

Doble Grado en Ingeniería informática y Administración de
empresas

Curso académico 2018-2019

Trabajo Fin de Grado

“Economía 4.0. Trabajo y automatización de tareas en perspectiva histórica”

Ignacio Kleinman Ruiz

Tutor:

Carlos Álvarez Nogal

Getafe (Madrid) – 8 de enero de 2019



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**

Resumen: La cuarta Revolución Industrial o *Industria 4.0* ya es un hecho. Sus mayores características son la Inteligencia Artificial y la automatización de tareas. ¿Este evento supondrá el final del trabajo para los seres humanos? ¿Las máquinas realizarán todo por nosotros? Existe una vertiente alarmista que lo cree así. Sin embargo, hay otra corriente de economistas que abogan por un futuro donde humanos y máquinas encuentren un equilibrio común a fin de aumentar la productividad como nunca se había visto. ¿Qué supondrá esto en los salarios y en la desigualdad de la sociedad? ¿La automatización genera polarización?

Palabras clave: Automatización; Inteligencia Artificial; tareas; habilidades; salarios; empleo; ocupaciones

[En] Economy 4.0. Tasks and automation in historical perspective

Abstract: The fourth Industrial Revolution or Industry 4.0 is already a fact. Its main features are Artificial Intelligence and task automation. Will this event mean the end of labor for human beings? Will the machines do everything for us? There is an alarmist side that believes it that way. However, there is another stream of economists who argue for a future where humans and machines find a common balance in order to increase productivity as never before seen. What will this mean for wages and inequality in society? Does automation generate polarization?

Keywords: Automation; Artificial Intelligence; tasks; skills; salaries; employment; occupations

Índice general

1. Introducción y objetivos	4
2. Automatización: tareas, rutinas y habilidades.	5
2.1. <i>Automatización</i>	6
2.2. <i>Tareas y rutina.....</i>	6
2.3. <i>Habilidades.....</i>	8
3. Efectos de la automatización	9
3.1. <i>Destrucción de trabajos.....</i>	10
3.2. <i>Fuerzas compensatorias</i>	10
3.3. <i>Creación de nuevas tareas.....</i>	11
3.4. <i>¿Destrucción de empleo o aumento de productividad?</i>	12
3.5. <i>Reentrenamiento de habilidades.....</i>	13
3.6. <i>Polarización del mercado laboral.....</i>	16
4. La automatización en la Revolución industrial	22
4.1. <i>Innovaciones tecnológicas.....</i>	23
4.2. <i>La mecanización de tareas y sus consecuencias durante la Revolución Industrial</i>	28
4.2.1. <i>Destrucción de tareas y precariedad</i>	28
4.2.2. <i>Efecto de productividad y creación de nuevas tareas</i>	30
4.2.3. <i>Aumento de la productividad de las tareas</i>	36
4.2.4. <i>Reasignación de habilidades, polarización y desigualdad</i>	37
5. Conclusiones.....	39
6. Bibliografía.....	41

Índice de figuras

FIGURA 1. CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE TAREAS	7
FIGURA 2. PORCENTAJE DE EMPRESARIOS QUE MANIFIESTA QUE EXISTE UNA ESCASEZ DE TALENTO	15
FIGURA 3. INGRESOS SEMANALES EN DÓLARES Y TASA DE DESEMPLEO EN PORCENTAJE POR EDUCACIÓN EN EE. UU., 2017	18
FIGURA 4. TASA DE CRECIMIENTO DE LA CUOTA DE EMPLEO (%) Y SALARIO POR HORA LOG (2004\$) EN LOS PERIODOS DE 1950-1980 Y 1980-2005 DE TRABAJADORES SIN EDUCACIÓN UNIVERSITARIA EN EE. UU.	19
FIGURA 5. SALARIO ANUAL PROMEDIO POR OCUPACIONES, 1997 Y 2017, US	20
FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN POR CONDADOS DE LOS MOTORES NEWCOMEN. LOS COLORES MÁS OSCUROS SIGNIFICAN MÁS DENSIDAD DE MÁQUINAS	25
FIGURA 7. DIBUJO DE LA MÁQUINA DE HILAR ARKWRIGHT, 1769	27
FIGURA 8. SALARIOS REALES DE LOS AGRICULTORES EN INGLATERRA EN EL PERIODO 1688-1811	29
FIGURA 9. SALARIOS DE LOS CONSTRUCTORES EN INGLATERRA EN EL PERIODO 1688-1869.	33
FIGURA 10. EMPLEOS DE MINERÍA EN INGLATERRA Y GALES EN EL PERIODO 1670-1811.....	35
FIGURA 11. SALARIOS ESTIMADOS EN LAS MINAS DEL NORTE DE INGLATERRA. 1700-1860. (D./DIA)	35
FIGURA 12. OCUPACIONES REALIZADAS POR HOMBRES EN INGLATERRA Y GALES EN EL PERIODO 1670-1811.	37

Índice de tablas

TABLA 1. OCUPACIONES PARA FIGURA 4	19
TABLA 2. EMPLEOS DE LA AGRICULTURA EN INGLATERRA Y GALES EN EL PERIODO 1670-1811	29
TABLA 3. EMPLEOS DE CONSTRUCCIÓN EN INGLATERRA Y GALES EN EL PERIODO 1670-1811.....	32
TABLA 4. EMPLEOS DE MANUFACTURACIÓN EN INGLATERRA Y GALES EN EL PERIODO 1670-1811.....	34
TABLA 5. RECURSOS NECESARIOS PARA UN ARTESANO Y UNA FÁBRICA PARA PRODUCIR UN TOTAL DE 144 CAMISAS	36
TABLA 6. CLASIFICACIÓN DE LAS HABILIDADES EN PORCENTAJE DE HOMBRES INGLESES EN 1841.....	39

1. Introducción y objetivos

En los últimos años se está experimentando una gran ola de avances tecnológicos caracterizados principalmente por su rápido desarrollo y adopción. Grandes compañías están apostando por la digitalización de sus negocios, presentando y aplicando tecnologías enfocadas en una dirección: la automatización y, en concreto, la inteligencia artificial y la robótica. Sin duda, estas tecnologías están aumentando la productividad de las empresas a ritmos sin precedentes y su desarrollo es sinónimo de progreso. No obstante, la automatización está destruyendo una gran cantidad de empleos, sobre todo aquellos simples y estructurados, es decir, aquellas tareas que son rutinarias. Algunas voces alarmistas pronostican el final del trabajo para el ser humano y defienden un futuro con innovaciones tecnológicas menos agresivas para con el trabajo¹. Por el contrario, existe una corriente que aboga por un futuro donde la tecnología y el ser humano aprovechen sinergias, trabajando conjuntamente para maximizar la productividad y los beneficios. Claramente, volviendo la vista al pasado, es intuitivo decir que la automatización ha sido beneficiosa en términos económicos. A pesar de que esta destruye empleos, los niveles de productividad son inmensamente más altos que hace dos siglos, los niveles de empleo son muy superiores a los de la Revolución Industrial y los niveles de bienestar nunca habían sido tan altos. Sin embargo, la velocidad con la que avanza la tecnología puede llegar a cambiar la tendencia laboral actual. La motivación de esta investigación surge a raíz de (1) la gran incertidumbre y polarización de críticas existentes alrededor de este tema; (2) obtener una mayor comprensión de la historia de la automatización de tareas para asentar una contextualización; (3) y seguir estudiando en el futuro los efectos de los avances tecnológicos en el empleo, los salarios y la desigualdad social, así como las prevenciones y respuestas de los Estados a este tema.

El objetivo propuesto para este trabajo es el de la comprensión de los efectos que la Inteligencia Artificial y, en general, la automatización tiene en la economía, especialmente en los ámbitos del empleo, salarios y desigualdad. Para ello, se ha llevado a cabo un análisis de dichos efectos de una forma aplicada. El estudio está basado en las últimas investigaciones y artículos teóricos de los economistas Daron Acemoglu y

¹ Kai-fu Lee (2018). [Dejen de fingir que la inteligencia artificial no va a destruir el trabajo](#), MIT Technology review. *Kai-Fu Lee, presidente del Instituto de Inteligencia Artificial Sinovation Ventures, advierte efusivamente de los problemas que la Inteligencia Artificial puede producir si no es controlada por los Estados.*

Pascual Restrepo, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, los cuales tienden a una rama menos dramática y alarmista sobre las consecuencias de la mecanización de los trabajos. La metodología seguida es la comprensión de los modelos económicos postulados por los economistas elegidos, extrayendo sus conclusiones en un marco conceptual. Para verificar dichos modelos, se lleva a cabo una recopilación de información y un consiguiente análisis de esta para corroborar o rechazar los modelos. Este análisis es enfocado en una perspectiva a largo plazo por dos motivos: el estudio del trabajo es macroeconómico y el capital se acumula lentamente ante el aumento de la demanda de este, promovido por la automatización. Además, muchas de las consecuencias de la automatización pueden repercutir a la economía pasado mucho tiempo de su aplicación. Es por esto por lo que parte de la investigación de este trabajo está enfocado en el estudio y comprensión de los precedentes históricos de la mecanización de tareas, concretamente el perdido de la Revolución Industrial en Gran Bretaña.

La fuente documental utilizada se divide principalmente en dos bloques. Uno de ellos está enfocado en la modelización teórico-matemática de las implicaciones de la computarización y automatización de tareas, tanto en sus vertientes más positivas como en las más negativas o alarmistas. Por otro lado, se ha hecho uso de fuentes centradas en estudios sobre ocupaciones concretas en el periodo industrial de los siglos XVIII y XIX en Gran Bretaña.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera. El [capítulo dos](#) presenta las bases del modelo teórico seguido. En este punto son explicados la automatización, los tipos de tareas y la importancia de las habilidades de los empleados. El [capítulo tres](#) expone los diversos efectos consecuentes de la automatización, comenzando con la destrucción de empleos y la polarización social y finalizando con el crecimiento productivo y el aumento del bienestar social. El [capítulo cuatro](#) trata de arrojar evidencias empíricas sobre este marco teórico para demostrar sus hipótesis, analizando información sobre empleo y salarios en la Revolución Industrial. La [quinta](#) y última sección concluye con los resultados obtenidos en este trabajo

2. Automatización: tareas, rutinas y habilidades.

Al hablar de automatización se hace referencia a aquellos procesos donde la tecnología toma un rol fundamental, pues controla totalmente la producción sin la

intervención directa del ser humano. Las tareas que conforman los diferentes trabajos pueden ser manuales o intelectuales. Cuanto más simples y rutinarias sean estas, más susceptibles son de automatizarse. Por tanto, el grado de dificultad y repetitividad de una tarea determina las habilidades y capacidades que los empleados deben disponer, y que en ciertos casos pueden ser sustituidas por automatismos.

2.1. Automatización

A principios de la segunda década del siglo XXI empresas como Deloitte² o IBM³ comienzan a hablar de inteligencia artificial (IA), internet de las cosas (IoT), Big Data... Ahora, estas tecnologías se han desarrollado y madurado lo suficiente para dar como resultado la hiperconectividad, es decir, la conexión total de todos los elementos de un sistema. Estos métodos integran gran cantidad de máquinas, sensores y técnicas de control que no solo cumplen con su cometido principal de funcionamiento, sino que también pueden interactuar entre sí mediante protocolos basados en internet, pudiendo recolectar y analizar datos que, posteriormente, son transformados en información útil para la empresa: predicción de fallos, autoconfiguración y adaptación de acuerdo con el contexto. A estos sistemas conectados se los conoce como sistemas ciberfísicos y son caracterizados principalmente por su alto grado de automatización. El término automatización se refiere a la mecanización e integración de la detección de variables ambientales, el procesamiento de datos, la toma de decisiones y la acción mecánica de las tareas (Sheridan, 2002). La automatización, la inteligencia artificial, internet y las tecnologías orientadas a sistemas interconectados e inteligentes parecen dar como resultado un nuevo modelo de producción el cual es denominado Industria 4.0 (Lasi, Fettke, Kemper, Feld, & Hoffmann, 2014).

2.2. Tareas y rutina

La tecnología tiene como fin aumentar la productividad y eficiencia del trabajo. Por lo general, los sistemas se componen de diversas tareas que son unidades de actividad de trabajo que producen bienes y servicios. Estas tareas pueden ser o bien simples y estructuradas, las cuales se caracterizan por la mera práctica de la actividad de forma

² Briggs, B., & Hodgetts, C. (2015). [Tech Trends 2015: The fusion of business and IT](#). Supply Chain, 247, Deloitte.

³ Chamberlin, B. (2016). [The 2016 Horizon Watch Technology Trends to Watch](#), IBM.

automática y repetitiva, es decir, tareas rutinarias; o bien, complejas y con poca capacidad de ser compartimentadas, las cuales se componen de una cantidad diversa de subtareas dispares entre sí, conocidas como tareas no rutinarias. Las tareas, además de poder diferenciarse entre rutinarias y no rutinarias, pueden clasificarse por el desempeño intelectual que supone dicha tarea. Esto hace referencia a aquellas habilidades más conceptuales que hacen un uso avanzado del conocimiento, a diferencia de las tareas físicas. Con ello, se diferencian las tareas cognitivas de tareas no cognitivas. Las tareas cognitivas son aquellas que, generalmente, suelen requerir habilidades racionales como la recolección, análisis, comprensión y procesamiento de datos para una posterior generación de información; mientras que las tareas no cognitivas o físicas suelen hacer uso de la destreza manual y fuerza humana (Roberto Imatzu Faviel, 2013). Con esto explicado, la siguiente tabla (Tabla 1) clasifica las tareas según el tipo (cognitivas y físicas) y por lo estructuradas que estén (rutinarias o no rutinarias):

Figura 1. Clasificación de los distintos tipos de tareas

Tarea cognitiva no rutinaria: analítica	Se analizan datos / información. El pensamiento es creativo. Hay interpretación de la información para otros.
Tarea cognitiva no rutinaria: interpersonal	Se establecen y mantienen relaciones personales. Resaltan cualidades como guiar, dirigir y motivar a otros, así como entrenar / desarrollar a otras personas.
Tarea cognitiva rutinaria	Destaca por la repetición de las tareas. Es importante ser exactos y precisos. El trabajo es estructurado.
Tarea manual física no rutinaria	Suelen utilizar vehículos de operación, dispositivos mecanizados o equipos. Se demanda destreza manual, así como orientación espacial, ya que se suelen manejar y manipular objetos, herramientas o controles.
Tarea manual rutinaria	El ritmo de la tarea viene determinado por la velocidad del equipo. Se controlan máquinas y procesos normalmente haciendo movimientos repetitivos.

