

**Universidad de los Andes**

**Facultad de Economía**

**Automatización y Salario Mínimo: Tendencias y Mecanismos**

**Asesor: Hernando Zuleta**

**Presentado por: Sebastián Espinosa, (201415548)**

**Fecha: 25 de octubre de 2020**

## Resumen

Investigaciones sobre los efectos de la automatización sobre la composición de la demanda de trabajo se han enfocado en los mecanismos en ausencia de fricciones administrativas. Este documento analiza el efecto del salario mínimo sobre las decisiones de uso de tecnología de las firmas. Para esto, se propone un estático en el cual hay tres factores de producción: trabajo calificado, trabajo no calificado y capital. La automatización puede desplazar trabajo no calificado o trabajo calificado. El modelo propuesto, sugiere que un aumento exógeno en el salario mínimo genera incentivos para que los bienes producidos con trabajo no calificado sean producidos con tecnologías de automatización o con tecnologías intensivas en trabajo calificado. Por último, plantea que la introducción de un salario mínimo genera desempleo para los trabajadores no calificados y un exceso de demanda de trabajadores calificados en el contexto en el que la oferta de trabajo (calificado y no calificado) es inelástica.

Palabras clave: automatización, salario mínimo, innovación

JEL: O33, O31, O14, J24, J31.

## 1. Introducción

El progreso tecnológico desempeña un papel importante para el crecimiento económico. En los últimos años ha surgido preocupación por el desplazamiento de la demanda laboral por trabajadores no calificados. Esta preocupación se ha experimentado en épocas de cambio tecnológico vertiginoso (Autor, 2015) y requiere analizar los diferentes mecanismos por los que la presencia de regulaciones laborales puede afectar las decisiones de adopción de tecnología de las firmas (Alesina, Battisti y Zeira, 2018).

Los modelos de automatización han sido utilizados para explorar la relación entre la proporción de trabajos que pueden ser automatizados y la proporción de trabajos que no hacen uso de este tipo de tecnologías (Graetz y Michaels, 2018), para estimar el impacto global sobre el desempleo (Acemoglu y Restrepo, 2017) y para estimar el efecto que tiene los aumentos del salario mínimo sobre el empleo en el sector de los trabajadores no calificados que pueden ser automatizados (Neumark y Lordan, 2018). Sin embargo, ninguno de estos estudios ha explorado cuáles son los efectos del salario mínimo sobre la composición de la demanda por trabajo calificado y no calificado en contextos en los que hay tecnologías de automatización disponibles.

Así, estudiar los mecanismos para los países que presentan estas fricciones es indispensable, pues estos se ven afectados por las tendencias de adopción de tecnologías de los países con mayores niveles de ingresos y esto podría tener efectos sobre la desigualdad (Schlogl y Sumner, 2018). Específicamente, es importante estudiar estos mecanismos porque la composición de la fuerza laboral de países menos desarrollados es diferente a la de sus homólogos con mayores ingresos y la adopción de tecnologías ahorradoras de trabajo puede no ser óptima en países abundantes en trabajo.

De esta forma, se hace importante establecer cuáles son los mecanismos por los cuales la introducción de un salario mínimo afecta la adopción de tecnologías cuando se encuentran disponibles tecnologías de automatización. En este contexto, el objetivo de este trabajo es, a través de un modelo teórico, explicar los efectos del salario mínimo sobre la demanda de trabajo calificado y no calificado. Para esto, se propone un modelo en tiempo discreto basado en (Zeira, 1998), que pretende explorar las decisiones de adopción de este tipo de tecnologías por parte de las firmas. Específicamente, este documento pretende analizar los efectos del salario mínimo cuando hay tres factores de producción: trabajo calificado, trabajo no

calificado y capital. Se explora si la presencia de un salario mínimo en la economía afecta negativa o positivamente la adopción de tecnologías de automatización.

