de la economía y por lo tanto el consumo.

El efecto desplazamiento pasa a ser dominante –reduciendo el salario y la demanda de trabajo– si la diferencia entre las productividades físicas de los

factores es mínima². Esto ocurre cuando las nuevas tecnologías no son suficientemente productivas –son marginalmente mejores que el trabajo que remplazan.

Finalmente constatamos a partir de la ecuación (6), que Independientemente de la magnitud del efecto productividad, la automatización siempre reducirá la participación del trabajo en la renta nacional:

$$\frac{ds_L}{dI} = -1 < 0$$

3.4.2. Acumulación de capital

La automatización de tareas conlleva un aumento de la rentabilidad del capital, lo que incrementa su demanda y genera una mayor acumulación. Según la teoría neoclásica de crecimiento económico, dicha acumulación va a derivar en una mayor demanda de trabajo y en mayores salarios a largo plazo.

El modelo de Acemoglu y Restrepo presupone que la economía cuenta con una cantidad fija de capital que puede ser destinado a la adquisición de nueva maquinaria. Al incrementar la automatización en un margen extensivo, aumentará la demanda de capital y por consiguiente su precio (R) en el equilibrio –efecto producido en el corto plazo, al considerar el capital como un factor fijo en la producción. Si consideramos el medio plazo, donde el trabajo y el capital son factores complementarios, un aumento en el stock de capital, *ceteris paribus*, incrementa los salarios –reduce la renta del capital– y por consiguiente amplía el efecto productividad por una doble vía³:

$$\frac{d \ln W}{dI} = \frac{1}{N-I} + \ln \frac{W}{\gamma_L(I)} - \ln \frac{R}{\gamma_M(I)}$$

Sin embargo, a pesar del ajuste del stock de capital producido por la automatización, se sigue reduciendo la participación del trabajo en la renta nacional.

² Por el contrario, si las productividades físicas no son similares ($\frac{\gamma^M(I)}{R} \approx \frac{\gamma^L(I)}{W}$), si no que la automatización ha logrado mejorar la productividad del capital muy por encima de la del trabajo ($\frac{\gamma^M(I)}{R} \gg \frac{\gamma^L(I)}{W}$), aumentará la demanda de trabajo y los salarios.

³ Aunque la acumulación de capital mantuviera su precio R a un nivel constante, el efecto productividad seguiría superando al efecto desplazamiento.

3.4.3. Efecto profundización

El efecto desplazamiento aparece en el momento en el que la automatización se aplica dentro de un margen extensivo, al incrementar el número de tareas que pueden realizarse mediante capital. Sin embargo, si la automatización se aplica de manera intensiva, automatizando las tareas que ya han sido previamente automatizadas –incrementando la productividad de las máquinas instaladas– la productividad del capital aumenta sin provocar un mayor desplazamiento de trabajadores. Por lo tanto se generarían efectos positivos en la productividad sin repercutir negativamente sobre la demanda de trabajo.

En el modelo formal, el efecto profundización supone un incremento de la productividad del capital $\gamma M(x)$ en las tareas $x > I$. Bajo la suposición de que la productividad de las máquinas es la misma en todas las tareas automatizadas $\gamma M(x) = \gamma M$ y que su aumento ($d \ln(\gamma M(x)) > 0$) no produce ningún cambio en el margen extensivo (I) se obtienen las siguientes implicaciones sobre el salario de equilibrio y la productividad:

$$d \ln W = d \ln \frac{Y}{L} = (I - N - 1) d \ln(\gamma M(x)) > 0$$

Por lo tanto, este efecto tiende a incrementar la demanda de trabajo y los salarios. A pesar de ello, sigue sin incrementar la reducción de la participación del trabajo, al incrementar los salarios y la productividad por igual.

3.4.4. Creación de nuevas tareas

Las tres fuerzas compensatorias mencionadas anteriormente muestran como se puede disminuir el efecto desplazamiento causado por la automatización. Sin embargo, ninguna de ellas logra solucionar el desequilibrio entre el salario y la productividad –que el proceso de producción sea más intensivo en capital hace que la productividad se incremente por encima de los salarios reduciendo la proporción del trabajo en la renta nacional.

En los casos anteriores, el uso del capital se ha intensificado en las tareas que eran realizadas anteriormente por trabajadores. Por consiguiente, los trabajadores desplazados se ven limitados a un número reducido de tareas

donde poder tener alguna ventaja competitiva frente al capital. Al reducir el número de tareas y los salarios, disminuye la participación del trabajo en la renta nacional.

Es por ello, que la creación de nuevas tareas en las que el trabajo tiene una ventaja comparativa respecto al capital –también denominado como efecto restablecimiento– se considera imprescindible para contrarrestar los efectos negativos que conlleva la automatización. Existe además evidencia empírica, de que durante los periodos de automatización intensiva, han emergido nuevos trabajos e industrias que han logrado incrementar el empleo (s.XIX en Gran Bretaña).

El efecto restablecimiento viene dado a través de un incremento de N dentro del modelo formal. Se demuestra tras derivar la ecuación (7) que los efectos sobre la productividad son los siguientes:

$$\begin{aligned} \frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dN} &= -\ln \gamma_M(N-1) + \ln \gamma_L(N) + (-1) \ln \frac{K}{I-N+1} \\ &\quad + (I-N+1) \left(-\frac{-1}{I-N+1} \right) + \ln \frac{L}{N-I} + (N-I) \left(-\frac{1}{N-I} \right) \\ &= -\ln \gamma_M(N-1) + \ln \gamma_L(N) - \ln \left(\frac{Y}{R} \right) + \ln \left(\frac{Y}{W} \right) = \\ &= \ln \left(\frac{\gamma_L(N)}{\gamma_M(N-1)} \cdot \frac{Y}{W} \cdot \frac{R}{Y} \right) \end{aligned}$$

Reordenando:

$$\frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dN} = \ln \frac{R}{\gamma_M(N-1)} - \ln \frac{W}{\gamma_L(N)} > 0 \quad \text{por (1)}$$

Un incremento de N conlleva por lo tanto a un aumento de la productividad. A su vez, la creación de nuevas tareas incrementa la demanda de trabajo y el salario de equilibrio:

$$\frac{d \ln W}{dN} = \frac{d \ln Y/L}{dN} + \frac{1}{N-I} = \left[\ln \frac{R}{\gamma_M(N-1)} - \ln \frac{W}{\gamma_L(N)} \right] + \left[\frac{1}{N-I} \right]$$

El aumento de productividad producido por la creación de nuevas tareas se ve reflejado en el primer corchete de esta expresión, mientras que el segundo señala el efecto restablecimiento –ambos términos positivos.