Fuente: Acemoglu & Autor, 2011

Desde esta perspectiva, los últimos avances en aprendizaje automático e inteligencia artificial se han enfocado en el desarrollo de algoritmos que automatizan las tareas cognitivas. Lo que estas tecnologías buscan es compartimentar y dividir tareas comúnmente definidas como no rutinarias en procesos o fases más simples, haciéndolas más rutinarias. En otras palabras, estas tareas se han computarizado (Benedikt & Osborne, 2013). En cierta manera, toda tarea puede llegar a ser automatizada; la diferencia en el

grado de mecanización entre una y otra reside en lo compartimentada que esté. Cuanto más simple sea la tarea y más pueda subdividirse en otras tareas, más susceptible será de automatizarse. Por ello, tareas poco rutinarias conllevan un mayor coste de automatización debido a que la tecnología no es lo suficientemente eficiente y barata aun como para que sea rentable sustituir a una persona. La mayoría de las tareas no estructuradas, de momento, no tienen previsión de ser sustituidas por máquinas; especialmente aquellas que se caracterizan por la interpretación de datos⁴ y análisis de resultados (Bodanza, 2015).

En lo particular, la inteligencia artificial encuentra dificultades en tareas de reconocimiento de patrones cuando se cuenta con una escasa cantidad de datos, a diferencia de las personas. Asimismo, la explicación en términos humanos de modelos grandes y complejos es difícil para la inteligencia artificial⁵. Aún se está lejos de disponer una IA verdaderamente interpretable, según Carlos Guestrin, profesor de la universidad de Washington. Es por esto por lo que la adopción de inteligencia artificial en áreas donde la explicabilidad es útil o incluso necesaria ha sido relativamente baja. Por otro lado, la vinculación de símbolos a significados concretos todavía es una tarea complicada para la inteligencia artificial. A diferencia de los seres humanos, la IA tienen dificultades para relacionar la experiencia de un conjunto de circunstancias a otro contexto distinto⁶. Todo lo que un modelo artificial logra para un caso de uso dado solo puede ser aplicado en ese caso de uso. Si una entidad desea capacitar a otro modelo de Inteligencia artificial, debe diseñar y aplicar una nueva especificación para el nuevo caso, incluso si este es muy similar, según explica McKinsey.

2.3. Habilidades

En contraste con las tareas, cuando se habla de habilidades se hace referencia a las capacidades que un trabajador necesita para la realización de una tarea. Los trabajadores aplican dichas habilidades para producir unos resultados dados, percibiendo a cambio un salario. El retorno que los trabajadores perciben está determinado por sus habilidades y por el grado de automatización existente. El nivel de tecnología está sesgado

⁴ Chui M. (2018). *The real-world potential and limitations of artificial intelligence*, McKinsey.

⁵ Knight W. (2017), *El secreto más oscuro de la inteligencia artificial: ¿por qué hace lo que hace?*, Technology Review.

⁶ Chui, M., Manyika J. & Miremadi M. (2018), *What AI can and can't do (yet) for your business*, McKinsey.

en cuanto a habilidades, ya que las nuevas mejoras tecnológicas aumentan la demanda de trabajadores más habilidosos, normalmente aquellos que son graduados universitarios, en relación con los no universitarios (Acemoglu & Autor, 2011). En otras palabras, las tareas no rutinarias y cognitivas, como la dirección de una empresa, requieren habilidades de contextualización e interpretación de datos, así como la gestión de entornos inciertos. Por ello, suelen ser ejecutadas por empleados altamente calificados con salarios altos. Por otra parte, los trabajos no rutinarios y físicos, normalmente llevados a cabo por trabajadores no cualificados, también son poco susceptibles de ser robotizados o informatizados, pues suelen ocurrir en entornos dinámicos y con el tratamiento de objetos irregulares (Vermeulen, Kesselhut, Pyka & Saviotti, 2018), lo que se traduce en una difícil automatización de las tareas (Ciocarlie, Hsiao, Jones, Chitta, Rusu & Şucan, 2014), como por ejemplo el personal de limpieza. Sin embargo, tareas rutinarias y estructuradas relacionado con el transporte, la fabricación o la producción, generalmente son realizadas por empleados con cualificaciones y salarios medios.

En resumen, las ocupaciones de alta y baja habilidad tienen menos probabilidad de ser automatizadas que las tareas que requieren habilidades medias, normalmente más susceptibles de ser desempeñadas por las máquinas debido a su gran compartimentación.

3. Efectos de la automatización

Quienes mejor han descrito de forma teórica los cambios que experimenta la económica cuando se produce una intensificación de la automatización son los economistas Acemoglu y Restrepo. Estos autores han desarrollado modelos formales que ayudan a entender mejor los efectos que la nueva tecnología tiene en la economía. Los autores exponen que, en el corto plazo, la automatización destruye el empleo desempeñado hasta entonces por personas. No obstante, existen una serie de fuerzas compensatorias que equilibran el mercado de trabajo. Una de estas fuerzas es la creación de nuevas tareas de trabajo. De tal manera, mientras que la automatización produce un efecto de desplazamiento⁷, la creación de nuevas tareas produce un efecto de reincorporación generando nuevo empleo. Esto exige un reentrenamiento de las habilidades de los trabajadores para adaptarse a las nuevas tareas. El proceso de automatización afecta directamente a los salarios y genera desigualdad entre los

⁷ El efecto de desplazamiento es una consecuencia de la automatización. Las máquinas mejoran la productividad y reducen la participación de la mano de obra en la producción.

trabajadores de distintas habilidades. A largo plazo, la automatización genera mayores índices de productividad, eficiencia y, en última instancia, mejor nivel de vida en términos generales.

3.1. Destrucción de trabajos

Cuando una tarea es realizada por trabajadores y se automatiza, las máquinas sustituyen la mano de obra produciendo un efecto de desplazamiento, es decir, se reduce la participación del trabajo de la producción agregada. Esta reducción de empleo se traduce en una disminución de la proporción de los trabajadores que contribuyen al ingreso nacional. Los efectos inmediatos de la automatización, por tanto, son la destrucción de empleo y el desequilibrio tanto de los salarios de los trabajadores como de los costes de las máquinas (Acemoglu, 2010; Acemoglu & Restrepo, 2018a). Esta estructura de equilibrio está basada en que tanto los precios de los factores (trabajo y capital) como la asignación de dichos factores a las tareas están determinados por la tecnología disponible y las opciones que la empresa tiene entre el capital y el trabajo. Pero si la automatización solo destruyese empleo, hoy en día toda tarea sería realizada por capital, por lo que el mercado laboral quedaría descompensado. De este modo, existen una serie de *fuerzas compensatorias* que contrarrestan este desequilibrio producido por la destrucción de trabajo (Acemoglu & Restrepo, 2018a).

3.2. Fuerzas compensatorias

El efecto de productividad (1) ocurre cuando una tecnología llega a tal punto de desarrollo que aumenta la eficiencia y productividad de una tarea dada. En esta situación, el capital sustituye la mano de obra, es decir, automatiza dicha tarea. Consecuentemente, la automatización afecta directamente a los costes de producción reduciéndolos en mayor medida que si la tarea hubiese sido llevada a cabo con mano de obra. Esta reducción de los costes se refleja directamente en una reducción de los precios de los bienes y servicios. La reducción de precios afecta a las unidades familiares directamente, pues estas son relativamente más ricas al poder comprar más cantidad de productos con la misma cantidad de dinero. De tal manera, la demanda de bienes y servicios aumenta. Esto resulta en un incremento de la demanda de trabajo de otras industrias donde hay menos

automatización para poder suplir el aumento de la demanda de productos, lo que contrarresta, en último lugar, el efecto de desplazamiento.

Por otra parte, cuando una tarea es automatizada la demanda de capital aumenta. Cuando esto ocurre, la tasa de alquiler de capital también se incrementa. Entonces, se produce un efecto conocido como *acumulación de capital* (2). A medida que se acumula el capital, se necesita más gente para suplir el uso o mantenimiento del capital, lo que deriva en un aumento de la demanda de trabajo, compensando parcialmente la destrucción de trabajo producida por la automatización.

Por último, cuando una mejora tecnológica aumenta la productividad del capital de tareas previamente automatizadas, efecto conocido como *profundización de la automatización* (3), el efecto de productividad, explicado previamente, se intensifica también, reduciendo costos en la producción y aumentando la demanda de trabajo en otros sectores que no están siendo automatizados con la misma intensidad.

3.3. Creación de nuevas tareas

A pesar de que estas fuerzas contrarresten el efecto de desplazamiento, la automatización de tareas implica que los procesos productivos sean más intensivos en capital. Esto reduce el empleo, por lo que la oferta de trabajadores aumenta. Debido a esto, los salarios se reducen ya que aquellos trabajadores desempleados compiten con otros por los trabajos existentes. Es por ello por lo que existe otra fuerza compensatoria que equilibra el empleo, los salarios y el crecimiento global, a pesar de la disminución constante de la participación de mano de obra en el ingreso nacional. Esta fuerza es *la creación de nuevas tareas* (Acemoglu & Restrepo, 2018a). La creación de nuevas tareas intensivas en trabajo aumenta la demanda laboral y, por tanto, la participación del trabajo, generando un efecto de restauración (efecto contrario al explicado anteriormente) que resta presión sobre la oferta de trabajo. Cuando la automatización crece en la misma medida que las nuevas tareas, los salarios de equilibrio crecen proporcionalmente con la productividad⁸, y la participación laboral se mantiene constante (Acemoglu & Restrepo, 2018a, p. 23). Por ello, debido a que la automatización de tareas genera a su vez nuevas tareas donde el trabajo laboral tiene una ventaja comparativa sobre el capital, esta fuerza equilibra el mercado laboral. De este punto se puede derivar que la automatización y, en

⁸ A no ser que la elasticidad de sustitución entre capital y mano de obra fuese muy baja.

concreto, el efecto de desplazamiento, permiten asignar mejor los factores y recursos allí donde son más eficientes y productivos, logrando, en última instancia, un equilibrio más eficiente.

3.4. ¿Destrucción de empleo o aumento de productividad?

Por tanto, la introducción de robots puede tener tanto un efecto positivo como negativo sobre el empleo y los salarios. El impacto negativo se debe al efecto directo del desplazamiento de los trabajadores por los robots hacia otras tareas. En contraposición, el efecto positivo se da en el efecto de la productividad (Acemoglu & Restrepo, 2017), así como en la creación de nuevas tareas que absorben a esos trabajadores previamente desplazados. Estos efectos serán más pronunciados dependiendo del nivel de equilibrio de la automatización. Si esta es excesiva o se crean insuficientes tareas nuevas, la mano de obra será más costosa que su costo de oportunidad social, en parte, debido a las imperfecciones del mercado laboral: heterogeneidad entre la oferta y la demanda de habilidades e información sobre los puestos de trabajo; la deslocalización de los trabajos y los trabajadores y su consecuente movilización; los tiempos de creación de las tareas, altos costes de adquisición de información; escasos programas educativos para el reentrenamiento de los empleados; excesiva burocracia, etc. (Pissarides, 2000). La cuestión es cuál de estas dos fuerzas está predominando en esta era de Inteligencia Artificial y automatización.

Por un lado, alrededor del 47 % del empleo total en Estados Unidos es susceptible de que pueda ser automatizado en las próximas dos décadas (Frey and Osborne, 2013). En Europa ocurre algo parecido, siendo susceptibles de automatizarse el 54 por ciento de los trabajos (Bowles, 2014). Sin embargo, otros estudios indican que, en los próximos años, únicamente un 9 % de los puestos de trabajos serán destruidos por la implantación de capital (Arntz, Gregory and Zierahn, 2016). Esta diferencia sustancial se debe a que los trabajadores vulnerables a la automatización pueden ser menos de lo que se había pensado, ya que una parte sustancial de las tareas realizadas por estos son no rutinarias, por lo que tienen menos probabilidades de automatizarse. Asimismo, las diferencias entre países pueden variar sustancialmente a causa de la organización estructural de los trabajos, las inversiones en tecnología, la educación o la cultura, explican Arntz, Gregory y Zierahn (2016). Por ejemplo, la proporción de empleos automatizables es del 6 por ciento en Corea mientras que en Austria es de un 12 %.

Por otro lado, al evaluar el impacto de la Inteligencia artificial (en concreto, la robótica industrial⁹) sobre el empleo¹⁰ se ha descubierto que, entre 1993 y 2007, el crecimiento anual de la productividad laboral ascendió en un 37 % como consecuencia del aumento del uso de los robots (un robot por cada mil trabajadores). Sin embargo, el número de empleos perdidos en los Estados Unidos, debido a la automatización, se encuentra en un rango entre 360.000 y 670.000 empleos. Esto equivale a una disminución de un 0.18 – 0.34 %. En lo referente a los salarios, estos descendieron en un 0.25 – 0.5 % (Acemoglu & Restrepo, 2017). Dichos datos dan evidencias de que el efecto de desplazamiento (producido por la automatización) domina respecto al efecto de productividad. Además, el efecto a corto plazo es más pronunciado en aquellas industrias que han optado intensivamente por los robots, en las rutinas manuales o en aquellos trabajadores sin educación universitaria (Petropoulos, 2018).

3.5. Reentrenamiento de habilidades

Las nuevas tareas que se crean a raíz de la automatización requieren, por lo general, nuevas habilidades. No obstante, es común que los trabajadores desplazados no posean las habilidades necesarias para afrontar los nuevos trabajos. Por ello, deben reentrenarse para adquirir los conocimientos necesarios. Este reentrenamiento supone unos recursos, así como un tiempo de aprendizaje. Además, es probable que el sistema educacional reaccione tarde a la hora de prever las nuevas tendencias de la tecnología, así como la demanda de las nuevas habilidades, o simplemente, no tenga los recursos suficientes como para invertir lo suficiente en ello. Esto dificulta un equilibrio entre las habilidades demandadas por el mercado y las habilidades ofertadas por la fuerza laboral.

Las empresas entrenan a sus empleados en busca de que los trabajadores sean más productivos en el futuro. Anticipándose a la automatización, el entrenamiento puede ser más preciso, del mismo modo, puede brindar menos capacitación a los trabajadores en tales trabajos en el futuro. Sin embargo, la mayoría de las veces la automatización afecta a varias tareas, por lo que se requerirá una adaptación más completa a la nueva reestructuración de la tarea (Nedelkoska & Quintini, 2018). Aunque a veces la tecnología

⁹ La robótica industrial es aquella rama de la robótica que se utiliza en las factorías y que se caracteriza por el uso de robots reprogramables y multipropósito con control automático (Federación Internacional de Robótica, 2016).