Los principales resultados del modelo son los siguientes:

- (i) Un aumento en el salario mínimo genera incentivos para sustituir tecnologías intensivas en trabajo no calificado por tecnologías automatizadas o por tecnologías intensivas en trabajo calificado.
- (ii) Un aumento en el salario mínimo es un incremento en los costos de producción. Dado el supuesto de beneficios cero, este incremento en costos debe compensarse con la reducción en otros costos. En economía abierta la tasa de interés está fijada por el mercado internacional de capitales, de manera que el salario de los trabajadores calificados se reduce.
- (iii) La reducción en el salario de trabajadores calificados genera un incentivo adicional para la sustitución de tecnologías intensivas en trabajo no calificado por tecnologías intensivas en trabajo calificado.
- (iv) En todos los casos el salario mínimo genera una reducción en la demanda de trabajo calificado. En algunos casos, el salario mínimo genera un aumento en el uso de tecnologías de automatización, en otros casos genera un aumento en el uso de tecnologías intensivas en trabajo calificado y, en otros casos, genera los dos efectos.
- (v) Si la oferta de trabajo es inelástica, el salario mínimo genera desempleo para los trabajadores no calificado y, en algunos casos, puede generar un exceso de demanda por trabajo calificado.

Esta investigación aporta a la literatura que investiga los efectos de la automatización sobre la composición laboral cuando se presentan regulaciones laborales. Este documento explora el mecanismo por el cual el aumento del salario mínimo afecta la adopción de tecnologías de automatización y, en última instancia, el uso de un tipo de mano de obra. La estructura del documento es la siguiente: en la segunda sección se describe el contexto en el que se ha explorado los efectos de la automatización sobre el mercado laboral; en la tercera se explica la estructura del modelo, así como los supuestos principales del mismo, en la cuarta, se analiza el equilibrio del modelo y se muestran los resultados principales; en la quinta, se analiza el efecto de un salario mínimo por encima del salario de equilibrio; en la

sexta se analiza el caso en el que la oferta de trabajo es inelástica; finalmente, en la sección 7, se analizan estos resultados y se presentan las conclusiones.

## **2. Revisión de Literatura**

El estudio de la automatización es relevante en contextos en los que las firmas deben tomar decisiones del tipo de tecnología que van a utilizar en sus procesos de producción. De acuerdo con Brynjolfsson, Rock, y Syverson (2017), los efectos más profundos que de la automatización aún no se han experimentado en su totalidad. Al ser tecnologías de propósito general, estos efectos solo se van a reflejar cuando se desarrollen innovaciones complementarias. De esta forma, la decisión de adoptar tecnologías de automatización está determinada también por el tiempo en el que esta adopción tarde en mostrar resultados. Por otro lado, Cockburn, Henderson y Stern (2018) muestran un cambio en las tendencias de investigación de las firmas, pues ahora se enfocan en aprovechar bases de datos generadas de manera automática y en usar algoritmos de predicción, en contraste con investigaciones orientadas hacia labores rutinarias que pueden ser automatizadas relativamente fácil. Así pues, las decisiones de adopción de las firmas se ven afectadas por el sector del que hacen parte. Por ejemplo, sectores de servicios tienden a adoptar tecnologías de automatización de forma más rápida. Por otra parte, Trajtenberg (2018) argumenta que se deben buscar formas de atenuar los efectos negativos de la automatización en términos del desplazamiento laboral. Para esto, explica que se debe tener en consideración los efectos de esta tecnología de propósito general sobre los agentes mejor y peor preparados para usar este tipo de tecnologías (ganadores y perdedores). Entonces, las decisiones de adopción también se ven afectadas por las habilidades que tengan sus trabajadores al momento de incorporar tecnologías de automatización.