Al contrario de lo que ocurría con el resto de efectos compensatorios, la creación de nuevas tareas es capaz de incrementar la participación del trabajo al recolocar a los trabajadores anteriormente desplazados por las máquinas.

$$\frac{ds_L}{dN} = 1$$

Por consiguiente, las tareas automatizadas (I) deberán aumentar en la misma medida que las tareas no automatizadas (N) para lograr que la participación del trabajo se mantenga estable y que los salarios se incrementen al mismo ritmo que la productividad de los trabajadores. Este hecho se aprecia al agrupar las expresiones derivadas de la demanda de trabajo respecto a la automatización y creación de nuevas tareas:

$$\begin{aligned} \frac{d \ln W}{dI} &= \frac{1}{N-I} + \ln \frac{W}{\gamma_L(I)} - \ln \frac{R}{\gamma_M(I)} \\ \frac{d \ln W}{dN} &= \left[\ln \frac{R}{\gamma_M(N-1)} - \ln \frac{W}{\gamma_L(N)} \right] + \left[\frac{1}{N-I} \right] \\ d \ln W &= \left[\ln \frac{R}{\gamma_M(N-1)} - \ln \frac{W}{\gamma_L(N)} \right] dN + \left[\ln \frac{W}{\gamma_L(I)} - \ln \frac{R}{\gamma_M(I)} \right] dI \\ &\quad + \left[\frac{1}{N-I} \right] (dN - dI) \end{aligned}$$

Retomando la ecuación (6):

$$ds_L = dN - dI$$

Al suponer que todas las tareas conllevan el mismo efecto sin importar si son automatizadas o no ($dN = dI$) y tras eliminar $\ln R$ y $\ln W$ se obtiene:

$$\begin{aligned} d \ln W &= [\ln R - \ln \gamma_M(N-1) - \ln W + \ln \gamma_L(N) + \ln W - \ln \gamma_L(I) - \ln R \\ &\quad + \ln \gamma_M(I)] dI \end{aligned}$$

Simplificando y reordenando:

$$d \ln W = \left[\ln \frac{\gamma_L(N)}{\gamma_M(N-1)} - \ln \frac{\gamma_M(I)}{\gamma_L(I)} \right] dI > 0$$

Los salarios y la demanda de trabajo dependen positivamente de la introducción de nuevas tareas automatizadas –siendo la de no automatizadas igual– al considerar de nuevo el supuesto (1)

Es a partir de este efecto, donde la Inteligencia Artificial toma un papel fundamental, ya que a pesar de automatizar los procesos productivos, es capaz de crear un mayor número de puestos de trabajo complementarios a estos. Según estudios de Accenture (2017), el hecho de aplicar la Inteligencia Artificial en la producción supone la aparición de tres nuevas categorías de trabajos, los cuales solo pueden ser desempeñados por mano de obra humana. Estos son: entrenadores, explicadores y sustentadores –*trainers, explainers, sustainers*.

Los entrenadores son aquellos encargados de enseñar a los sistemas de Inteligencia Artificial la forma con la que han de actuar a la hora de procesar datos para más adelante poder trabajar autónomamente. En segundo lugar, los explicadores tratarán de instruir a los usuarios acerca del funcionamiento de los sistemas inteligentes, ya que al tratarse de sofisticados algoritmos estos son cada vez más complejos de manejar. Por último, los sustentadores serán quienes ayuden a garantizar que los sistemas de Inteligencia Artificial funcionen según lo programado y quienes solucionarán los imprevistos que puedan generar.

Es evidente, que la Inteligencia Artificial además de crear nuevos puestos de trabajo, cambia la naturaleza de los trabajos ya existentes. A pesar de ello, el traslado de los trabajadores desde sus puestos tradicionales a los nuevos, puede suponer un lento y costoso proceso –los trabajadores han de dedicar un tiempo de búsqueda, para encontrar nuevos trabajos en los que puedan resultar productivos y además estos deberán superar un proceso de formación y adaptación a las nuevas tareas.

Por otro lado, los estudios de Acemoglu y Restrepo (2017b) señalan la necesidad de un proceso de creación de tareas endógeno a la automatización, ya que si las empresas se dedican exclusivamente a sustituir trabajo por maquinaria, desaprovecharán los incentivos de acompañar la automatización con la creación de nuevos puestos intensivos en trabajo y lograrían únicamente reducir el empleo, los salarios y con ello la participación del trabajo.

En conclusión, el equilibrio entre los impactos de la automatización y la creación de nuevas tareas es esencial y necesario para lograr una senda de crecimiento económico estable, además de la única vía capaz de contrarrestar

la caída de la participación del trabajo en la renta nacional provocada por el efecto desplazamiento.

3.5. Ineficiencias de la automatización

A pesar de la introducción de sistemas automatizados, en la contabilidad nacional no hay evidencia de aumentos de productividad. Este hecho podría deberse a una mala medición de la productividad real, sin embargo existen otras teorías que explican el lento crecimiento de la productividad a partir de las ineficiencias de la automatización. Entre ellas podemos encontrar el desajuste entre las tecnologías y las habilidades humanas, lo cual aumenta la desigualdad y disminuye las ganancias de productividad. Por otra parte, la rápida automatización ralentiza la creación de nuevas tareas repercutiendo sobre el crecimiento de la productividad, del mismo modo que una automatización excesiva conlleva ineficiencia y obstaculiza de nuevo la productividad.

3.5.1. Desajuste entre habilidades humanas y tecnología

Para que la creación de nuevas tareas pueda compensar los efectos negativos de la automatización en el mercado de trabajo es necesario que las nuevas tecnologías se ajusten a las habilidades de los trabajadores. El modelo de Acemoglu y Restrepo (2016) analiza la necesidad de dicho ajuste y para ello supone la existencia de dos tipos de trabajadores, por un lado, los poco cualificados (L), que solo pueden desempeñar tareas poco cualificadas $S \in (I, N)$ y por otro lado los altamente cualificados (H), que por el contrario son capaces de desempeñar todo tipo de tareas (N). El modelo supone que ambos tipos de trabajadores poseen una oferta elástica y que tienen una misma productividad dada por γL –la diferencia entre los trabajadores se encuentra únicamente en el tipo de tareas que desempeñan. Finalmente el modelo supone que los trabajadores más cualificados obtienen salarios más altos $W_H \geq W_L$.

Figura 3.2: Representación de las tareas en función de la cualificación de los trabajadores.