¹⁰ Los últimos modelos económicos centran sus estudios sobre la automatización en la robótica industrial, Graetz y Michaels, 2015; Acemoglu y Restrepo 2017, 2018.

destruye empleo otras veces transforma estas tareas tradicionales, demandando nuevas habilidades y empleos. Este es el caso de los cajeros de los bancos y los cajeros automáticos. La tecnología transformó las tareas clásicas de los cajeros. La tarea rutinaria de manejo de efectivo se sustituyó por tareas más enfocadas en las habilidades interpersonales y de marketing. Además, ahora los empleados suelen tener una licenciatura en lugar de solo un diploma de secundaria (Bessen, 2015). Esto es un ejemplo de que la tecnología no siempre destruye empleo.

Con el creciente aumento de la automatización, las empresas están demandando más empleados para sus plantillas, pero como se observa en la *figura 2* el 45 % de los empleadores encuestados en un estudio sobre la proyección de empleo realizado en 2018 por ManpowerGroup¹¹, afirman no poder encontrar trabajadores con las habilidades necesarias para llevar a cabo las nuevas tareas. En las empresas de más de 250 empleados un 67 por ciento de los empleadores se encuentran en esta situación. La escasez de talento parece ser más acusada hoy en día de lo que había sido tiempo atrás. La máxima dificultad de los empresarios es encontrar candidatos con habilidades técnicas y competencias sociales óptimas.

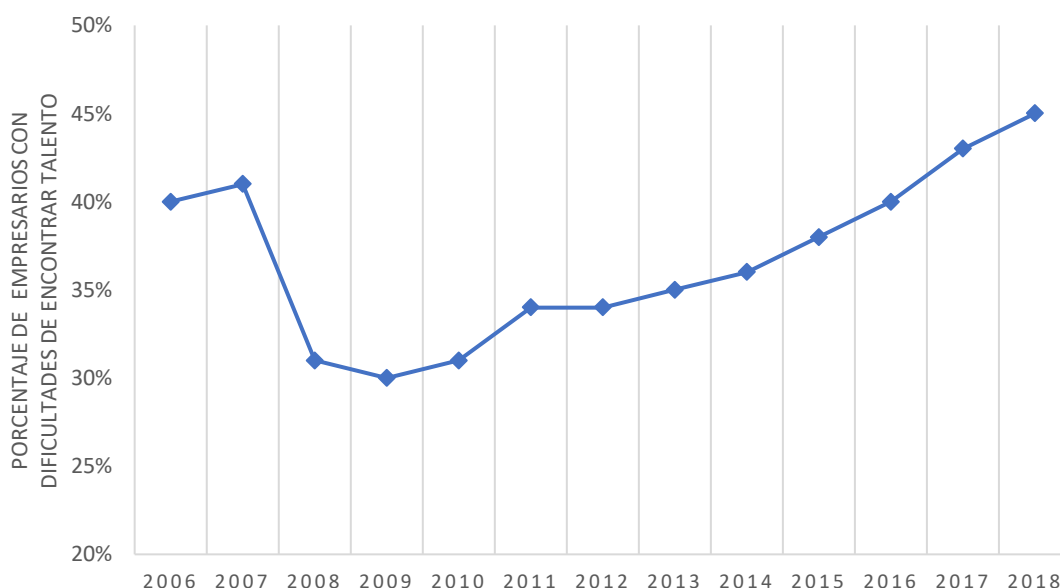
El quid de la cuestión se encuentra en saber si los trabajadores tendrán dificultades para readaptarse. Esto depende de las habilidades de cada trabajador y de la intensidad del cambio tecnológico. En primer lugar, para una persona cualificada que cuenta con una larga experiencia, la modificación de sus tareas, a priori, no le supondrá una gran dificultad de adaptación, aunque esto también dependerá del segundo aspecto: la magnitud del cambio en la tecnología. Cuando una tecnología cambia los paradigmas de una tarea drásticamente, conlleva un mayor esfuerzo de adaptación por parte de los trabajadores. Aspectos como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, creatividad e innovación, competencias sociales y culturales, iniciativa o autonomía son habilidades cada vez más buscadas en los nuevos empleados (Scott, 2015). Esta tendencia va encaminada, por una parte, hacia los requisitos que las nuevas tareas no rutinarias demandan y, por otra parte, al hecho de facilitar el proceso de aprendizaje y adaptación a las nuevas tareas.

De esta manera, los trabajadores que se capaciten recibirán mejores salarios, pero el resto de ellos no podrán reentrenarse y sus habilidades quedarán obsoletas y sus salarios podrían llegar a estancarse o, incluso, bajar (Bessen, 2015). Así, los empleados de media

¹¹ (2018). [*Solucionar la escasez de talento*](#), ManpowerGroup.

y baja habilidad tendrán dificultades en adaptarse a la demanda de nuevas habilidades. Mientras que los trabajadores altamente cualificados tendrán más oportunidades. Este desarrollo de cualificaciones para las nuevas tecnologías no es un problema nuevo. Las instituciones de enseñanza y reentrenamiento y los mercados laborales siempre se han adaptado lentamente a las nuevas tecnologías. Por ejemplo, en la Revolución Industrial, los salarios reales estuvieron estancados durante décadas hasta que los conocimientos técnicos y su enseñanza se generalizaron; cuando esto sucedió, los salarios aumentaron marcadamente (Escudero, 2002).

Figura 2. Porcentaje de empresarios que manifiesta que existe una escasez de talento



Fuente: Estudio sobre escasez de talento, 2018, ManpowerGroup

Algo similar sucede hoy en día con la industria automotriz. A medida que la industria se ha automatizado con la inclusión de robots industriales, los trabajos rutinarios, hasta entonces realizados por trabajadores, han comenzado a desaparecer, obligando a dichas personas a estar continuamente reentrenándose. Las nuevas habilidades requieren más conocimiento tecnológico (especialmente relacionado con inteligencia artificial y el aumento de automóviles y camiones sin conductor). Los mayores fabricantes de automóviles de Estados Unidos crearon más de 100.000 empleos cualificados desde enero de 2016 hasta enero de 2017 y entorno a un 10 % correspondió a tres títulos: ingenieros de diseño, ingenieros de software e ingenieros de sistemas. Además, un estudio sobre habilidades realizado en 2015 a 134.500 trabajadores localizó

las empresas que demandaban puestos de trabajos que incluían alguna de estas destrezas: tren motriz, modo de falla de diseño y análisis de efectos, CATIA, sellado y Simulink. Estas empresas eran Ford, GM, Boeing, Chrysler, Cummins...¹² lo que quiere decir que la mayoría de estos títulos son los mismos que los que demandan los grandes fabricantes de automóviles: perfiles como el de ingeniero de diseño, ingeniero mecánico e ingeniero de sistemas. Por tanto, esta situación desvela que actualmente existe una gran falta de transferencia de información de las habilidades requeridas por los fabricantes entre estos y los trabajadores.

Además, en este entorno, las universidades no logran mantenerse al día. La adquisición de conocimientos en las escuelas siempre va por detrás de las innovaciones en la industria y, por lo general, estas, tardan en adaptarse y estandarizarse para que lleguen a ser enseñadas. Por lo tanto, los trabajadores de la industria automovilística deben aprender in situ, aunque no siempre los empleadores ofrecen los recursos necesarios. Esto es debido a que la inversión en aprendizaje y reentrenamiento de habilidades supone un gasto importante de recursos para la empresa. Además, los cambios tecnológicos son cada vez más acelerados y la rotación de personal no para de aumentar¹³, por lo que la inversión suele desestimarse. De tal forma, el rápido avance y la poca estandarización de las tecnologías supone que el aprendizaje de unas habilidades dadas puede no servir para otra tarea nueva. Todo ello resulta en mejoras salariales casi inexistentes para los trabajadores de habilidades medias y bajas (Bessen, 2015). No obstante, los trabajadores que cuenten con estudios de ingeniería y con mayores habilidades técnicas, sociales y en adaptabilidad, acaban creando una reputación mayor para estos y una diferencia cada vez más marcada entre ellos y los trabajadores de habilidades bajas y medias del sector. De esta manera, estos trabajadores más hábiles perciben honorarios muy superiores en proporción al resto de los trabajadores, acrecentando la desigualdad económica.

3.6. Polarización del mercado laboral

La polarización del mercado laboral consiste en la creciente desigualdad de la fuerza laboral ya sea por sector, estudios, tipo de tareas... y es explicada como

¹² Wright, J. (2017). [Workforce Supply and Demand in the Automotive Industry](#), Emsi.

¹³ El Instituto de Trabajo estima que 42 millones de empleados, uno de cada cuatro, dejarán sus puestos de trabajo en 2018. [Work Institute Releases National Employee Retention Report](#), Work Institute, 2018.

consecuencia de la dificultad de reentrenamiento de los trabajadores (1) y de la automatización de los trabajos de cualificación media (2). Por una parte, solo unas pocas personas consiguen reintroducirse en el mercado laboral de las nuevas tareas y, quien lo hace, percibe salarios muy altos; mientras que los salarios del resto de los trabajadores se estancan (o incluso se reducen). Por otra parte, la automatización de tareas se está aplicando mayoritariamente en los empleos que requieren habilidades medias. Por ello las tareas de alta y baja cualificación están aumentando la demanda de empleo en detrimento de las tareas medias, que están destruyéndose.

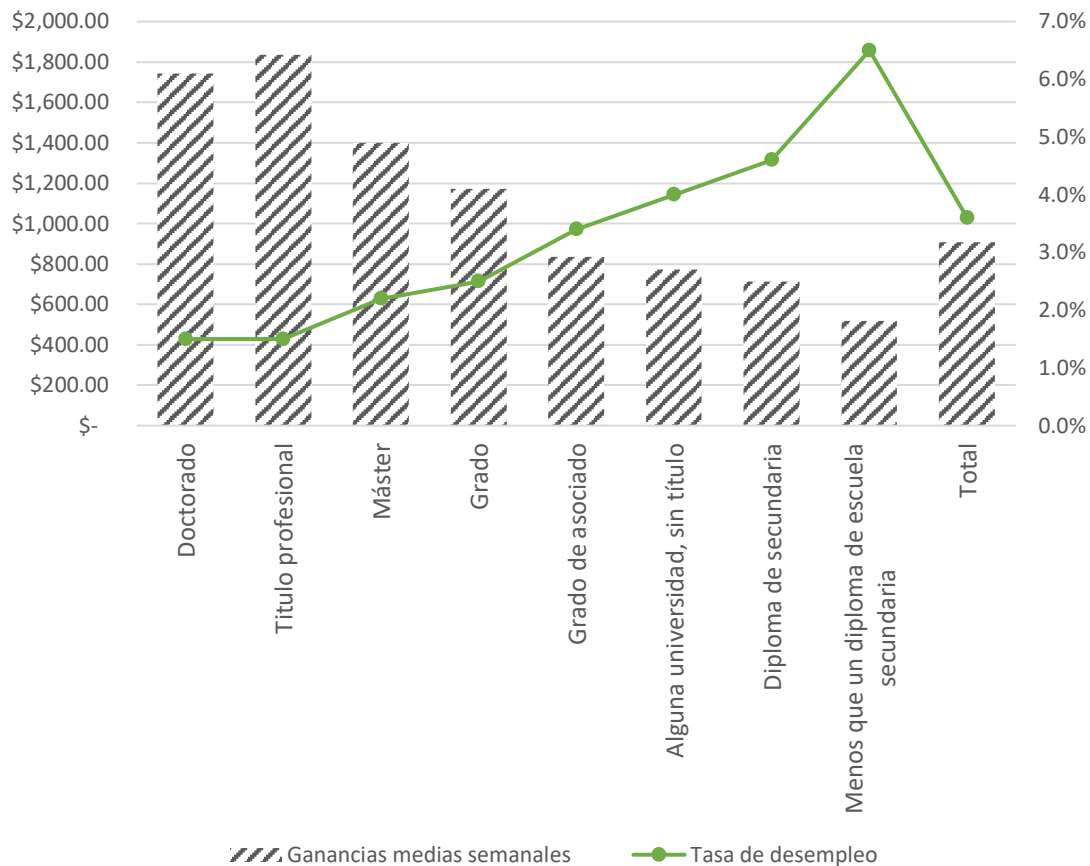
En las décadas de 1950 y 1960 el nivel creciente de logros educativos se mantuvo al día con el aumento de habilidades requeridas por las nuevas tareas que aparecían. Sin embargo, desde finales de la década de 1970 y principios de la década de 1980, los niveles educativos en Estados Unidos decrecieron, a diferencia de la demanda de trabajadores calificados, que seguía creciendo. Esta desaceleración educacional resultó en un fuerte aumento de la desigualdad de salarios (Autor, 2010). Dicha situación es la que genera una polarización del mercado laboral, creando cada vez más diferencias entre los trabajadores de altas habilidades y los trabajadores con habilidades bajas, aunque los que más perjudicados se vieron fueron los trabajadores de cualificación media. La figura 3 representa los ingresos semanales y la tasa de empleo por nivel educativo. Como se observa, los empleados con los estudios más avanzados perciben salarios más altos, así como una tasa de desempleo inferior al resto. Por otro lado, los trabajadores sin estudios universitarios obtienen unos salarios más reducidos y las tasas de desempleo son hasta cinco puntos porcentuales superiores.

Un estudio realizado por Autor & Dorn (2013), sobre la polarización del mercado estadounidense, datado en el periodo entre 1980 y 2005, indica que la tasa de empleo de los trabajadores menos educados y sus salarios disminuyeron; sin embargo, la proporción de horas trabajadas en empleos de servicios por personas con educación secundaria o inferior aumentó en más del 50 por ciento, presentando una notable excepción. Como se observa en la *figura 4*, los servicios crecieron mucho en comparación con otros trabajos. Los salarios de estos empleados superaron considerablemente el crecimiento salarial en otras ocupaciones de baja calificación (Autor & Dorn, 2012), remarcando la polarización de los trabajos rutinarios y no rutinarios. Los servicios no suelen admitir sustitutos computables de forma rentable o eficiente¹⁴, así que la automatización de las tareas

¹⁴ Los trabajos que requieren percepción refinada y destreza física, inteligencia creativa, improvisación o inteligencia social, tienen menos riesgo de ser reemplazados, pero si se dispone de una cantidad de datos

rutinarias de producción de bienes, a la larga, conduce a un aumento de los salarios y del empleo en ocupaciones de servicios (Vermeulen, Kesselhut, Pyka & Saviotti, 2018).