El estudio de la automatización también es importante en el contexto de países en vías de desarrollo, pues las condiciones son diferentes para países de altos ingresos y bajos ingresos (Stromquist, 2019). En esta misma línea, se hace necesario identificar cuáles son las dinámicas que permiten la correcta adopción de este tipo de tecnologías (Manyika, 2016). Por otra parte, Graetz y Michaels (2018) analizan la contribución de los robots industriales al crecimiento económico. Los autores encuentran que el aumento del uso de robots tuvo como consecuencia un aumento de 0.36 puntos porcentuales de la productividad laboral

anual, aumentó la productividad total de los factores y disminuyó los precios de los bienes producidos. Este hecho sigue el razonamiento de Acemoglu (1998), pues indica que a pesar de que la oferta de trabajo calificado aumentó (como consecuencia de un mayor uso de máquinas que requerían ciertas habilidades), no hubo consecuencias en términos del nivel total de empleo, aunque sí se redujo la proporción de trabajadores no calificados, haciendo que la prima por habilidad aumentara en el largo plazo.

Desde el punto de vista teórico, Zeira (1998) ha resaltado los mecanismos a través de los cuales los requerimientos de ciertos tipos de tecnología -capital en forma de máquinas o trabajo- pueden hacer más grandes las diferencias en productividad entre países. Por otra parte, Acemoglu y Restrepo, (2018) desarrollaron un marco teórico basado en las tareas que la mano de obra puede hacer y que el capital puede reemplazar para ilustrar los mecanismos a través de los cuales las máquinas generan beneficios económicos. Los autores identifican dos tipos de mecanismos generados por la automatización: un desplazamiento negativo de la demanda laboral y efectos compensatorios que generan un desplazamiento positivo de la misma. De esta forma, los autores plantean condiciones generales bajo las cuales la automatización puede traer beneficios para la economía de un país y generar crecimiento de largo plazo. Acemoglu y Restrepo (2017), por su parte, realizan estimaciones locales del impacto de la automatización (cantidad de robots) sobre el desempleo. El resultado cualitativo más importante es que esta genera efectos negativos, pero no significativos, sobre el empleo.

Respecto a la literatura que estudia los efectos del salario mínimo en contextos de automatización, Neumark y Lordan (2018) identifican el efecto que tiene los aumentos del salario mínimo sobre el empleo en el sector de trabajos que pueden ser automatizados (trabajo no calificado). En este sentido, los autores identificaron que aumentar el salario mínimo tiene como consecuencia un aumento en la probabilidad de que los trabajadores no calificados en sectores que pueden ser automatizados queden desempleados.

Acemoglu y Restrepo (2019), por su parte, desarrollaron un modelo para analizar el fenómeno de la automatización y otros cambios tecnológicos sobre la demanda de trabajo de Estados Unidos. El principal efecto que identifican los autores para la mano de obra es el efecto desplazamiento. Este efecto hace que las máquinas desplacen a los trabajadores de sus

tareas, y como consecuencia, reduce la proporción del aporte del trabajo al valor agregado de la economía. Los efectos del desplazamiento de la mano de obra se contrarrestan, por otro lado, mediante dos mecanismos: la creación de nuevas tareas en las que el trabajo tiene ventaja comparativa y el efecto restitución.

En lo que respecta a la relación entre distribución del ingreso y crecimiento, Sachs y Kotlikoff (2012) sostienen una visión pesimista sobre los efectos de la automatización sobre el mercado laboral de los jóvenes no calificados; esta afecta su capacidad de ahorro e inversión en adquisición de habilidades y capital físico. En cuanto a los efectos que la regulación podría tener sobre la adopción de tecnología, Alesina y Zeira (2006) analizan el caso de Europa y Estados Unidos. Particularmente, estos países reducen la flexibilidad y desigualdad de los salarios a través de políticas como salarios mínimos, subsidios permanentes al desempleo y costos de despido. Estas políticas crean incentivos para disminuir costos e invertir en tecnologías ahorradoras de trabajo en la parte baja de la distribución de habilidades. Los autores encuentran que diferentes políticas sobre el mercado laboral pueden generar resultados diferentes en términos de adopción de tecnologías. Regulaciones del mercado laboral reducen la prima por habilidad y, como resultado, si las tecnologías son ahorradoras de trabajo, países con políticas más rigurosas (vinculantes para trabajadores no calificados) dejan de adoptar tecnologías más avanzadas en los sectores más calificados y adoptan tecnologías avanzadas en sectores de mano de obra menos calificada. El trabajo de Alesina y Zeira (2006) es muy cercano al presentado acá. No obstante, Alesina y Zeira (2006) no analizan los posibles efectos sobre el desempleo. Además, el resultado teórico de Alesina y Zeira (2006) es un caso específico de los obtenidos en este trabajo.