El umbral S es considerado como la medida inversa del desajuste entre las nuevas tecnologías y las habilidades de los trabajadores. Ante un S alto, existen numerosas tareas que pueden realizar los poco cualificados y ante un S bajo hay un número reducido de tareas que pueden realizar los poco cualificados. Asimismo $S - I$ representa las tareas no automatizadas realizadas por trabajadores poco cualificados y $N - S$ las tareas no automatizadas realizadas solo por los trabajadores más cualificados. Esto es equivalente a $\frac{N-S}{S-I} > \frac{H}{L}$, es decir que los trabajadores cualificados desempeñan un escaso número de tareas en comparación con las que podrían realizar.

En el equilibrio del modelo, los trabajadores menos cualificados realizarán todas las tareas en el rango (I, S) . Los salarios de ambos tipos de trabajadores siguiendo la expresión (3) se obtienen de la siguiente manera:

$$W_H = \frac{Y}{H} (N - S)$$

$$W_L = \frac{Y}{L} (S - I)$$

La prima salarial *-skill premium-* para los trabajadores altamente cualificados será:

$$\frac{W_H}{W_L} = \frac{L}{H} \cdot \frac{N - S}{S - I}$$

Tomando logaritmos:

$$\ln\left(\frac{W_H}{W_L}\right) = \ln\left(\frac{L}{H}\right) + \ln(N - S) - \ln(S - I)$$

Derivando respecto de I :

$$\frac{d\ln\left(\frac{W_H}{W_L}\right)}{dI} = \frac{1}{S - I} > 0$$

Esta inecuación muestra que la automatización –aumento de I – incrementa la desigualdad salarial entre los dos tipos de trabajadores. Esto se debe a que las tareas automatizadas son precisamente aquellas realizadas por los trabajadores menos cualificados, ejerciendo un efecto desplazamiento –disminuye la demanda de trabajo y el salario– únicamente sobre ellos.

Además demuestra que la desigualdad aumenta cuanto mayor es el desajuste – S próximo a I . En este caso, los trabajadores desplazados, son limitados a un numero muy reducido de puestos de trabajo y al haber exceso de oferta en dichos puestos, disminuirá los salarios para los menos cualificados. A medida que aumenta S , los trabajadores pueden optar a un mayor número de puestos de trabajo sin ver su salario reducido.

Un fuerte desajuste en las habilidades requeridas para las tareas automatizadas afecta igualmente a las ganancias de productividad:

$$\frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dI} = \ln \frac{W_L}{\gamma L(Y)} - \ln \frac{R}{\gamma M(I)} > 0$$

Se deduce que la productividad depende positivamente del ratio $\frac{W_L}{R}$, es decir que la productividad aumenta cuando los trabajadores desplazados –menos cualificados– tienen un mayor coste de oportunidad.

Suponiendo el precio del capital (R) obtenido en la ecuación (3) se obtiene el valor del ratio:

$$\frac{W_L}{R} = \frac{S - I}{I - N + 1} \frac{K}{L}$$

Lo que implica que un fuerte desajuste – S bajo– reduce el coste de oportunidad de los trabajadores desplazados –menos cualificados– por lo que la automatización pasa a ser menos rentable. Esto se debe a que el desajuste impide la relocalización de los trabajadores menos cualificados disminuyendo las ganancias de productividad obtenidas por la liberación de trabajadores en las tareas automatizadas.

Igual de importante son los desajustes provocados por las ganancias de productividad provenientes de la creación de nuevas tareas:

$$\frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dN} = \ln \frac{R}{\gamma_M(N-I)} - \ln \frac{W_H}{\gamma_H(N)} > 0$$

Depende negativamente del ratio $\frac{W_H}{R}$ debido a que los trabajadores más cualificados obtienen salarios relativamente más altos. Del mismo modo, se obtiene:

$$\frac{W_H}{R} = \frac{N-S}{I-N+1} \frac{K}{L}$$

Por lo que implica, que al aumentar el desajuste $-S$ bajo las ganancias de productividad provenientes de la creación de tareas se limitan. Esto se debe a que las nuevas tareas van a requerir trabajadores más cualificados, siendo estos más limitados y costosos.

Dicho modelo deduce que la mejor vía para acabar con la desigualdad y de paso aprovechar los beneficios de la automatización, es concienciar a la sociedad para que incremente la inversión en formación y la oferta de alta cualificación. Es decir, para que el crecimiento sea equilibrado no se requiere únicamente la automatización y creación de nuevas tareas sino también una formación continua y creciente que se adecúe a la adopción de las nuevas tecnologías.

3.5.2. El problema de la rápida introducción de la automatización

La automatización realizada de manera demasiado rápida, acabaría por frenar la creación de puestos de trabajo ya que estos serían continuamente remplazados por nuevas tecnologías. Por otra parte, daría lugar a la redistribución de los recursos dedicados a la creación de nuevas tareas hacia la inversión en nuevas tecnologías, reduciendo como veremos a continuación el crecimiento de la productividad. Continuando con el modelo, se pueden comparar las ganancias de productividad provenientes de la creación de nuevas tareas –incremento en N – con aquellas provenientes de la automatización –incremento en I .

$$\frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dN} = \ln \left(\frac{R}{\gamma_M(N-1)} \right) - \ln \left(\frac{W}{\gamma_L(N)} \right) > 0$$

$$\frac{d \ln \left(\frac{Y}{L} \right)}{dI} = \ln \left(\frac{W}{\gamma L(N)} \right) - \ln \left(\frac{R}{\gamma M(I)} \right) > 0$$

La primera expresión es superior a la segunda al suponer (1), por lo tanto, al destinar mayor número de recursos a la automatización en detrimento de la creación de nuevas tareas se produce un crecimiento inferior de la productividad.

3.5.3 Automatización excesiva

La tercera razón por la cual se ralentiza el crecimiento de la productividad es el exceso de automatización producido por los incentivos atribuidos a la inversión en capital y por las imperfecciones del mercado. Continuando dentro del modelo formal de Acemoglu y Restrepo (2018a), vamos a suponer que el stock de capital (K) ya no está prefijado y que las máquinas pasan a ser producidas como bien intermedio empleando a un precio fijo (R). El modelo supone además que las empresas, reciben un subsidio marginal a la hora de adquirir capital. Por lo tanto a las empresas, al ver el precio relativo del capital reducido, les interesará sustituir a los trabajadores, lo que producirá un efecto desplazamiento adicional con las mismas consecuencias vistas anteriormente.