Figura 3. Ingresos semanales en dólares y tasa de desempleo en porcentaje por educación en EE. UU., 2017



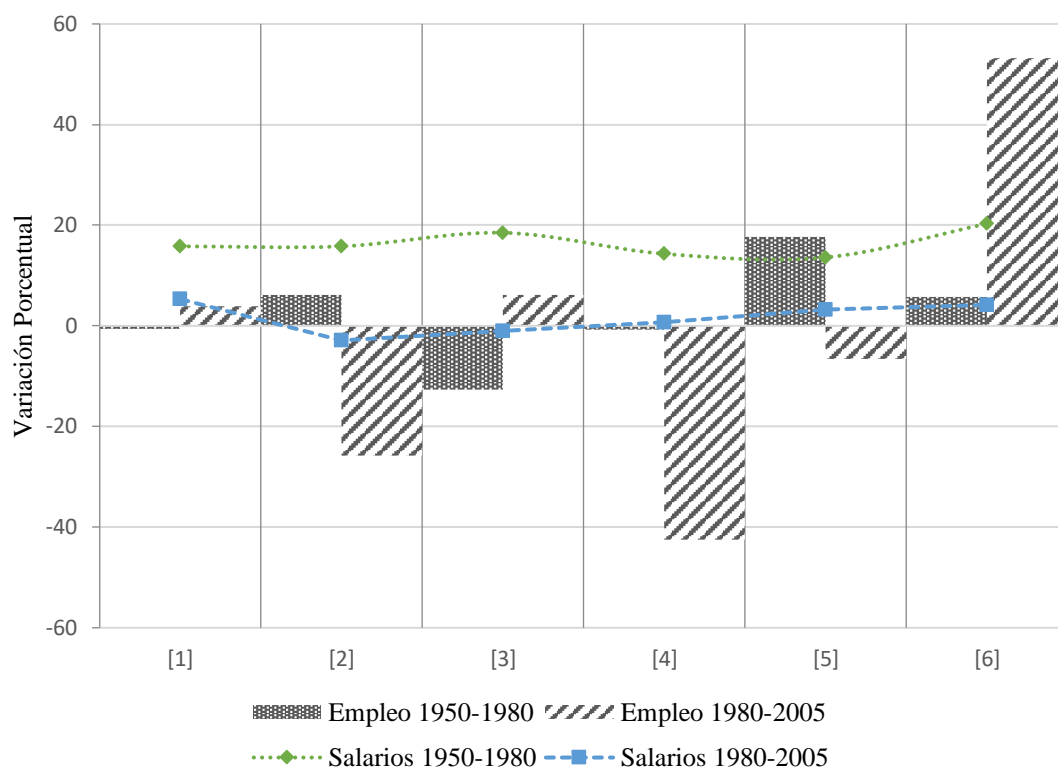
Fuente: Bureau of Labor Statistics (EE. UU.)

No obstante, los datos muestran que, a pesar del crecimiento en la demanda de trabajos de servicios de baja cualificación, la tasa de crecimiento de los salarios es significativamente más reducida que en el periodo anterior (1950-1980) (figura 4). Un trabajo muy cualificado, por lo general, puede ser realizado por unos pocos profesionales con avanzadas habilidades, lo que se traduce en una menor oferta de trabajadores y unos salarios más altos. Sin embargo, los trabajos de baja habilidad, que por lo general cuentan con una gran oferta de empleados disponibles, perciben menores salarios (la figura 3 muestra como los trabajadores con menores estudios reciben menores salarios. La figura

suficientemente grande la IA puede llegar a automatizar ciertas tareas cognitivas o basadas en el conocimiento (Ford, 2015).

4 muestra que, aún con un gran crecimiento de trabajo, como es el caso de los servicios en el segundo periodo, el crecimiento salarial se estanca al tratarse de trabajo poco cualificado).

Figura 4. Tasa de crecimiento de la cuota de empleo (%) y salario por hora log (2004\$) en los periodos de 1950-1980 y 1980-2005 de trabajadores sin educación universitaria en EE. UU.



Fuente: American Community Survey y Autor & Dorn, 2012.

Tabla 1. Ocupaciones para figura 4

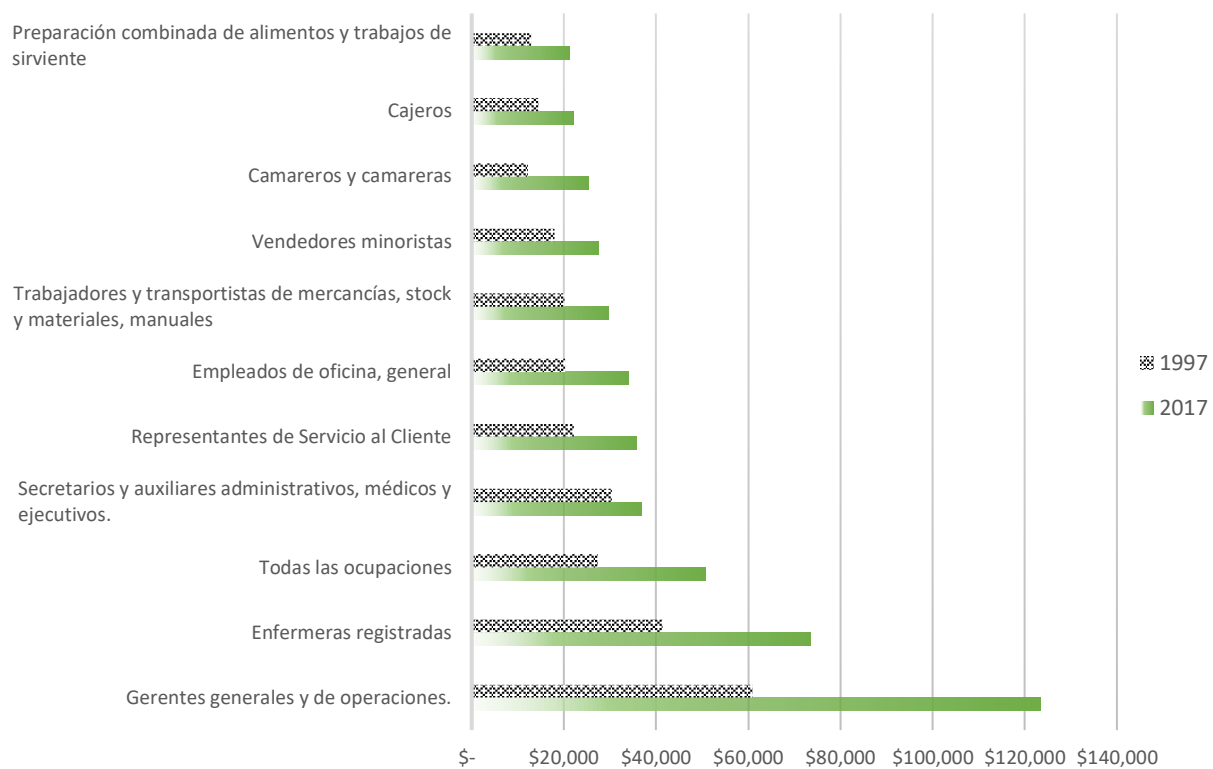
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
- Gestor	- Producción	- Transporte	- Operario de	- Oficinista	- Servicios
- Profesor	- Artesanía	- Construcción	máquina	- Ventas	genéricos
- Finanzas		- Mecánico	- Ensamblador		
- Seguridad pública		- Minero			
		- Granjero			

Fuente: American Community Survey y Autor & Dorn, 2012.

Por último, la figura 5 muestra el cambio salarial en veinte años de algunas de las ocupaciones más importantes. Las tareas menos rutinarias que requieren mayores habilidades no cognitivas, como en el caso de los generantes y enfermeras, son aquellas

que perciben unos salarios mayores. Sin embargo, como es explicado anteriormente, en las últimas tres décadas, tareas que requieren habilidades poco cualificadas tales como cajeros, comida rápida, minoristas o transportistas, han experimentado caídas significativas en los salarios reales en comparación con los trabajadores de alta cualificación (Acemoglu & Autor, 2011). Por tanto, en resumidas cuentas, la mayoría de los empleos destruidos por la automatización han sido de cualificación media. Algunos de ellos fueron reemplazados por trabajos de alta cualificación mientras que el resto fueron degradados a trabajos de baja calificación. Los trabajos rutinarios cognitivos que se vieron más afectados fueron los de apoyo administrativo y los relacionados con las ventas. En relación con las tareas rutinarias manuales, los carteros, transportistas, cocineros y grabadores fueron los más perjudicados (Scopelliti, 2014).

Figura 5. Salario anual promedio por ocupaciones, 1997 y 2017, US



Fuente: Bureau of Labor Statistics.

Al margen de lo explicado anteriormente, las últimas tecnologías son capaces de automatizar también tareas no rutinarias. Por tanto, surge un nuevo modelo donde el capital realiza, por una parte, tareas menos complejas compitiendo directamente con el trabajo de baja cualificación y, por otra, tareas más complejas donde el capital compite con el trabajo de alta habilidad (Acemoglu & Restrepo, 2017b). Esta tendencia, que está

teniendo lugar en la última década, está dando como resultado en una disminución de la demanda de trabajadores cualificados, aun cuando la oferta de trabajadores con educación universitaria ha seguido creciendo (Beaudry, et al., 2013).

La explicación reside en los efectos de la automatización sobre los factores. Cuando una tarea es automatizada, el efecto de productividad tiende a aumentar los salarios de todos los factores; sin embargo, el efecto de desplazamiento de las tareas de alta habilidad no concluye el mismo resultado. Este desplazamiento no solo afecta a los salarios de los trabajadores muy cualificados reduciéndolos, sino que también afecta a los trabajadores menos cualificados. Es decir, el efecto de la automatización de tareas cualificadas puede parecer algo ambiguo en la desigualdad salarial ya que, a diferencia de la automatización de las tareas no cualificadas (donde siempre se incrementa la desigualdad salarial) la automatización de tareas cualificadas siempre incrementa la productividad y reduce la desigualdad, pero también afecta indirectamente a los trabajadores poco cualificados, incrementándola (Acemoglu & Restrepo, 2017). Aghion, Jones & Jones (2017) muestran que, con la automatización de trabajos de alta habilidad, los trabajadores altamente cualificados han bajado de escala ocupacional, asumiendo trabajos tradicionalmente realizados por empleados poco cualificados, lo que a su vez desplaza a estos más abajo en la escala ocupacional e, incluso a veces, los expulsa. Esta situación resalta más aún la polarización.

Por último, otro aspecto de la automatización que desemboca en una mayor desigualdad del mercado laboral es la implantación de las tecnologías “indecisas” (traducidas literalmente del término anglosajón “*so-so*”) (Acemoglu y Restrepo, 2018a). Este término hace referencia a aquellas tecnologías que son lo suficientemente productivas como para ser adoptadas y causar desplazamientos, pero no lo suficiente como para producir una compensación del efecto de productividad o, en otras palabras, como para que la gente demande más productos. Ante este aumento débil de la demanda, la creación de nuevas tareas se verá mermada. Además, la fuerza de trabajo desplazada por la automatización no podrá ser reasignada, resultando en un descenso de los salarios y una mayor polarización.

En resumen, el mercado laboral demanda cada vez más trabajadores muy cualificados, pero la discordancia entre las habilidades requeridas y las habilidades actuales de los trabajadores está contribuyendo a unos niveles más altos de desigualdad salarial. Del mismo modo la automatización está contribuyendo a una menor demanda de empleos de cualificación media. Esto supone que los trabajadores con un nivel

educacional escaso se enfrentan a un conjunto de oportunidades laborales cada vez menores (Autor, 2010). Adicionalmente, la polarización del mercado laboral es reflejada en los siguientes puntos: (1) una disminución sustancial en los salarios reales de los trabajadores poco y medio cualificados en las últimas tres décadas; (2) cambios marcados, no monótonos, en los niveles de ganancias (en diferentes partes de la distribución de ganancias) en diferentes décadas; (3) la polarización en la distribución de ganancias está directamente relacionada con los retornos a la educación (y a otras habilidades); (4) cambios sistemáticos, no monótonos, en la distribución del empleo entre ocupaciones de diversos niveles de habilidad; y (5) la introducción de nuevas tecnologías que sustituyen con máquinas las tareas realizadas previamente por trabajadores (Acemoglu & Autor, 2011).

En el corto y medio plazo el aumento de capital y la automatización reducen las ganancias potenciales de productividad. Asimismo, la creación de nuevas tareas de índice más alto aumenta la desigualdad, ya que los trabajadores altamente cualificados tienen una ventaja comparativa respecto de los de baja cualificación. No obstante, en el largo plazo, los trabajadores poco cualificados adquieren nuevos conocimientos y habilidades que les permite realizar las nuevas tareas. Si a esto se le suma que el precio del capital se mantiene constante y las tareas se estandarizan, entonces la productividad aumentará y, por ende, los salarios de los trabajadores poco cualificados también lo harán (Acemoglu & Restrepo, 2018c). Es decir, en el largo plazo la automatización siempre aumenta los salarios de todos los tipos de trabajadores a consecuencia de los efectos de productividad (Acemoglu y Restrepo, 2016). Sin embargo, la automatización podría tener un impacto negativo en los salarios de la mano de obra que desplaza directamente (Acemoglu y Restrepo, 2017b). En relación con este aumento de los salarios y de la productividad, los datos muestran como el bienestar global a largo plazo producido por la automatización ha aumentado considerablemente. En Estados Unidos, la producción por trabajador ha crecido en un 14,9 por ciento desde 1950, mientras que el consumo por trabajador, casi un 10 por ciento (Eden & Gaggl, 2015)

4. La automatización en la Revolución industrial

Cuando hoy en día se habla de automatización se hace referencia a inteligencia artificial, aprendizaje automático, robots industriales... Pero la realidad es que la automatización de tareas ha ocurrido desde tiempo atrás. El término automatización fue

usado por primera vez por los ingenieros de Ford Motor Company a principios del siglo XX para describir los nuevos procesos automáticos de producción en serie llevados a cabo por máquinas (Macmillan, 2012); pero ya la revolución científica británica del siglo XVII desembocó en una oleada de innovaciones que florecieron durante siglo XVIII y, sobre todo, en el XIX. Estas innovaciones dieron como resultado la Revolución Industrial.