Otra postura frente a los efectos de la automatización sobre la estructura del mercado laboral sostiene que, si el progreso tecnológico desplaza a la mano de obra o disminuye su creación de valor agregado depende de dos factores: cómo las innovaciones tecnológicas moldean el empleo y la proporción de valor agregado que generan en las industrias en las que se adoptan esas innovaciones; y cómo estos efectos directos aumentan como consecuencia de cambios en el desplazamiento de empleo y valor agregado que son desencadenados por innovaciones tecnológicas en el resto de la economía (Autor y Salomons, 2018).

### 3. Modelo

Este modelo está planteado en tiempo discreto. Se considera una pequeña economía abierta en un mundo con solamente un bien final, que es usado para consumo e inversión. Este bien final se produce mediante un continuo de bienes finales. El conjunto de bienes finales se encuentra en el intervalo  $[0,1]$ . El producto final viene dado por la siguiente función:

$$\log(Y_t) = \log(a) + \int_0^1 \log(x_{j,t}) dj \quad (1)$$

Dónde  $Y_t$  es el producto en el periodo  $t$ ,  $x_{j,t}$  es el bien intermedio  $j$  en el periodo  $t$  y  $a$  es un parámetro de productividad de cada país.

El problema del productor de bienes finales es maximizar  $Y_t - \int_0^1 p_{j,t}(x_{j,t})dj$ , de manera que, en equilibrio  $p_{j,t} = \frac{\partial Y_t}{\partial x_t} = \frac{Y_t}{x_t}$ . Tomando logaritmos e integrando,

$$\log(Y_t) - \int_0^1 \log(x_{j,t})dj = \int_0^1 \log(p_{j,t}) dj \quad (2)$$

Combinando con la ecuación 1,

$$\log(a) = \int_0^1 \log(p_{j,t})dj \quad (3)$$

El coeficiente de productividad del país puede reflejar la infraestructura y dotaciones de recursos, lo que implica que este parámetro es diferente para cada país. Por otra parte, se supone que existen tres tecnologías que pueden ser utilizadas para la producción de bienes intermedios:

- La tecnología 1 usa trabajo no calificado y capital físico. Para producir una unidad del bien intermedio  $j$ , esta tecnología utiliza  $l^u(j)$  unidades de trabajo no calificado y  $k_1(j)$  unidades de capital. Para producir una unidad del bien intermedio  $j$ .
- La tecnología 2 usa trabajo calificado y capital físico. Esta tecnología utiliza  $l^s(j)$  unidades de trabajo calificado  $k_2(j)$  unidades de capital para producir una unidad del bien  $j$ .



- La tecnología 3 usa solamente capital físico. Esta tecnología usa  $k_3(j)$  unidades de capital para producir una unidad del bien intermedio  $j$ . Este último tipo tecnología hace referencia, intuitivamente, a tecnologías de automatización que no requieren de ningún tipo de trabajo para producir el bien intermedio.

Se supone que  $k_3(j) > k_2(j)$  y  $k_3(j) > k_1(j)$ , es decir, los requerimientos de capital para producir una unidad de producto son más altos para las tecnologías de automatización. Asimismo, se supone que el trabajo calificado es más productivo que el trabajo no calificado, de manera que  $l^s(j) < l^u(j)$ . Por último, suponemos que la mayor productividad del trabajo calificado está asociada al manejo de bienes de capital, de manera que  $k_2(j) > k_1(j)$ .