Ante la existencia de fricciones en el mercado de trabajo, los trabajadores se verán desplazados hacia puestos de trabajo menos cualificados y por lo tanto de menor salario, haciendo que su coste de oportunidad caiga por debajo de su productividad marginal. Por consiguiente, la automatización en el equilibrio supondrá una serie de pérdidas para los trabajadores que hará reducir la renta y el bienestar del conjunto de la economía. Por esta razón, la labor de los planificadores deberá consistir en elegir un nivel de automatización inferior al de equilibrio para mejorar la situación y la renta del de la sociedad.

4. LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

En los últimos 150 años, el crecimiento económico ha venido dirigido por el progreso técnico y la automatización. La historia ha sido testigo de cómo han ido evolucionando desde las tareas rutinarias que precisan de pocas

habilidades hasta aquellas más complejas que hasta entonces requerían altas competencias humanas. Más allá de la automatización, entendida esta como la aplicación de maquinaria automática en la producción, se encuentra la Inteligencia Artificial (IA), la cual ha conllevado efectos aún más profundos. Estos efectos no solo se limitan al proceso productivo sino que también determinan la innovación y organización de las empresas como veremos más adelante.

En esta sección abordaremos en primer lugar lo que se conoce como Inteligencia Artificial y las implicaciones que conlleva. Seguidamente mostraremos sus efectos en relación con las empresas y el mercado de trabajo.

4.1. ¿Qué entendemos por Inteligencia Artificial?

En ocasiones, los términos automatización e Inteligencia Artificial se emplean indistintamente, pero sin embargo no designan lo mismo. Según señala el Instituto McKinsey (MGI) ambas poseen la capacidad de realizar de forma automática tareas desempeñadas anteriormente por el ser humano, pero presentan diferencias. En primer lugar, la automatización se refiere a la utilización de programas informáticos –software– programados a priori, mientras que la IA es capaz de llevar a cabo tareas de manera “inteligente” y autónoma sin necesidad de una programación específica previa. Por lo tanto, un sistema automatizado es capaz únicamente de hacer aquello para lo que fue programado y es de gran utilidad a la hora de desempeñar tareas repetitivas y monótonas.

Por el contrario, un sistema de Inteligencia Artificial no tiene las tareas prefijadas, sino que cuenta con las herramientas necesarias para poder tomar decisiones autónomamente. Algunos sistemas inteligentes poseen incluso la capacidad de aprender –*deep learning*– de sus errores y aciertos para poder mejorar con el tiempo. Es por ello que se hace efectiva al aplicarse en tareas que ya han sido previamente automatizadas –automatización al margen intensivo– ya que mejora la eficiencia y libera a los trabajadores de los puestos

de trabajo más primitivos para redirigirlos a aquellas tareas en las que son más productivos.

Además, su repercusión va más allá de la producción de bienes y servicios y del mercado de trabajo (visto en la sección 3), ya que también es capaz de transformar el proceso a partir del cual se crean nuevas tecnologías. Es dentro de este contexto en el que aparece el concepto de “singularidad tecnológica” (John von Neumann, 1957) referido al hipotético caso en el que la Inteligencia Artificial será capaz de auto mejorarse llegando incluso a construir sistemas mejores al suyo propio.

Si este proceso ocurre de manera continuada y las máquinas inteligentes comienzan a crear otras cada vez más potentes, se podría alcanzar una “explosión de inteligencia” (I.J. Good, 1965) en la cual la máquina superara la capacidad intelectual humana y por lo tanto se escaparía de todo control.

4.2. La Inteligencia Artificial y las empresas

Hasta el momento, nuestro estudio se ha centrado en las repercusiones de la Inteligencia Artificial sobre la producción de bienes e ideas. Sin embargo, se han obviado los efectos macroeconómicos procedentes del comportamiento de las empresas. En esta sección incluiremos el trabajo de Aghion Jones y Jones (2017) sobre dichos comportamientos para poder comprobar los efectos derivados de las estructuras de mercado, las diferencias sectoriales y la organización de las empresas.

4.2.1. Estructura del mercado

La competencia entre las empresas influye directamente en el crecimiento y la innovación a través de dos vías contrapuestas: en primer lugar, ante un mercado de bienes competitivo, las empresas al encontrarse en una misma posición tecnológica van a luchar por innovar y escapar de la competencia – efecto escape competitivo. Sin embargo, la alta competencia tiende a su vez a desalentar a las empresas situándolas por debajo de la frontera tecnológica – efecto desaliento. El efecto predominante vendrá determinado por el grado competitivo de la economía y su nivel de desarrollo: si esta presenta baja o

nula competitividad o un alto grado de desarrollo, dominará el efecto escape y si por el contrario, la competencia es alta o la economía es poco avanzada, dominará el efecto desaliento.

Esto se debe a que la Inteligencia Artificial promueve la imitación de bienes y tecnologías existentes mediante la ingeniería inversa –obtención del proceso de fabricación a partir del estudio del propio producto– por lo que fomenta la competencia entre las empresas afectando directamente a las estructuras de mercado.

En sectores poco competitivos, ante un ligero incremento en IA prevalecerá el efecto escape e incentivará a las empresas a invertir en innovación. Sin embargo, si el incremento en IA es demasiado fuerte, conllevará un alto nivel de imitación el cual pasará a ser una amenaza para las empresas desalentándolas a innovar –incluso hasta el punto de llegar a saturar el sector. Este hecho aparentemente negativo, puede desencadenar efectos positivos en otros sectores, ya que las empresas desplazarían sus recursos hacia nuevas líneas con el fin de escapar de la competitividad. Por lo tanto, en su conjunto, la incorporación de IA desata un efecto positivo sobre la creación e innovación de nuevas líneas de productos y sectores favoreciendo así al proceso de crecimiento general de la economía.

Por otro lado, para que la implantación de sistemas de IA sea efectiva, es necesario que las empresas tengan acceso a una amplia base de datos, por lo tanto el acceso a dicha base, supondrá a su vez una barrera de entrada para la creación y desarrollo de nuevas empresas competitivas, ya que las existentes – en función de su posición de monopolio– podrán imponer tarifas de gran importe a los nuevos participantes desincentivando así la inversión de nuevas empresas. Del mismo modo las políticas de regulación –derechos de protección de propiedad intelectual– también actúan como barrera de entrada al limitar la práctica de la ingeniería inversa.