La Revolución Industrial trajo consigo un gran cambio en la forma en la que se llevaban a cabo los trabajos, donde las innovaciones tecnológicas apuntaban específicamente a automatizar tareas previamente realizadas por artesanos expertos (Mantoux, 1928). Este cambio trajo consigo el desplazamiento y la reasignación de muchos trabajadores. Dicho suceso derivó en una caída de los salarios reales y, por tanto, un descenso generalizado de los niveles de vida. A pesar de esto, la productividad de las fábricas aumentó sustancialmente con el tiempo, gracias en parte a la eficiencia de las máquinas. Además, la demanda de mano de obra aumentó, por una parte, debido al efecto de productividad, y por otra, para suplir los nuevos puestos de trabajo que se crearon a consecuencia de las máquinas. En el largo plazo, la sociedad y el mercado acabaron adaptándose a las nuevas tecnologías y a la automatización. El efecto de la productividad terminó por dominar (frente al efecto de desplazamiento de la automatización) con un consiguiente impacto positivo. Las tasas de crecimiento de la población y del producto (absolutas y per cápita) se aceleraron, el porcentaje de la fuerza laboral total empleada en la industria manufacturera y los servicios alcanzó proporciones modernas, y el crecimiento general fue notable, mientras que los ingresos reales per cápita crecieron de forma constante (Hartwell, 1969).

4.1. Innovaciones tecnológicas

La introducción de tecnología y maquinaria en las tareas tradicionales se empezó a estandarizar a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, entre 1760 y 1780. Las máquinas requerían menos mano de obra que anteriormente, pero eran complementarias a las plantas de trabajo que existían hasta entonces y muchos de los trabajadores manuales aprendieron a manejar dichas máquinas, adaptándose a los cambios. El efecto de productividad generó muchos puestos de trabajo, tanto tradicionales como nuevos, por lo que la introducción de estas tecnologías no generó un desplazamiento propiamente dicho (y cuando fue así, la demanda de trabajo que generó la automatización fue realmente superior a la pérdida de trabajos por el desplazamiento). A modo ilustrativo, la

introducción de los ferrocarriles refleja el alcance de las nuevas tecnologías. Cuando la máquina de vapor fue inventada, los canales, hasta entonces el medio tradicional de transporte de materias y productos, perdieron su relevancia. El tren absorbió toda la capacidad de transporte y desplazó completamente a los canales, hasta que estos desaparecieron casi por completo. El efecto del desplazamiento de la mano de obra fue insignificante en comparación con el efecto multiplicador y los beneficios que generó el ferrocarril. Ya solo la mano de obra nueva que se necesitaba para la construcción y el mantenimiento de ferrocarriles era inmensa. Además, este medio de transporte creó nuevas oportunidades que se vieron reflejadas en todas las industrias (Hartwell, 1971).

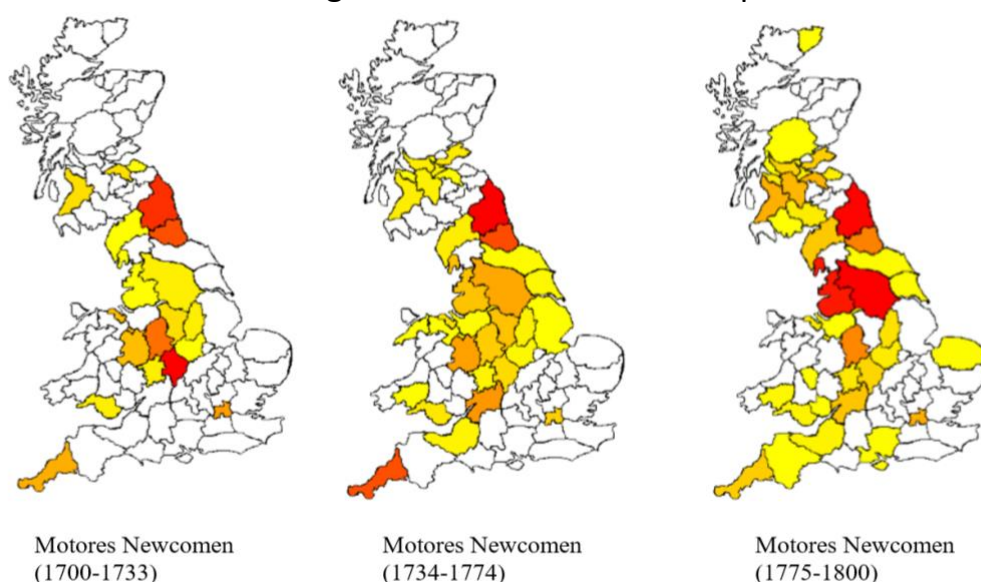
Para comprender mejor los efectos de la automatización en este periodo es imprescindible contextualizar las innovaciones qué más repercusión tuvieron: cuándo ocurrieron, cómo cambiaron la estructura de los trabajos y a qué sectores afectaron. Nuvolari, Verspagen y Tunzelmann (2006) documentan en su artículo algunos de los inventos más importantes. El primer motor a vapor fue desarrollado por Savery con la finalidad de bombear agua y funcionar en todo tipo de molinos que no contaban ni con agua ni vientos constantes. Tuvo lugar en el período 1695-1702, y a pesar de tener un uso práctico durante algunos años, un problema de diseño y el gran consumo de combustible acabaron por limitar severamente su establecimiento. En 1712, la máquina de vapor Newcomen resolvió los problemas de diseño de su antecesor, además de ser robusto y fiable. Gran parte de su éxito residió en su simplicidad y su facilidad de uso. No obstante, también presentaba problemas de temperatura e irregularidades en su movimiento. No fue hasta 1760 cuando James Watt solventó el problema del alto consumo de combustible del motor Newcomen. A lo largo de los siguientes años tuvieron lugar varios inventos que trataron de mejorar las máquinas de entonces. La introducción de manivelas o nuevos engranajes como el “sol y planeta” fueron algunos de ellos. Ya en 1782 Watt inventaba una nueva máquina a vapor de doble acción que convertía el movimiento recíproco en movimiento rotatorio resultando en una máquina mucho más poderosa con unos movimientos más uniformes, lo que lo hizo ser el motor más avanzado hasta entonces.

Los motores Newcomen fueron desplegados inicialmente en las áreas mineras¹⁵ en el periodo entre 1734-1774, seguidos a posteriori por el sector de la siderurgia (Shropshire). Por último, el periodo de 1775-1800 fue caracterizado por la rivalidad entre

¹⁵ Los yacimientos de carbón de los Midlands (Stafford y Warwickshire), noreste (Northumberland, Durham) y en Cornwall (minería de cobre y estaño) fueron la primera ubicación donde los motores de Newcomen penetraron y se establecieron intensamente (Nuvolari, Verspagen y Tunzelmann, 2006).

los motores de Watt y Newcomen, sobre todo, en aquellos condados textiles de algodón (Lancashire y Renfrew) o de lana (Riding). La Revolución Industrial fue un conjunto de acontecimientos que tuvieron lugar principalmente en el norte del país (la figura 6 muestra la introducción geográfica de los motores Newcomen). Por ejemplo, la siderurgia de Carron (que hizo uso de la máquina perforadora de cilindros diseñada por John Smeaton) fue establecida en Stirling en 1760. Esta penetración temprana de la máquina de vapor de Smeaton favoreció una rápida adopción de la máquina de vapor Newcomen en los condados escoceses en los siguientes años de la década (Nuvolari, Verspagen y Tunzelmann, 2006).

Figura 6. Distribución por condados de los motores Newcomen. Los colores más oscuros significan más densidad de máquinas



Fuente: Nuvolari Verspagen & Tunzelmann, 2006.

Los molinos tradicionales también se vieron afectados por esta ola de automatización. Cuando el viento soplaba demasiado fuerte, un mecanismo de calado ajustaba la inclinación de las velas para ajustar la velocidad de giro; no obstante, si aun así el movimiento era demasiado rápido, un aparato levantaba la rueda superior automáticamente evitando así el calentamiento excesivo del grano (Macmillan, 2012).

Estas innovaciones transformaron completamente los trabajos y salarios, así como la estructura social de los trabajadores. Las innovaciones aplicadas a los molinos tradicionales, los cuales adoptaron reguladores automáticos, fueron un claro ejemplo de estos cambios. En 1760 Manchester tenía una población de 17.000. Cuando los avances

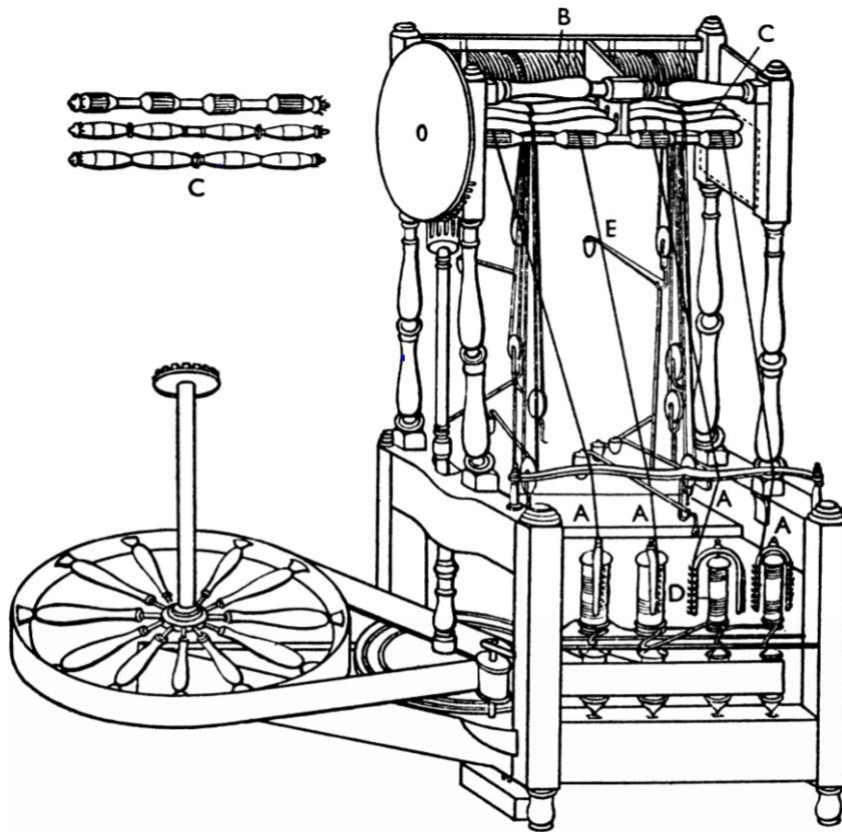
tecnológicos se establecieron, comenzó a darse un cambio estructural en los trabajos. Las personas comenzaron a emigrar del campo a la urbe. De tal manera, alrededor de 1830 la ciudad contaba con 180.000 personas y 50 molinos, la mayoría para usos relacionados con el algodón. Dos décadas más tarde, Manchester acaparaba el 40 por ciento de la producción textil de algodón. Una situación parecida ocurrió con la ciudad de Norwich. En 1752 contaba con 1.000 personas. Cincuenta años después, la población ascendía hasta las casi 40.000 personas. Opuestamente, otras muchas ciudades del sur vieron como sus salarios se estancaban y el desempleo aumentaba, lo que generó movimiento emigratorios y descensos de la población (como es el caso de Worcester) (Clark, 2005b).

En lo relacionado con el sector textil, hasta 1733, el entramado de los hilos de un lado a otro del telar era realizado a mano. Esto tenía serias limitaciones, ya que solo se podía manejar telas inferiores a un metro. Cuando las telas eran superiores, el proceso debía ser realizado por dos costureros. Todo ello se traduce en procesos lentos y costosos.

John Kay, tejedor y mecánico, inventó en 1733 en Yorkshire *la lanzadera voladora* (*The flying shuttle* en inglés). La lanzadera recorría el telar de un lado a otro proyectando desde una especie de caja de lanzamiento el hilo. De esta manera, el tejedor podía trabajar mucho más rápido y con telas de cualquier ancho. Esta máquina no gustó a los tejedores de Yorkshire los cuales temían perder sus empleos. Con el tiempo, la máquina fue bien recibida en Francia y poco después se convirtió en una parte esencial de cualquier telar en Gran Bretaña. En 1738, Lewis Paul (pequeño inventor de la industria de la confección) y John Wyatt (carpintero de barcos) desarrollaron un motor mecánico giratorio sobre rodillos para hilar algodón y lana (Clark, 2005b).

Richard Arkwright patentó en 1769 una máquina de hilado (figura 7) con cuatro pares de rodillos para la confección de hilo a partir de algodón, lino y lana. La innovación de la máquina y los avances que aportaba supusieron una revolución hasta la fecha en el sector textil, ya que aumentó en gran medida la productividad de las tareas y la calidad de los productos. Los fabricantes de Reino Unido se vieron muy favorecidos con las nuevas máquinas. Además, estas necesitaban emplear a un gran número de personas pobres para suplir los nuevos puestos de trabajo que se comenzaron a demandar con lo que el número de empleos comenzó a ascender (Hills, 1970).

Figura 7. Dibujo de la máquina de hilar Arkwright, 1769



Fuente: Hills, 1970.

La aparición efusiva de inventos en el hilado del algodón provocó un gran aumento en la demanda de productos y, por lo tanto, un gran aumento en la demanda de tejedores. En consecuencia, los salarios aumentaron. La escasez de tejedores llevó al Reverendo Edmund Cartwright, con la ayuda de un carpintero y herrero local, a idear un telar motorizado en 1785. Cartwright construyó una pequeña fábrica para sus máquinas en 1787 pero esta fue quemada por una multitud de tejedores descontentos ante la perspectiva de desempleo. En los siguientes treinta años la máquina recibió actualizaciones y mejoras hasta que consiguió extenderse en muchas fábricas. En 1820 había más de 12.000 telares mecánicos, y en 1833, la cifra ascendía hasta los 85.000 telares. Con ello, la máquina había desplazado a casi todos los telares manuales. Esta rápida adopción de los telares mecánicos cambió la estructura del trabajo. Mientras que antes los trabajos textiles eran hechos a mano y requerían de avanzadas habilidades, con la introducción de los nuevos telares un hilador podía hacer tanto trabajo como hacían doscientos mediados del siglo XV. La demanda de trabajadores no cualificados ascendió en las fábricas, lo que llevó a una rápida disminución de los ingresos de los tejedores a

partir de 1815. En 1830 los trabajadores de telares manuales ascendían a 240.000 tejedores, mientras que en 1850 quedaban 43.000 tejedores y ya en 1860, únicamente 10.000 (Clark, 2005b).

4.2. La mecanización de tareas y sus consecuencias durante la Revolución Industrial

4.2.1. Destrucción de tareas y precariedad

Los efectos de la automatización explicados previamente son claramente visibles en el periodo de la Revolución Industrial. La mecanización de tareas supuso la destrucción de algunas de las tareas y trabajos realizadas por artesanos u otro tipo de trabajadores, y el desequilibrio de los salarios de los trabajadores en el corto plazo.