Cada bien intermedio puede ser producido con cualquiera de las tres tecnologías. Así, los cambios tecnológicos pueden ser:

- (i) Ahorrador de trabajo no calificado y usador de trabajo calificado (cambio tecnológico sesgado hacia la calificación). Este es el caso cuando se cambia la tecnología 1 por la tecnología 2.
- (ii) Ahorrador de trabajo no calificado y usador de capital (automatización que reemplaza trabajo no calificado). Este es el caso cuando se pasa de la tecnología 1 a la tecnología 3.
- (iii) Ahorrador de trabajo calificado y usador de capital (automatización que reemplaza trabajo calificado). Este es el caso cuando se pasa de la tecnología 2 a la tecnología 3.

En cada momento, cada sector escoge la tecnología con la cual los costos de producir una unidad de bien intermedio son más bajos. Llamando  $r$  al costo de capital,  $w^u$  al costo del trabajo no calificado y  $w^s$  al costo del trabajo calificado,

Si  $rk_3(j) < w^ul^u(j) + rk_1(j)$  y  $rk_3(j) < w^sl^s(j) + rk_2(j)$  entonces se escoge la tecnología 3.

Si  $rk_3(j) > w^sl^s(j) + rk_1(j)$  y  $w^sl^s(j) + rk_2(j) < w^ul^u(j) + rk_1(j)$  entonces se escoge la tecnología 2.

Si  $rk_3(j) > w^u l^u(j) + rk_1(j)$  y  $w^s l^s(j) + rk_2(j) > w^u l^u(j) + rk_1(j)$  entonces se escoge la tecnología 1.

Para simplificar la notación definimos las funciones  $g(j)$ ,  $h(j)$  y  $f(j)$  de la siguiente manera,

$$g(j) = \frac{k_1(j) - k_2(j)}{\frac{w_s}{w_u} l_s(j) - l_u(j)} \quad (4)$$

$$h(j) = \frac{k_3(j) - k_2(j)}{l_s} \quad (5)$$

$$f(j) = \frac{k_3(j) - k_1(j)}{l_u} \quad (6)$$

A partir de estas definiciones, es posible establecer de forma sintética las condiciones bajo las cuales se adopta cada tecnología:

Si  $f(j) \leq \frac{w^u}{r}$  y  $h(j) \leq \frac{w^s}{r}$  se adopta la tecnología 3.

Si  $h(j) > \frac{w^s}{r}$  y  $g(j) < \frac{w^u}{r}$  se adopta la tecnología 2.

Si  $f(j) > \frac{w^u}{r}$  y  $g(j) > \frac{w^u}{r}$  se adopta la tecnología 1.

El conjunto de tecnologías adoptadas se define a partir del supuesto de que los bienes intermedios se ordenan de menor a mayor costo de capital por reducción de mano de obra, lo que implica que  $f(j)$  es creciente. Adicionalmente, suponiendo que, dados los salarios,  $f(j)$ ,  $h(j)$  y  $g(j)$  están correlacionados, implica que  $h(j)$  y  $g(j)$  también son crecientes.

La escogencia de la tecnología depende del nivel de los precios relativos de los factores. Dado que las funciones  $f(j)$ ,  $h(j)$  y  $g(N)$  son continuas y estrictamente crecientes existe un sector M, un sector N y un sector Z tales que  $h(M) = \frac{w^s}{r}$ ,  $g(N) = \frac{w^u}{r}$  y  $f(Z) = \frac{w^u}{r}$ .

La definición de los sectores M, N y Z implica que:

Para todo  $j < M$  la tecnología de automatización (3) es menos costosa que la tecnología que usa trabajo calificado (2).

Para todo  $j < N$  la tecnología de automatización (3) es menos costosa que la tecnología que usa trabajo no calificado (1).

Para todo  $j < Z$  la tecnología intensiva en trabajo calificado es menos costosa que la tecnología intensiva en trabajo no calificado.