4.2.2. Redistribución sectorial

La revolución tecnológica ha supuesto la difusión del conocimiento y con ello la redistribución sectorial desde los sectores poco tecnológicos hacia

aquellos que lo son más. Este hecho deriva de nuevo de la interacción entre dos fuerzas provocadas por la aplicación de la IA en el proceso de innovación. Por una parte, las empresas más ligadas a las externalidades tecnológicas o de alta tecnología, pueden aprender más fácilmente las unas de las otras beneficiándose en mayor medida de la difusión tecnológica –denominado este como efecto difusión del conocimiento. Por otra parte, en los sectores menos involucrados en las innovaciones tecnológicas, el acceso al conocimiento conlleva a fomentar el “robo intelectual” entre las empresas– denominado este como efecto competición.

Se concluye por lo tanto, que los efectos positivos sobre la productividad y la innovación son mayores en aquellos sectores, en los que la tecnología y la difusión de conocimientos están más presentes. Por lo tanto, los recursos empleados en las empresas tradicionales y poco tecnológicas, acabaran siendo desplazados hacia sectores modernos y más tecnológicos.

4.2.3. Organización interna de las empresas

Tras la implantación de sistemas de IA, las empresas, con el fin de poder adaptarse, deberán realizar cambios internos ya sean en su organización, en su política de salarios o en las habilidades requeridas de los trabajadores. Dentro de dichos cambios, será imprescindible incrementar la brecha salarial entre los empleados altamente cualificados y los que no –ya que estos últimos son más fáciles de sustituir– como veremos a continuación (Tirole, 2017).

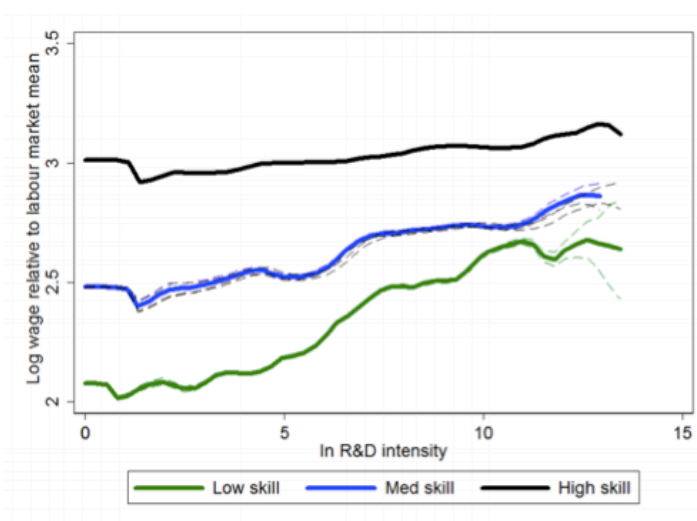
Debido a que la Inteligencia Artificial es una forma de progreso técnico basado en la capitalización de habilidades humanas, al sustituir a los trabajadores menos cualificados por maquinaria, se requerirá un mayor número de empleados cualificados para su correspondiente instalación y explotación.

Autores como Aghion et al (2017) a partir de datos de empresas y de sus trabajadores del Reino Unido, analizaron la relación entre la innovación –entendida como intensidad de la inversión en I+D– y el ingreso salarial medio. Como resultado, obtuvieron una correlación positiva entre ambas variables, que evidenciaba el hecho de que las empresas que pagaban mayores salarios eran

aquellas que invertían más en I+D y las que contaban con mayor número de empleados altamente cualificados.

Asimismo, las empresas más innovadoras optarán por la subcontratación para la realización de las tareas sencillas, por lo tanto, los trabajadores menos cualificados se beneficiarán más trabajando para dichas empresas ligadas a la innovación que para aquellas que por el contrario no lo están –ver figura (4.1).

Figura 4.1: Salario por hora e intensidad en I+D



Fuente: *Artificial Intelligence and economic growth* (Philippe Aghion, Benjamin F.Jones y Charles I.Jones (2017)) a partir de Aghion, Bergeaud, Blundell and Griffith (2017)

Nota: el gráfico muestra la relación entre el logaritmo del total de los salarios por hora y el logaritmo del total de gasto en I+D por empleado para cada tipo de cualificación.

Lo primero que se observa en la figura es que el salario de los trabajadores más cualificados es mayor en todas las empresas que el de los menos cualificados –la curva de salarios de los empleados cualificados está siempre por encima de la de los menos cualificados. Por otra parte, la curva de salarios de los trabajadores menos cualificados es de mayor pendiente que la del resto de trabajadores, dicha pendiente refleja el incremento o prima que obtiene cada trabajador al trabajar en una empresa más innovadora.

Esto sugiere en términos relativos, que el beneficio que obtienen dichos trabajadores subcontratados es incluso mayor que el que obtienen los más cualificados. Además el aumento de salarios debido a una mayor innovación es

más fuerte en los puestos de trabajo menos cualificados. Por lo tanto es de esperar que las empresas más intensivas en IA, dediquen sus ganancias ya sea a contratar mayor número de trabajadores cualificados, a subcontratar más a los menos cualificados o bien, a incrementar las primas de aquellos trabajadores poco cualificados que se han mantenido en la empresa.

Para explicar estos hechos, los autores propusieron un modelo en el cual las empresas más innovadoras presentan un mayor grado de complementariedad entre los trabajadores poco cualificados y el resto de factores de la producción –capital o trabajadores cualificados. Para ello, el modelo supone que los trabajadores altamente cualificados realizan tareas más generales que los menos cualificados. De este modo, si la empresa tiene que reemplazar a un trabajador altamente cualificado por otro, se encuentra con la desventaja de que dichos empleados, al estar más formados, serán capaces de desempeñar cualquier tarea en cualquier empresa y tendrán un mayor valor en el mercado –trabajarán por el salario más alto.