La agricultura fue uno de los sectores de la economía donde más se notaron los cambios tecnológicos que afectaron al empleo. A diferencia de otros sectores, la automatización del sector agrícola se tradujo en una reducción del empleo debido, principalmente, a dos razones. Por un lado, la maquinaria agrícola aumentó la productividad de los trabajos en tal medida que ya no era necesario la utilización de grandes cantidades de mano de obra. Antes de la Revolución, estas tareas eran simples y rutinarias, pero requerían muchas personas para abarcar grandes cantidades de terreno y trabajo. Con la introducción de las máquinas, una pequeña cantidad de trabajadores podía realizar el mismo trabajo que antes logrando el mismo resultado o, incluso, mejor. Por otro lado, la industrialización de las ciudades y el aumento de la demanda de trabajo en otras ocupaciones incentivó la migración de los trabajadores del campo a la ciudad. Además, al estancamiento de los salarios reales, a diferencia de los manufactureros, cada vez se hizo más notable. La brecha entre los salarios agrícolas y los salarios urbanos en Inglaterra entre 1770 y 1869 se fue ensanchando rápidamente (Clark, 2001).

La tabla 2 resalta el descenso del número de trabajadores en las diferentes tareas agrícolas¹⁶. Además, los salarios reales agrícolas, representados en la figura 8, muestran un aumento mínimo o prácticamente plano en los años tempranos de la Revolución

¹⁶ Los datos obtenidos de la tabla 5 no son completos. Se muestra la cantidad de empleo en las diferentes tareas agrícolas. Los datos correspondientes a los agricultores y labradores en 1688 y 1700 escaseaban o conducían a demasiado error, por lo que fueron descartados por Lindert.

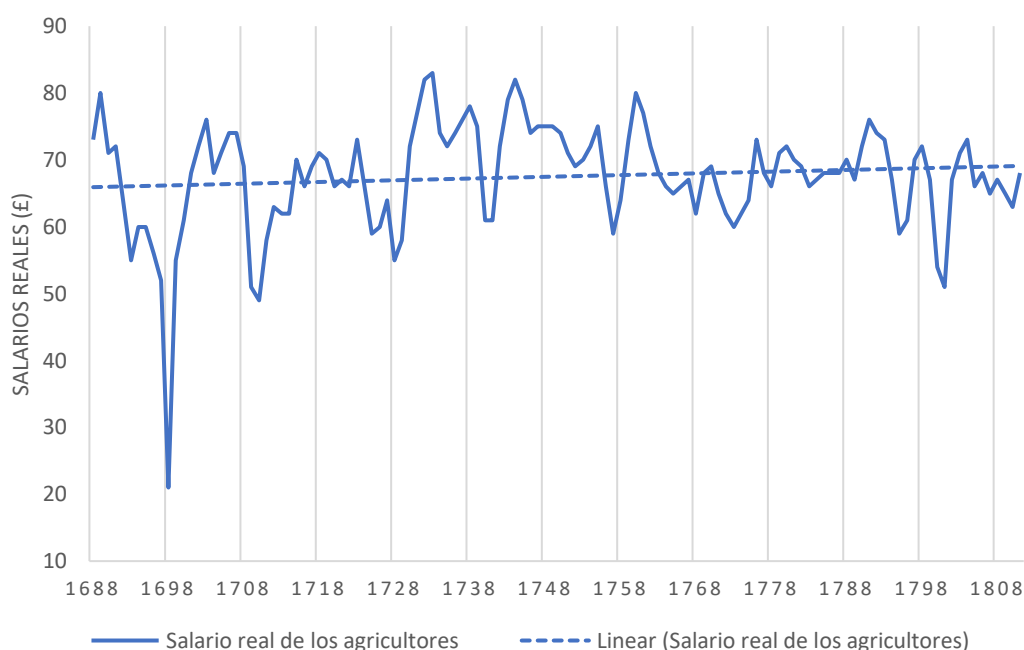
Industrial¹⁷. En nivel de vida de los agricultores no varió prácticamente nada desde mediados del siglo XVIII hasta principios del XIX.

Tabla 2. Empleos de la agricultura en Inglaterra y Gales en el periodo 1670-1811

	1688	1700	1740	1755	1801-1803	1811
Agricultura	241.373	285.210	386.976	379.008	176.865	315.616
Agricultores			128.087	110.122	48.352	91.642
Pequeño Terrateniente	92.611	111.136	118.171	65.480	5.444	39.307
Labrador			80.030	33.382	62.357	78.565
Otros	148.762	174.074	59.688	170.024	60.712	106.102

Fuente: Lindert, 1980

Figura 8. Salarios reales de los agricultores en Inglaterra en el periodo 1688-1811



Fuente: Clark, 2008

Así mismo, las artesanías manufactureras corrieron con el mismo destino. El rápido crecimiento de la industria, el crecimiento de la población urbana y la depresión agraria conllevaron a la destrucción de muchos de estos empleos, principalmente los pequeños productores de textil. La industria se reorganizó en un sistema de fábricas,

¹⁷ En algunos casos más extremos, como ocurrió en las regiones del sur del Reino Unido, los salarios reales llegaron a disminuir (Clark, 2001).

produciendo artículos de mejor calidad y más flexibles ante cambios repentinos en la elaboración (Eccleston, 1976, pp. 46-47). Esta tendencia se fue extendiendo hasta mediados del siglo XIX, cuando la artesanía se había extinguido casi por completo. Los resultados de estos sucesos se reflejaron en el rápido aumento de las tasas de pobreza durante las tres primeras décadas del siglo diecinueve y las continuas revueltas y disturbios políticos en ciudades como Nottingham y Leicester, donde más de la mitad de las fuerzas laborales estaban involucradas en el comercio de textil (Eccleston, 1976, p. 47). Fue a partir de 1830 cuando los ingresos reales de los nuevos puestos de trabajo comenzaron a alzarse de forma sostenida, de modo que ya en la década de 1850, los salarios reales aumentaron. Véase los salarios de los trabajadores agrícolas, los cuales aumentaron en un cincuenta por ciento en comparación con los salarios de la década de 1770 (Clark, 2001).

4.2.2. Efecto de productividad y creación de nuevas tareas

Los avances tecnológicos que tuvieron lugar en la segunda mitad del siglo dieciocho y durante todo el siglo siguiente transformaron el empleo de una forma nunca vista hasta la fecha. La automatización de tareas (previamente realizadas por artesanos expertos) permitió el desarrollo de nuevas tareas y técnicas de trabajo más simples y fáciles de llevar a cabo. De esta forma muchas personas poco cualificadas pudieron comenzar a trabajar en estas tareas. No obstante, algunos artesanos (personas muy cualificadas que perdieron sus trabajos tradicionales por la automatización) tuvieron la capacidad de adaptarse a los cambios y “crear” nuevas tareas a medida que la industria las iba demandando. De tal forma, algunos ingenieros, carpinteros, molineros o de la industria siderúrgica comenzaron a diseñar y a inventar motores y máquinas. El resultado de dichos eventos deparó en un mercado caracterizado por tecnología puntera diseñada por unos pocos trabajadores muy cualificados y utilizada por una gran mayoría poco cualificada.

Este aumento de maquinaria tuvo dos efectos positivos en el mercado laboral: el *efecto de productividad* y la *creación de nuevas tareas*. Por una parte, las máquinas hicieron más eficientes los procesos productivos y redujeron costes de producción de tal manera que la demanda de bienes y servicios aumentó. Esto resultó en un incremento de la demanda de trabajo de otras industrias donde había menos (o ninguna) automatización. Aquellas áreas donde la producción de manufacturas floreció y aumentó, reactivó la

economía general, aumentando también el precio de la mano de obra de otras tareas no automatizadas. Por tanto, la mecanización industrial y agrícola elevaron (en el largo plazo) incluso los ingresos de aquellas familias que trabajaban en tareas que estaban siendo automatizadas, como es el caso de la agricultura (Gilbay, 1934).

El *efecto de productividad* repercutió prácticamente a todos los sectores. Por ejemplo, la automatización del hilado mediante de la máquina de hilar incrementó la productividad de esta tarea, reduciendo costes y aumentando su eficacia y eficiencia. Con este aumento de la producción, el resto de las tareas complementarias del oficio dieron lugar un cuello de botella, ya que o bien el eslabón siguiente recibían más elementos de producción de los que podía procesar, o bien el eslabón anterior no ofertaba los productos necesarios para el siguiente. Así, la demanda de mano de obra de oficios como tejedores, agricultores de algodón, ganaderos de oveja lanera, vendedores de textil, etc. se vio repercutida de forma positiva (Mantoux, 1928). De igual modo, el aumento de la mano de obra infantil está apoyado en un aumento de la demanda de trabajo en minas y el sector textil (Humphries, 2010). Algo parecido ocurrió en los Estados Unidos con la mano de obra esclava negra en las plantaciones del sur. La mecanización de algunas de las tareas relacionadas con el algodón aumento la demanda de más trabajadores para las plantaciones y el resto de las tareas (Rasmussen, 1982). El sector el sector de la construcción también se vio afectado por la industrialización. El aumento de la población y la demanda de mano de obra común en las ciudades crecieron rápidamente a partir de la segunda mitad del siglo dieciocho. La cada vez mayor demanda de trabajos industriales causó grandes diferencias entre los salarios agrícolas e industriales, lo que suscitó a la migración hacia las ciudades y áreas industriales, por lo que se comenzó a demandar nuevos edificios de viviendas y de fábricas. Este suceso incrementó la demanda de puestos de construcción y mantenimiento de casas, fábricas, carreteras, etc. (Lindert, 1980), especialmente en la zona norte de Gran Bretaña.

Por una parte, las áreas del norte de Inglaterra atrajeron a gran cantidad de mano de obra que se fueron asentando en los centros industriales. Asimismo, la gran extensión de este territorio y el número elevado de ríos y montañas exigían la construcción de una nueva red de carreteras y puentes que conectase las nuevas zonas urbanas con las rurales, dando como resultado mayores oportunidades de comercio. Es por ello por lo que desde la segunda mitad del siglo dieciocho comenzaron a surgir muchos proyectos de ley para el trabajo extensivo y mantenimiento de los puentes y carreteras en estos condados. Tal circunstancia demandó una numerosa cantidad de obreros y jornaleros de oficio a tiempo

completo. Tal fue el crecimiento de la demanda de trabajadores de obra que en algunos condados como North Riding se dieron casos donde ciertos agricultores dedicaban parte del año a su trabajo principal y otra parte lo destinaban a trabajos relacionados con la construcción (Gilbay, 1934). Este incremento de la demanda de empleos de construcción es visible en la tabla 3.

Como indica Gilbay en su artículo (1934) los salarios de los constructores de puentes y de edificios subieron de forma constante durante la segunda mitad del siglo XVIII. Los salarios de los constructores de puentes en 1750 fueron de entre 8 pence (d) y 1 shilling (s). En 1765 subieron a los 1s. de salario mínimo; 1s.2d en 1770; y en las dos siguientes décadas un aumento progresivo a 1s.4d., 1s.6d., 1s.7d. y 1s.8d. En el caso de la construcción general, las tendencias son parecidas. A pesar de que el salario descendió en la década de 1780 hasta los 1s.2d y 1s.4d, a finales de siglo aumentó hasta 1s.8d¹⁸.

Tabla 3. Empleos de construcción en Inglaterra y Gales en el periodo 1670-1811.

	1688	1700	1740	1755	1801-1803	1811
Oficios de Construcción	77.323	128.785	122.529	111.577	209.749	240.442
Carpintero	46.078	59.950	33.911	42.375	110.089	133.029
Albañil	22.155	34.071	65.997	50.774	98.078	88.703
Otros	8.999	34.764	22.621	18.328	1.582	18.710

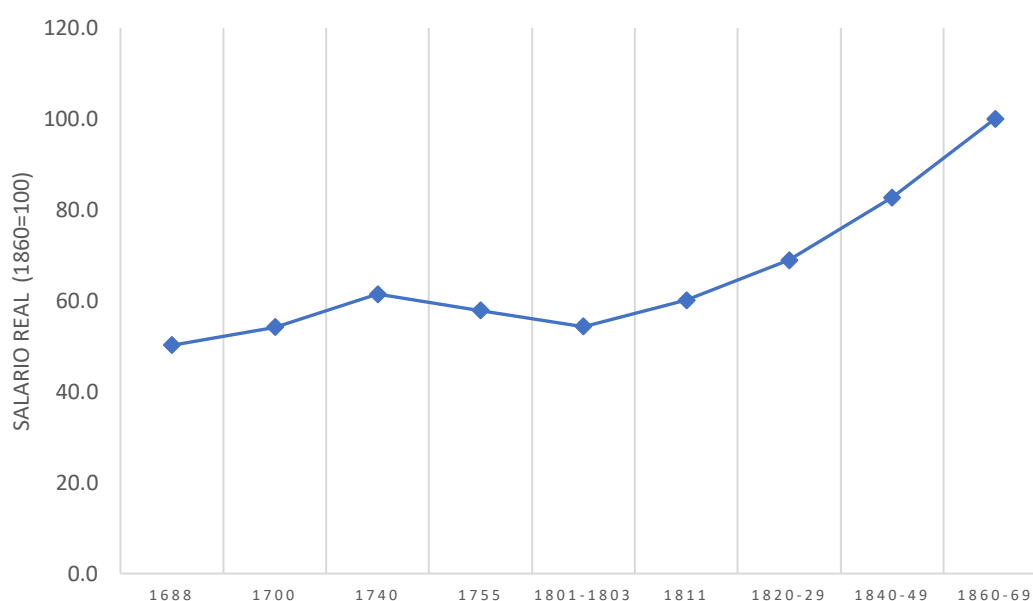
Fuente: Lindert, 1980

Por otra parte, la innovación tecnológica creó una gran diversidad de nuevos puestos de trabajo que demandaban grandes cantidades de empleados. Oficios como el de ingeniero, maquinista, reparador, conductor, trabajador de oficina y gerentes involucrados en nuevas tecnologías nunca habían sido vistos anteriormente (Mokyr, 1990). Las industrias manufactureras y de servicios fueron los sectores que más crecieron en número de trabajadores (figura 12). Por el contrario, las ocupaciones que más se contrajeron a causa de la destrucción de empleo por la automatización fueron aquellos trabajos de bajos ingresos y dependientes: jornaleros, aprendices, sirvientes y personas desfavorecidas y sin recursos y jubiladas (Lindert, 1980).

¹⁸ La tendencia de las tasas de construcción, de 1778 a 1800, son casi las mismas que las de los salarios de las obras viales durante el período de 1760 a 1786 (Gilbay, 1934). Esto se debe a que la población comenzó a crecer a ritmos agigantados a finales del siglo dieciocho.