Se supone que, para efectos de la automatización, para todos los bienes intermedios el costo de capital que implica ahorrar una unidad de trabajo calificado es mayor al costo de capital que implica ahorrar una unidad de trabajo no calificado, esto es,  $h(j) > f(j)$  para todo  $j$ . También se supone que el salario de los trabajadores calificados es superior al salario de los trabajadores no calificados.

*Lema 1: Si  $1 > Z > M > 0$  entonces  $f(j) > g(j)$  para todo  $Z \geq j > M$ .*

Demostración: considere un sector arbitrario  $X$ ,  $j > M$  implica que  $h(X) > \frac{w^s}{r}$  de manera que la tecnología 2 es preferida sobre la tecnología 3.  $Z \geq j$  implica que  $f(X) \leq \frac{w^u}{r}$  de manera que la tecnología 3 es preferida a la tecnología 1. Por transitividad, la tecnología 2 es preferida sobre la tecnología 1, esto es  $g(X) < \frac{w^u}{r}$ . Lo cual implica que  $f(X) > g(X)$ .

*Lema 2: Si  $1 > M > Z > 0$  entonces  $f(j) < g(j)$  para todo  $M > j > Z$ .*

Demostración: considere un sector arbitrario  $X$ ,  $j < M$  implica que  $h(X) < \frac{w^s}{r}$  de manera que la tecnología 3 es preferida sobre la tecnología 2.  $Z > j$  implica que  $f(X) < \frac{w^u}{r}$  de manera que la tecnología 1 es preferida a la tecnología 3. Por transitividad, la tecnología 1 es preferida sobre la tecnología 2, esto es  $g(X) > \frac{w^u}{r}$ . Lo cual implica que  $f(X) < g(X)$ .

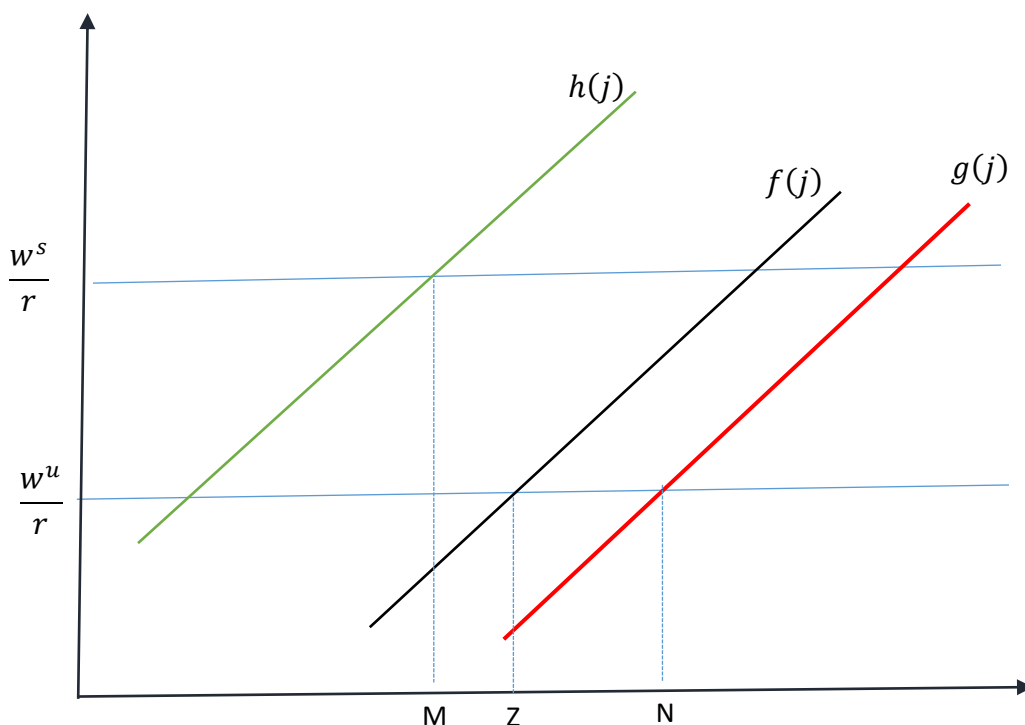
Los gráficos 1, 2 y 3 ilustran el equilibrio para tres configuraciones diferentes de las funciones.