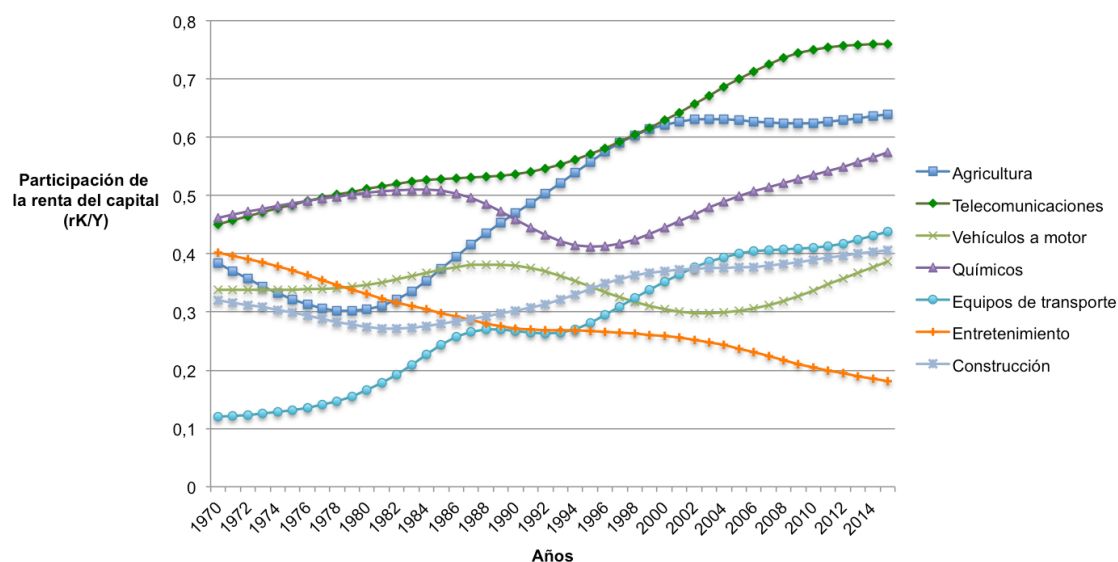
Por otro lado, los trabajadores poco cualificados tienden a desempeñar tareas más específicas propias de cada empresa ya que han sido formados únicamente para ello, por lo que suponen un mayor valor dentro de la propia empresa, el cual se incrementa en las empresas más intensivas en IA. Por lo tanto, el grado de innovación de la empresa impactará directamente sobre la organización interna de en cuanto a sustituibilidad o complementariedad entre trabajadores. Por ejemplo, si a un trabajador poco cualificado se le enseña una serie de habilidades propias de la empresa, desempeñará una serie de tareas para las cuales sería más difícil y costoso emplear a un trabajador altamente cualificado. Además dicho empleado pretende mantenerse por más tiempo en la empresa por lo que incentivará a estas a contratar mayor cantidad de trabajadores específicos ya que les supondrá un mayor rendimiento y un menor coste.

5. EVIDENCIAS EMPÍRICAS

Aghion, Jones y Jones (2017) demostraron la existencia de una correlación positiva entre el aumento de la renta del capital y la adopción de robots en los procesos productivos –automatización– tanto en Estados Unidos como en el resto del mundo. Al igual que estos autores, en esta sección estudiaremos dicha correlación a partir de datos procedentes de industrias españolas.

En primer lugar, consideraremos las industrias que han adoptado en mayor medida la automatización desde 1970 hasta 2015 –para las que hemos seleccionado la agricultura, telecomunicaciones, vehículos a motor, químicos, equipos de transporte y construcción– y contrastaremos sus resultados con aquellos de la industria del arte y el entretenimiento la cual podemos suponer que apenas se ha automatizado. La figura 5.1 muestra como a lo largo del tiempo las industrias automatizadas han ido aumentando su participación del capital en la renta nacional (VAB), al contrario que la industria no automatizada del entretenimiento que presenta una tendencia decreciente.

Figura 5.1: Participación de la renta del capital en industrias españolas (1970-2015)

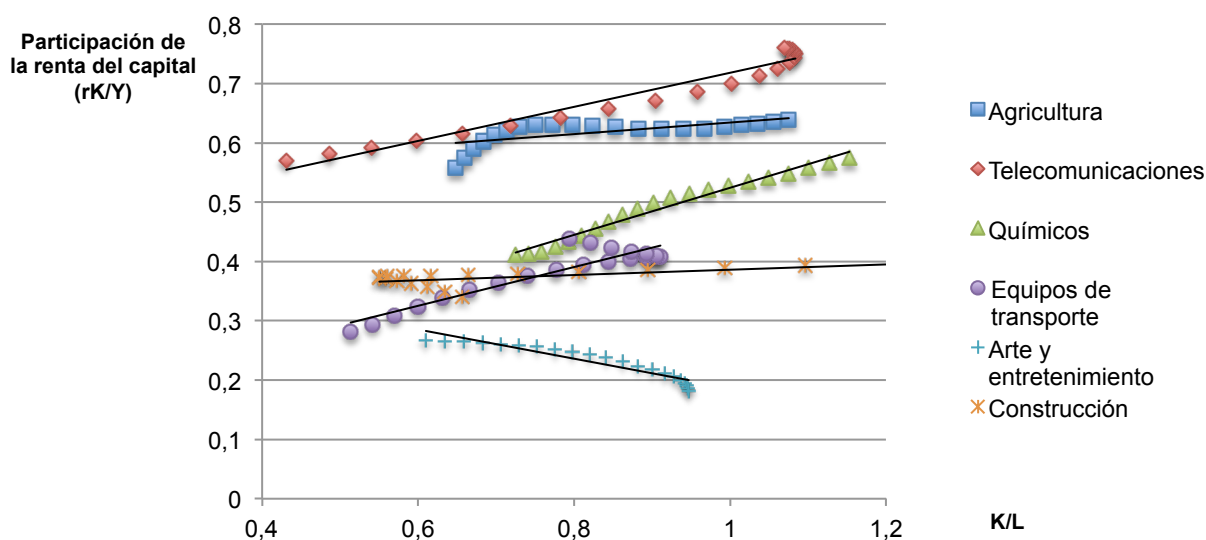


Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos EU.KLEMS

Nota: los datos han sido suavizados mediante un filtro Hodrick-Prescott de parámetro 100 al tratarse de datos anuales.

A continuación, la figura (5.2) presenta mediante un gráfico de dispersión, la relación entre la participación de las rentas del capital y su intensidad de capital –tomando K/L como indicador de automatización– para las diferentes industrias desde 1995 hasta 2015. Podemos observar de nuevo que todas las industrias automatizadas presentan una correlación positiva entre la participación y la automatización –intensidad del capital. La tendencia positiva entre ambas variables supone que la automatización ha conllevado a una reducción de la participación del trabajo, por el predominio del efecto desplazamiento, al contrario que en la industria del entretenimiento cuya correlación negativa podría representar el predominio de la creación de nuevas tareas.