El sector textil acaparó la creación de una gran cantidad de nuevas tareas. El aumento de la población y de las exportaciones a las Indias junto a los avances técnicos de las máquinas de hilar suscitaron la creación de nuevos trabajos, así como la aparición de nuevas tecnologías que incentivaban aún más la *profundización de la automatización*. Desde la década 1770 los tejedores manuales de algodón fueron uno de los oficios más comunes en los textiles, pero la introducción de nueva maquinaria a principios del siglo XIX hizo desaparecer por completo estas tareas (Bythell, 1969) creando un nuevo abanico de puestos de trabajos nunca vistos hasta entonces. La tabla 4 muestra como los empleos relacionados con la manufacturación aumentaron progresivamente, encabezados por los trabajos textiles. Los avances tecnológicos de la segunda mitad siglo XVIII (especialmente aquellos referidos al hilado, como la máquina que ideó Arkwright) aumentaron el número de tejedores en un factor de cuatro (Lindert, 1980). Dicho aumento conllevó también un aumento de los salarios en los condados del norte del país, en parte, debido a la proximidad de las empresas manufactureras y mineras (Gilbay, 1934).

Figura 9. Salarios de los constructores en Inglaterra en el periodo 1688-1869.



Fuente: Clark, 2001

Tal fue el incremento de la productividad de algunas tareas que estas comenzaron a generar cuellos de botella en tareas previas o posteriores de la cadena de producción, es decir, una tarea no automatizada produce más lento que otra tarea de la cadena de producción la cual ha sido automatizada. Las primeras tareas en verse afectadas por la

automatización estaban relacionadas con el hilado y el tejido, sustituyendo y mecanizando aquellos procesos realizados por artesanos expertos (Mantoux, 1928). La automatización en el tejido abarató la producción del hilo aumentó el precio de este y la demanda de la tarea complementaria de hilado. La automatización posterior en el hilado invirtió esta tendencia y aumentó la demanda de tejedores. La máquina de hilar causó que el resto de las tareas necesitasen más trabajadores en todas las demás ramas de la cadena: tejedores, esquiladores, peinadores... como se puede ver en la tabla 4 (Rasmussen, 1982).

Tabla 4. Empleos de manufacturación en Inglaterra y Gales en el periodo 1670-1811.

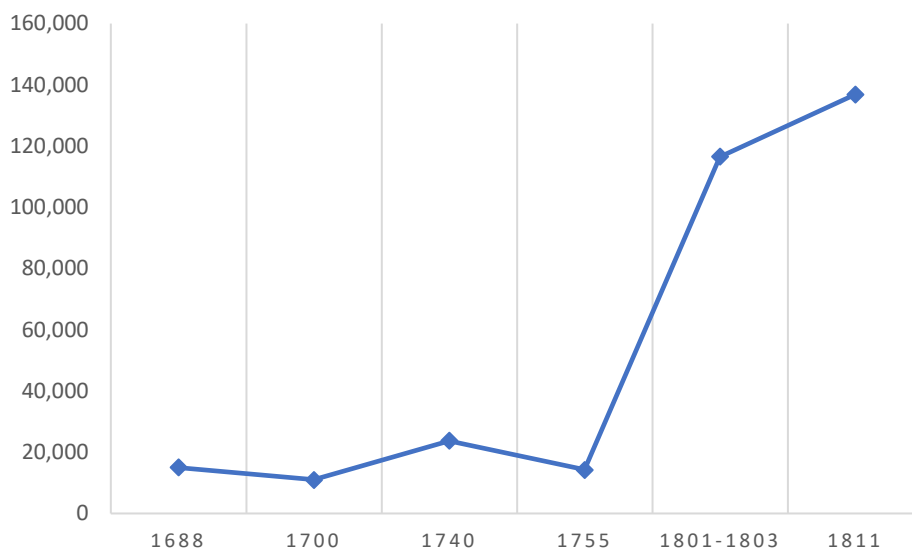
	1688	1700	1740	1755	1801-1803	1811
Manufacturación	179.774	155.478	235.060	240.475	323.798	328.401
Fabricante	7.143	1.344			6.634	1.248
Oficios Textiles	34.504	47.331	64.833	39.506	160.244	157.079
Tejedor	23.647	22.505	46.350	32.047	94.519	106.592
Sastre	9.385	10.024				
Otros	1.471	14.803	18.532	7.459	65.725	50.487
Zapatero	22.747	15.626	49.729	21.088	40.380	33.200
Otros	115.381	91.177	120.449	179.881	116.540	136.874

Fuente: Lindert, 1980

La minería fue otro de los sectores clave que también se vio afectado directamente por la industrialización; no obstante, esto no tuvo lugar hasta entrada la década de 1760. Este sector experimentó un rápido crecimiento de empleo a partir de la introducción de máquinas que automatizaron muchas de las tareas manuales tradicionales. Este aumento del sector se debió específicamente al *efecto de la productividad*. El aumento de la demanda urbana de carbón para usos domésticos y empresariales, la demanda de materias primas para la construcción de nueva maquinaria, sumado a la reducción de costes de transporte y extracción y la disminución de los impuestos incentivó la creación de muchos puestos de trabajo. Estos podían ir desde simples trabajos manuales como el de minero a trabajos más técnicos como el de conductor de una locomotora de vapor para el transporte del carbón, el responsable de mantenimiento de las máquinas, los responsables del bombeo de agua hacia las minas usando bombas de vapor, etc. El aumento de la demanda de trabajadores en el sector de la minería impulsó un aumento de los salarios de los

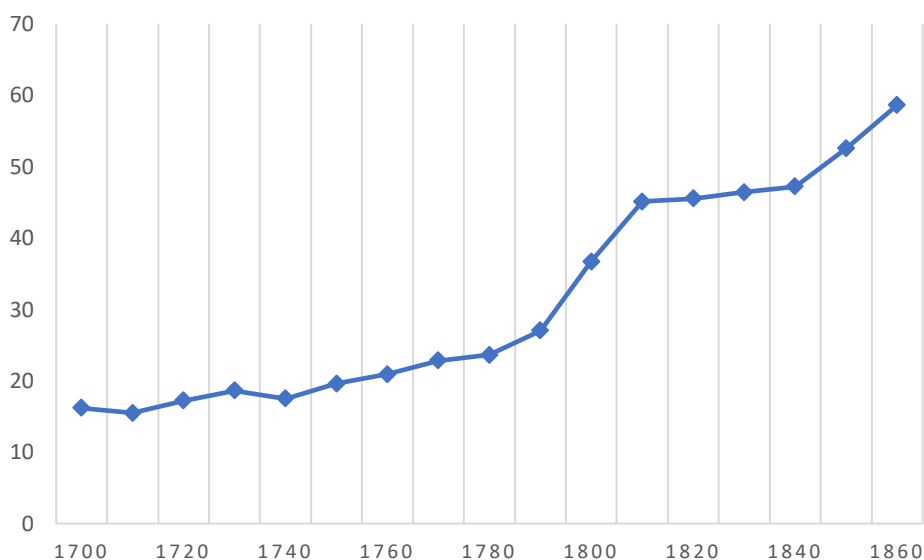
empleados de las minas. Estos subieron considerablemente a partir de la década de 1790 (Figura 11), coincidiendo justo la demanda de materia prima para uso particular e industrial y la reducción de costes a consecuencia de las innovaciones técnicas.

Figura 10. Empleos de minería en Inglaterra y Gales en el periodo 1670-1811



Fuente: Lindert, 1980

Figura 11. Salarios estimados en las minas del norte de Inglaterra. 1700-1860. (d./día)



Fuente: Clarck & Jacks, 2007b

4.2.3. Aumento de la productividad de las tareas

Uno de los motivos principales de que la mecanización de tareas tuviese éxito fue gran incremento de la productividad. Las máquinas podían trabajar muchas horas seguidas de forma más rápida y de forma más eficientes. Salvando las primeras etapas, donde las máquinas solían tener muchos fallos, a medida que estas fueron actualizándose y mejorando, la productividad y los resultados de las fábricas fueron creciendo exponencialmente. De este modo, el sector textil reflejó una rápida mejora de la productividad con la introducción de maquinaria de hilado. Véase el caso de un artesano productor de camisas de algodón en las etapas anteriores a la Revolución Industrial. Esta persona trabaja cerca de 1400 horas en un total de 25 tareas diferentes para producir una cantidad total de 144 camisas. Gracias a las hiladoras y otros avances técnicos, las fábricas producían la misma cantidad de camisas en 188 horas/hombre necesitando un total de 230 trabajadores, realizando un total de 39 tareas (la mitad hacía uso de la potencia con motores de vapor). Estas nuevas tareas de trabajo involucraban ocupaciones en cortadores, torneros y recortadores, así como capataces, inspectores, mensajeros, un ingeniero, un bombero y un vigilante (Departamento de Trabajo de los Estados Unidos, 1899. Benedikt & Osborne, 2013).

Tabla 5. Recursos necesarios para un artesano y una fábrica para producir un total de 144 camisas

Trabajo	Número de trabajadores	Número de tareas distintas	Horas / hombre
Artesano	1	25	1400
Fábrica	230	39	230

Fuente: Benedikt & Osborne, 2013).

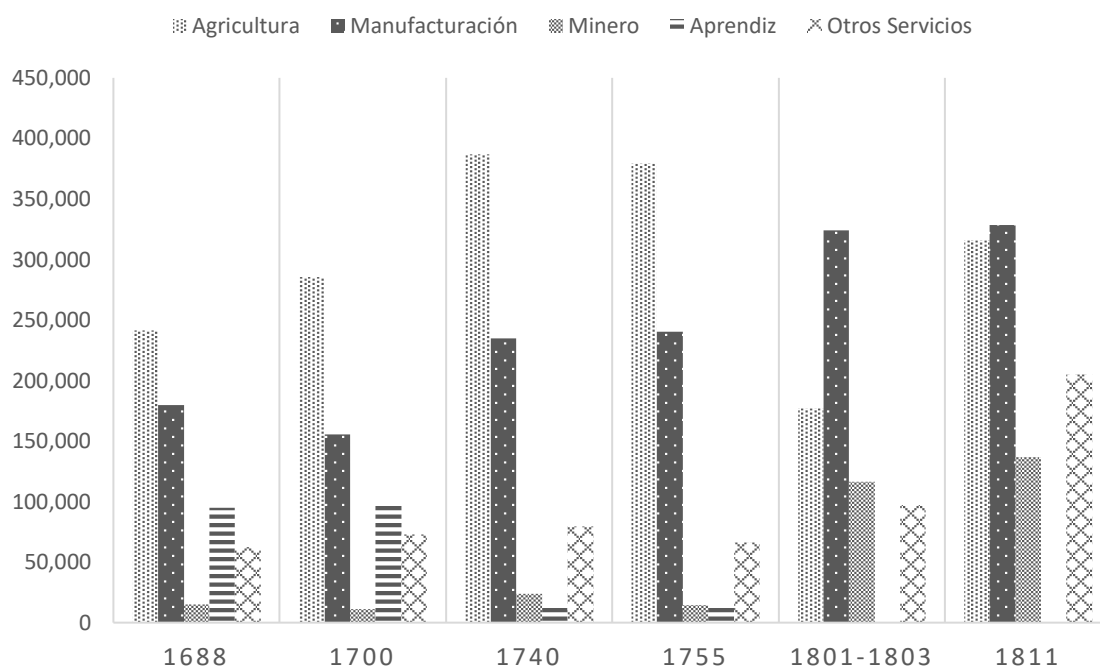
En el caso de las minas, la introducción de los motores de vapor que servían para extraer agua y minerales de las canteras aumentaron del mismo modo la productividad. La minería de carbón aumentó del 14 %, mientras que la productividad total de los factores¹⁹ en la fabricación de hierro y acero aumentó alrededor del 9 % anual en la década de 1860 (Clark & Jacks, 2007b, p. 62). La reducción de estos costes son la consecuencia

¹⁹ Como comenta Clark & Jacks (2007b), la tasa de crecimiento de la productividad agregada de una economía es la suma de las tasas de crecimiento de la productividad de cada sector, ponderada por la proporción de la producción de ese sector en el PIB.

de las mejoras en la eficacia y eficiencia de los medios de extracción y de transporte. De esto se puede derivar que la producción de estas materias primas en 1750 (y décadas posteriores) habría sido muy superior de no haber sido por los altos costes del momento.

En general, la mayoría de las industrias vieron aumentar sus niveles de producción de forma drástica. En una primera etapa de la revolución (1770-1815) las productividades de las industrias crecieron por lo general entre un 40 y un 200 %, mientras que en el periodo de 1815 y 1841, esta aumentó entre un 33 y un 150. No obstante, hubo industrias en las que la productividad creció de forma exponencial a ritmos nunca vistos hasta la fecha. Este fue el caso de la industria de algodón, que aumentó un 2.200 % en el primer período y un 400 % en el segundo. La producción de hierro también se vio afectada, ya que los niveles de producción aumentaron un 350 % en la primera etapa y un 250 % en la segunda (Harley, 1982, p. 268).

Figura 12. Ocupaciones realizadas por hombres en Inglaterra y Gales en el periodo 1670-1811.



Fuente: Lindert, 1980

4.2.4. Reasignación de habilidades, polarización y desigualdad

La automatización de las viejas tareas y la aparición de nuevas, basadas en la maquinaria a vapor, sugiere un aumento de la desigualdad a corto y medio plazo entre las clases altas y las clases medias/bajas durante la primera mitad del siglo XIX. Muchos de los nuevos trabajos, aunque no requerían habilidades avanzadas, demandaban unas

habilidades concretas para la realización de las nuevas tareas. Muchas personas no pudieron adquirir dichos conocimientos de forma fácil. Esto era debido a la falta de recursos y educación, o bien porque la industrialización no creó nuevas tareas en sus áreas geográfica²⁰. Como comenta Mokyr (2001), “*James Watt trabajó en la planta de Boulton en el Soho y supervisó personalmente la producción de motores. En una época en la que existían pocas alternativas al intercambio de información, este contacto directo era inevitable si la empresa iba a practicar una división de conocimientos*”. No fue hasta pasadas más de cuatro décadas cuando los empleos empezaron a casar sus habilidades y conocimientos con las demandas de la industria. Los datos evidencian que el desempleo entre los trabajadores no agrícolas fue menos del 9,4 por ciento en las décadas de 1840 y 1850, mientras que el desempleo entre los trabajadores agrícolas no creció más. Además, el aumento neto del desempleo no superó el 7,37 por ciento (e incluso pudo disminuir). No obstante, la mano de obra británica dedicada a la agricultura se redujo del 28 % en 1821 al 21 % en 1851 (Lindert, 1983, p. 16). Esto arroja luz a un reentrenamiento y reasignación de los trabajadores agrícolas u otros sectores en declive, muchos de los cuales emigraron del mundo rural a la urbe en busca de nuevas oportunidades en la nueva industria manufacturera o en la minería.