Figura 5.2: Participación de la renta del capital y su intensidad en industrias españolas (1995-2015)



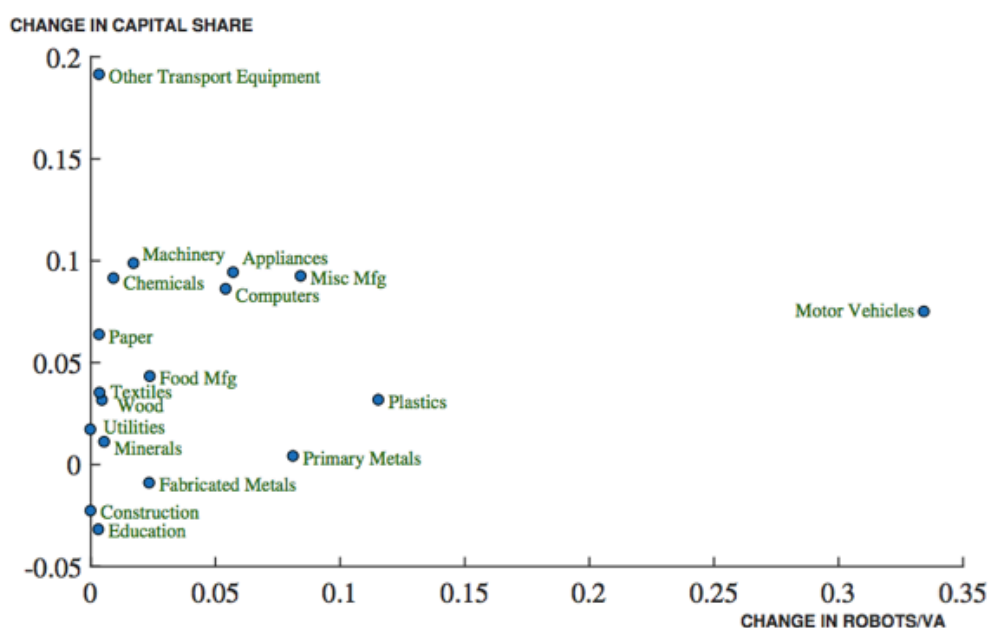
Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos EU.KLEMS

Nota: los datos han sido suavizado mediante un filtro Hodrick-Prescott de parámetro 100 al tratarse de datos anuales.

Sin embargo, a pesar de la aparente relación entre la renta del capital y la automatización esta no puede demostrarse como tal, ya que existen numerosos factores que afectan tanto a la renta del capital como la del trabajo –sindicatos, concentración de empresas, impuestos etc.

Siguiendo la misma línea, Acemoglu y Restrepo (2017) recabaron datos de la Federación Industrial de Robots con el fin de estudiar el impacto de la automatización en el mercado de trabajo estadounidense desde 2004 hasta 2014. La figura (5.3) muestra a partir de un gráfico de dispersión la evolución de la participación de las rentas del capital a nivel industrial en relación con la adopción de robots. En dicho gráfico se puede observar como la industria de vehículos a motor, se aleja del resto debido a su fuerte adopción de robots industriales. Por otro lado, muestra una aparente correlación entre el nivel de automatización y el aumento de las rentas de capital. Sin embargo, al igual que ocurría anteriormente, la existencia de otras fuerzas que afectan a las rentas de capital dificulta el estudio y hace que este no resulte fuerte.

Figura 5.3: Participación de la renta de capital y aplicación de robots en industrias estadounidenses (2001-2014)



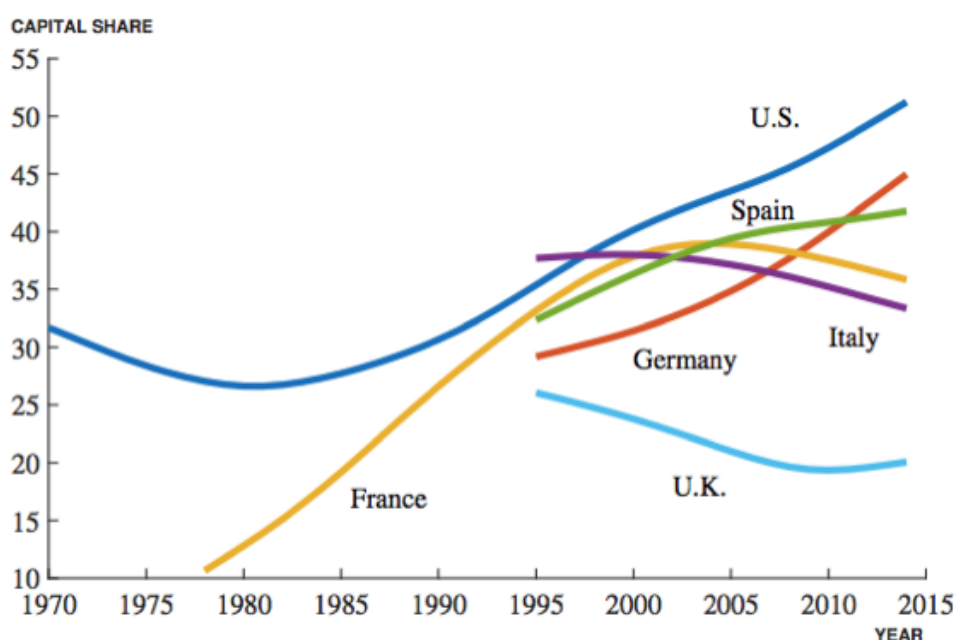
Fuente: *Artificial Intelligence and Economic Growth* (Aghion, Jones y Jones 2017)

Nota: El gráfico representa los cambios en la renta del capital extraídos de la base de datos de Jorgenson, Ho y Samuels (2017) frente al cambio en los stocks de robots relativos al valor añadido obtenido a partir de datos recabados por Acemoglu y Restrepo (2017)

Tras observar que la industria de vehículos motorizados difiere del resto en cuanto aplicación tecnológica, Aghion, Jones y Jones (2017) elaboraron otro estudio donde compararon la evolución de las rentas del capital de dicha

industria entre diferentes países. La figura (5.4) muestra a partir de un gráfico como la proporción de las rentas del capital en la industria de equipos de transportes –incluyendo vehículos a motor y otros– aumenta exponencialmente en todos los países en las últimas décadas. A pesar de los recientes declives – sobre todo el Reino Unido e Italia– los valores son relativamente altos. Esto puede ser una consecuencia de la fuerte automatización en el sector, aunque de nuevo no contamos con los datos suficientes y los modelos necesarios para demostrarlo.

Figura 5.4: Participación de la renta del capital en la industria de vehículos a motor (1970-2015)



Fuente: *Artificial Intelligence and Economic Growth* (Aghion, Jones y Jones 2017)

Nota: los datos de países europeos provienen de EU.KLEMS para equipos de transporte, los cuales incluyen vehículos a motor pero también aeroespaciales y aeronáuticos. Los datos de Estados Unidos son recabados por Jorgenson, Ho y Samuels (2017) para vehículos de motor y aparecen suavizados mediante un filtro HP de parámetro 400.

Todo esto sería evidencia de que una rápida automatización genera un fuerte efecto desplazamiento en el propio sector, pero a largo plazo se puede revertir con un efecto de creación de nuevas tareas en este y en otros sectores.

6. CONCLUSIONES

Es evidente que a pesar de todos los trabajos y estudios recientes sobre la automatización sigue habiendo un profundo debate acerca de sus efectos en cuanto a la destrucción o creación de empleo.

Siguiendo el modelo de Acemoglu y Restrepo (2018a) hemos podido acercarnos a dichos efectos. Por un lado, hemos comprobado que el desplazamiento directo de los trabajadores de sus puestos de trabajo –al ser remplazados por máquinas más eficientes y menos costosas– reduce el empleo, los salarios y la participación de la renta laboral.

Pero por otro lado, la automatización –aplicada correctamente– produce una serie de efectos compensatorios capaces de contrarrestar las implicaciones negativas del efecto desplazamiento. Entre estos efectos encontramos la reducción de los costes de producción que permite incrementar la productividad y disminuir los precios de los bienes y servicios producidos. Esto conlleva a la expansión de las empresas, las cuales aumentarán su demanda de trabajo para poder responder a la creciente demanda de los consumidores. Asimismo favorece la acumulación de capital y mejora las tecnologías existentes sin necesidad de desplazar mayor número de trabajadores.

Sin embargo estos efectos, a pesar de aumentar la demanda de trabajo y los salarios, no son suficientes para contrarrestar la caída de la participación de la renta laboral provocada por el efecto desplazamiento. Por consiguiente, para que la automatización resulte un proceso equilibrado y permita un crecimiento sostenido de la economía, como viene ocurriendo desde el s.XVIII, es necesario que estos efectos veng acompañados de la creación de nuevas tareas en las que el trabajo presenta una ventaja comparativa.

No obstante, es complicado lograr el balance entre automatización y creación de nuevas tareas, ya que los trabajadores desplazados tendrán que pasar por un proceso lento y costoso para poder recolocarse en los nuevos puestos de trabajo, los cuales requerirán la adquisición de nuevos conocimientos. Del mismo modo es necesario que las economías eviten una automatización excesiva o demasiado rápida para poder beneficiarse de las ganancias de productividad de las nuevas tecnologías. Además dichas

ganancias deberán ser distribuidas de manera equitativa para evitar las fuertes desigualdades entre trabajadores. Por lo tanto es labor de las políticas y las instituciones del mercado actuar de manera correcta y desinteresada, para poder así aprovechar plenamente las oportunidades que otorga la automatización y la creación de nuevos puestos de trabajo sin dejar caer la participación de la renta laboral y poder promover el crecimiento.

En cuanto a los efectos de la Inteligencia Artificial, como última forma de automatización, también difieren en función del modo en el que se aplica ya que desplaza a los trabajadores en el proceso de creación de nuevas tecnologías y puede dar lugar a la aparición de “singularidades”.

En este contexto Aghion, Jones y Jones (2017) destacaron la importancia del papel de las empresas y la estructura del mercado a la hora de determinar los efectos derivados de la incorporación de sistemas inteligentes en la producción. En primer lugar, el grado de competencia del mercado será decisivo para incentivar o desalentar a las empresas a invertir en innovación. En segundo lugar, hemos observado como el nivel de IA afecta a la redistribución sectorial dando lugar a la difusión del conocimiento o por el contrario al robo intelectual entre las empresas. Por último, la organización interna de las empresas sufrirá modificaciones al haber mayor diferencia entre los trabajadores en cuanto a sus cualificaciones para la elaboración de las nuevas tareas.

Sin embargo, a pesar de todos los estudios y trabajos realizados estos últimos años por autores reconocidos es difícil observar la relación entre la automatización y el crecimiento de las rentas debido ya sea a la falta de datos o a los numerosos factores que influyen en este área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y PÁGINAS WEB

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2017a): "Robots and Jobs: Evidence from US Labour Markets". *National Bureau of Economic Research*, Working Paper 23285.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2017b) "The Race between machine and man: implications of technology for growth, factor shares and employment". *National Bureau of Economic Research*, Working Paper 22252.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018a): "Artificial Intelligence, Automation and Work". *National Bureau of Economic Research*, Working Paper 24196.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018b) "Modeling Automation". *National Bureau of Economic Research*, Working Paper 24321.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018c) "Demographics and Automation". *National Bureau of Economic Research*, Working Paper 24421.

Aghion, P., Bergeaud, A., Blundell, R., & Griffith, R. (2017): "The innovation Premium to low skill Jobs". *Centre for the Microeconomic Analysis of Public Policy (CPP)*, Working paper ES/M010147

Aghion, P., Jones, B., & Jones, C. (2017): "Artificial Intelligence and Economic Growth". *National Bureau of Economic Research*, Working Paper 23928.

Baumol, W. (1967): "Macroeconomics of Unbalanced Growth: the Anatomy of Urban Crisis". *American Economic Review*, 57, 415-426.

Cockburn, I., Henderson, R., & Stern, S. (2018): "The impact of artificial intelligence on innovation". *National Bureau of Economic Research*, Working Paper 24449.

Good, I. (1965): "Speculations Concerning the First Ultraintelligent Machine". *Advances in Computers*, 6.

Jorgenson, D., Mun S. Ho, & Samuels, D. (2017) "Educational Attainment and the Revival of U.S". Conferencia : *Education, skills, and technical change: implications for future U.S. GDP growth*. Universidad de Chicago,

Kirsten, J. (2017) "EU KLEMS Growth and Productivity Accounts 2017 release-Description of Methodology and General Notes". *The Conference Board Europe*. Disponible en: <http://www.euklems.net/> [consulta: 04/07/2018].

Mckinsey Global Institute (2017): "Un futuro que funciona: automatización, empleo y productividad". Disponible en: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured%20insights/digital%20disruption/harnessing%20automation%20for%20a%20future%20that%20works/a-future-that-works-executive-summary-spanish-mgi-march-24-2017.ashx> [consulta: 04/07/2018].

Purdy, M., & Daugherty, P. (2016): "Inteligencia artificial, el futuro del crecimiento". *Accenture Institute for High Performance*. Disponible en: https://www.accenture.com/t00010101T000000Z_w_/es-es/acnmedia/PDF-16/Accenture_Inteligencia_artificial_el-futuro-del_crecimiento_esp.pdf?la=es-ES#zoom=50 [consulta: 04/07/2018].

Vinge, V. (1993): "The Coming Technological Singularity: How to Survive in the Post-Human Era". *Vision-21: Interdisciplinary Science and Engineering in the Era of Cyberspace*, pp. 11–22.