Este lento ajuste entre demanda y oferta de habilidades junto a la aceleración del progreso técnico en los inicios del siglo diecinueve que aumentó la participación del capital incentivó una desigualdad y polarización en la sociedad. A pesar de que las tasas de beneficio de las fábricas se duplicaron, la baja elasticidad de la sustitución entre capital y mano de obra y el estancamiento de los salarios reales incentivaron esta polarización (Allen, 2007). Cuando a mediados del siglo XIX los trabajadores comenzaron a cualificarse (adquiriendo las habilidades necesarias para los nuevos empleos), la desigualdad empezó a disminuir, reduciéndose la cantidad de empleos de baja cualificación (dominada por los empleados domésticos) a diferencia de los de alta cualificación, que no dejaron de crecer a medida que la tecnología se iba sofisticando (tabla 6). Las ganancias salariales medias se vieron afectadas del mismo modo con mayores crecimientos (Lindert & Williamson, 1983).

²⁰ La mayor parte del aprendizaje de los nuevos oficios se hacía in situ en las fábricas o talleres.

Tabla 6. Clasificación de las habilidades en porcentaje de hombres ingleses en 1841.

Clasificación	Censo inglés 1841
Profesional	1,7
Trabajador medio	9,2
Cualificado	47,9
Semicualificado	25,7
No Cualificado	15,5

Fuente: Censo, Parliamentary Papers. Nicholas, S. J., & Nicholas, J. M. (1992).

A pesar de que la industrialización y la automatización de tareas conllevaron la creación de muchos puestos de trabajo la población no experimentó una mejora en los estándares de vida hasta finales del siglo XIX. Los salarios reales comenzaron a crecer realmente en este siglo (no así en el dieciocho), y no fue hasta 1850 cuando se duplicaron respecto a los salarios del siglo anterior (Escudero, 2002, p. 21). Además, la introducción de nueva maquinaria, el carbón y otros elementos insalubres, así como el aumento de las horas de trabajo, la discriminación a la mujer y la gran cantidad de niños empleados en las minas y otros trabajos son indicadores de la gran desigualdad vivida durante la Revolución Industrial y que los niveles de vida de los obreros los cuales, seguramente, descendieron significativamente en un principio respecto a la vida rural de las anteriores décadas (Escudero, 2002, pp. 41-42). Como indica Escudero, el descenso de la estatura media de los trabajadores y las diferencias sociales arrojan luz a una gran desigualdad social y, a pesar del incremento de la productividad y de los empleos, los beneficios del crecimiento económico traídos por la Revolución Industrial no fueron percibidos directamente hasta cien años después, en términos de nivel de vida, cuando los capitalistas comenzaron a invertir parte de los ingresos en fines sociales, lo que finalmente se tradujo en un aumento de los salarios reales (Allen, 2007).

5. Conclusiones

En este trabajo se analizan los efectos de la automatización y la Inteligencia Artificial en la economía y, en concreto, en el mercado laboral y los salarios. Para llevar a cabo dicho estudio se ha presentado un marco conceptual de los economistas Acemoglu y Restrepo, el cual ha sido sometido a un análisis desde una perspectiva de largo plazo,

utilizando una metodología aplicada. Adicionalmente, se ha recopilado información de la Revolución Industrial sobre los empleos y se ha comprobado que los modelos económicos pertinentes a la automatización se cumplen respecto a los precedentes históricos.

En primer lugar, el modelo presentado está basado en las tareas y la automatización de estas, es decir, la sustitución de la mano de obra por máquinas. La automatización tiene como efecto inmediato la reducción de la demanda de mano de obra, llamado este, efecto de desplazamiento. Este efecto es contrarrestado por unas fuerzas compensatorias surgidas a raíz de la reducción de los costes de producción. Son el efecto de productividad, acumulación de capital y profundización de la tecnología. Adicionalmente, existe otra fuerza, la creación de nuevos puestos de trabajo, que equilibra más aún el mercado laboral, el cual ha sido repercutido por las consecuencias de la automatización. Esta fuerza reestablece el empleo y aumentan las tareas intensivas en mano de obra.

Es importante resaltar que la automatización y la creación de nuevas tareas puede suponer un proceso de reasignación lento y costoso para los trabajadores. La búsqueda de nuevos trabajos siempre supone tiempo y las imperfecciones del mercado laboral pueden agravar dicha situación. Además, las nuevas tareas requieren nuevas habilidades, pero los rápidos avances de la tecnología y la lenta capacidad de adaptación de la educación producen un desajuste entre las competencias enseñadas y las requeridas por el mercado.

Adicionalmente, se ha visto que la Inteligencia Artificial y la automatización también tienden a aumentar la desigualdad. Los trabajadores que más afectados se ven son los que cuentan con habilidades medias. Esto se debe a que los trabajos que desempeñan suelen ser, por lo general, simples y rutinarios, por lo que son mucho más susceptibles a la automatización. Esto generará una deriva de trabajadores hacia otros nuevos trabajos. Si estos trabajadores consiguen adquirir las habilidades necesarias de alta competencia podrán aspirar a mejores trabajos, más cualificados y con salarios más altos. Sin embargo, si se diese la situación contraria, los trabajadores terminarían por trabajar en empleos poco cualificados no rutinarios, los cuales cuentan con unos salarios inferiores y, habitualmente, estancados. Por tanto, cuanto más amplio sea el desajuste entre capacidades requeridas y enseñadas, unido a un injusto reparto de los ingresos reales resultante de la automatización en manos de un segmento reducido de la población, desembocará en un debilitamiento de las fuerzas compensatorias las cuales podrían

funcionar mucho más lentamente. En tal caso, la desigualdad entre trabajadores aumentaría e, incluso, ralentizaría la creación de nuevas tareas.

El análisis de este trabajo muestra que a diferencia de los siglos XVIII y XIX donde la automatización favoreció a los trabajadores poco cualificados, en el siglo XX y XXI el impacto de la automatización ha alterado la demanda de mano de obra, ahora fomentando las tareas muy cualificadas. Como señala Acemoglu (2002, p. 7): "la idea de que los avances tecnológicos favorecen a los trabajadores más cualificados es un fenómeno del siglo veinte".

Teniendo en cuenta los rápidos y profundos avances de la tecnología, será importante que los Estados y el sector privado tomen conciencia de la importancia que supone entrenar a las próximas generaciones de trabajadores con aquellas habilidades necesarias para poder desempeñar los nuevos trabajos y así beneficiarse de la tecnología, en vez de temerla y rechazarla. De tal manera, será importante mejorar la información sobre los tipos de conocimientos que configurarán a las nuevas tecnologías y empleos. Además, será imprescindible modificar las políticas económicas para crear un modelo donde la prosperidad obtenida de las ganancias generadas por la IA sea compartida equitativamente entre todos los sectores de la sociedad; se lleve a cabo una mejor gestión de las habilidades y talentos; exista una mayor colaboración entre las empresas, Estados, centros educativos y la sociedad en general.

Por último, la historia de la automatización muestra (a partir de los datos recogidos para esta investigación) que la mecanización de tareas tiende a tener un efecto más positivo sobre el empleo y los salarios en el largo plazo que en el corto, ya que el capital se acumula lentamente ante el aumento de la demanda de este. Igualmente, los trabajadores acaban adaptándose a los cambios del mercado laboral y la tecnología, reentrenándose y adquiriendo las habilidades requeridas para ser reasignados en las nuevas tareas. Dicha situación desemboca en un aumento de los salarios y la productividad, así como del bienestar común, reduciendo la desigualdad entre los trabajadores.

6. Bibliografía

Acemoglu, D. (2010). Theory, general equilibrium, and political economy in development economics. *Journal of Economic Perspectives*, 24(3), 17-32.

Acemoglu, D., & Autor, D. (2011). Skills, tasks and technologies: Implications for employment and earnings. In *Handbook of labor economics* (Vol. 4, pp. 1043-1171). Elsevier.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2017a). Robots and jobs: Evidence from US labor markets.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2017b). Low-skill and high-skill automation. *Journal of Human Capital*, 12(2), 204-232.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018a). *Artificial Intelligence, Automation and Work* (No. w24196). National Bureau of Economic Research.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018b). *Automation and New Tasks: The Implications of the Task Content of Technology for Labor Demand*. MIT mimeo November 2018, forthcoming in the *Journal of Economic Perspectives*.

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018c). The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. *American Economic Review*, 108(6), 1488-1542.

Allen, R. C. (2007). Pessimism Preserved: Real Wages in the British Industrial Revolution.

Arntz, M., Gregory, T., & Zierahn, U. (2016). The risk of automation for jobs in OECD countries.

Autor, D. (2010). The polarization of job opportunities in the US labor market: Implications for employment and earnings. *Center for American Progress and The Hamilton Project*, 6.

Bythell, D. (1969). handloom weavers.

Bessen, J. (2015). Trabajo y tecnología: la innovación tecnológica desplaza a los trabajadores hacia nuevos empleos, mas no los reemplaza totalmente. *Finanzas y desarrollo: publicación trimestral del Fondo Monetario Internacional y del Banco Mundial*, 52(1), 16-19.

Bodanza, G. A. (2015). La argumentación abstracta en Inteligencia Artificial: problemas de interpretación y adecuación de las semánticas para la toma de decisiones. *THEORIA. Revista de Teoría, Historia y Fundamentos de la Ciencia*, 30(3), 395-414.

Bowles, J. (2014). The computerisation of European jobs. *Bruegel, Brussels*. Recuperado de <http://bruegel.org/2014/07/the-computerisation-of-european-jobs/>.

- Ciocarlie, M., Hsiao, K., Jones, E. G., Chitta, S., Rusu, R. B., & Șucan, I. A. (2014).** Towards reliable grasping and manipulation in household environments. In *Experimental Robotics* (pp. 241-252). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Clark, G. (2001).** Farm wages and living standards in the industrial revolution: England, 1670–1869. *The Economic history review*, 54(3), 477-505.
- Clark, G. (2005a).** The condition of the working class in England, 1209–2004. *Journal of Political Economy*, 113(6), 1307-1340.
- Clark, G. (2005b).** The British Industrial Revolution, 1760–1860. *World Economy History*.
- Clark, G. (2007a).** The long march of history: Farm wages, population, and economic growth, England 1209–1869 1. *The Economic History Review*, 60(1), 97-135.
- Clark, G., & Jacks, D. (2007b).** Coal and the industrial revolution, 1700-1869. *European Review of Economic History*, 11(1), 39-72.
- David, H., & Dorn, D. (2013).** The growth of low-skill service jobs and the polarization of the US labor market. *American Economic Review*, 103(5), 1553-97.
- Dobbs, R., Manyika, J., & Woetzel, J. (2015).** The four global forces breaking all the trends. *McKinsey Global Institute*, 1-5.
- Eccleston, B. (1976).** *A survey of wage rates in five Midland counties, 1750-1834* (Doctoral dissertation, Historical Studies).
- Eden, M., & Gagli, P. (2015).** *On the welfare implications of automation*. The World Bank.
- Escudero, A. (2002).** Volviendo a un viejo debate: el nivel de vida de la clase obrera británica durante la Revolución Industrial. *Revista de Historia Industrial*, (21), 13-60.
- Ford, M. (2015).** *The rise of the robots: Technology and the threat of mass unemployment*. Oneworld Publications.
- Gilbay, E. W. (1934).** *Wages in eighteenth century England*. Harvard University Press, Cambridge.
- Harley, C. K. (1982).** British industrialization before 1841: Evidence of slower growth during the Industrial Revolution. *The Journal of Economic History*, 42(2), 267-289.
- Hartwell, R. M. (2017).** Economic Growth in England Before the Industrial Revolution. In *The Industrial Revolution and Economic Growth* (pp. 21-41). Routledge.

- Hartwell, R. M. (1971).** *The industrial revolution and economic growth*. Routledge.
- Hills, R. L. (1970).** Sir Richard Arkwright and his patent granted in 1769. *Notes Rec. R. Soc. Lond.*, 24(2), 254-260.
- Humphries, J. (2010).** *Childhood and child labour in the British industrial revolution*. Cambridge University Press.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014).** Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239-242.
- Lindert, P. H. (1980).** English Occupations, 1670–1811. *The Journal of Economic History*, 40(4), 685-712.
- Lindert, P. H., & Williamson, J. G. (1983).** English workers' living standards during the industrial revolution: a new look. *The Economic History Review*, 36(1), 1-25.
- Macmillan, R. H. (2012).** *Automation, Friend Or Foe?* Cambridge University Press.
- Mantoux, P. (2013).** *The industrial revolution in the eighteenth century: An outline of the beginnings of the modern factory system in England*. Routledge.
- Mokyr, J. (2001, December).** The Rise and Fall of the Factory System: Technology, firms, and households since the Industrial Revolution. In *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* (Vol. 55, No. 1, pp. 1-45). North-Holland.
- Nedelkoska, L., & Quintini, G. (2018).** Automation, skills use and training.
- Nicholas, S. J., & Nicholas, J. M. (1992).** Male Literacy, "Deskilling," and the Industrial Revolution. *The Journal of Interdisciplinary History*, 23(1), 1-18.
- Nuvolari, A., Verspagen, B., & von Tunzelmann, N. (2006).** 8. The diffusion of the steam engine in eighteenth-century Britain. *Applied evolutionary economics and the knowledge-based economy*, 166.
- Petropoulos, G. (2018).** The impact of artificial intelligence on employment. *Praise for Work in the Digital Age*, 119.
- Pissarides, C. A. (2000).** *Equilibrium unemployment theory*. MIT press.
- Rasmussen, W. D. (1982).** The mechanization of agriculture. *Scientific American*, 247(3), 76-89.
- Rußmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015).** Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9.

Scopelliti, D. (2014). Middle-skill jobs decline as US labor market becomes more polarized. *Monthly Labor Review*.

Scott, C. L. (2015). El futuro del aprendizaje 2 ¿Qué tipo de aprendizaje se necesita para el siglo XXI?

Sheridan, T. B. (2002). *Humans and automation: System design and research issues*. Human Factors and Ergonomics Society.

Vermeulen, B., Kesselhut, J., Pyka, A., & Saviotti, P. P. (2018). The Impact of Automation on Employment: Just the Usual Structural Change? *Sustainability*, 10(5), 1661.