En este caso  $M < Z < N$ . Así, los sectores de 0 a  $M$  usan la tecnología 3, es decir, automatización completa. Para estos sectores se cumple que  $f(j) \leq \frac{w^u}{r}$  y  $h(j) \leq \frac{w^s}{r}$  de manera que la tecnología de automatización domina las otras dos.

Para los sectores de  $M$  a  $N$  se cumple que  $h(j) > \frac{w^s}{r}$  y  $g(j) < \frac{w^s}{r}$ . De manera que la tecnología 2 es preferida sobre la tecnología 1 y sobre la tecnología 3.

Para los sectores de  $N$  a 1 se cumple que  $f(j) \geq \frac{w^s}{r}$  y  $g(j) \geq \frac{w^u}{r}$ . Es decir, la tecnología 1 es menos costosa que la tecnología 2 y 3 y, por lo tanto, se usa la tecnología intensiva en trabajo no calificado (tecnología 1).

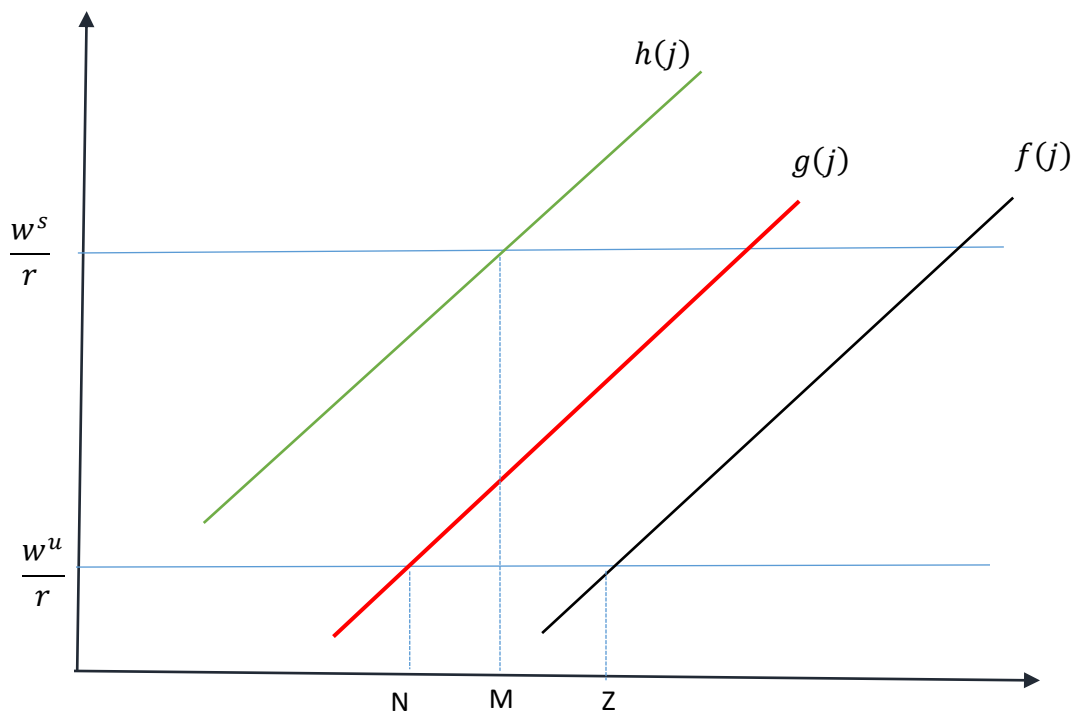
**Gráfico 1:  $M < Z < N$ .**



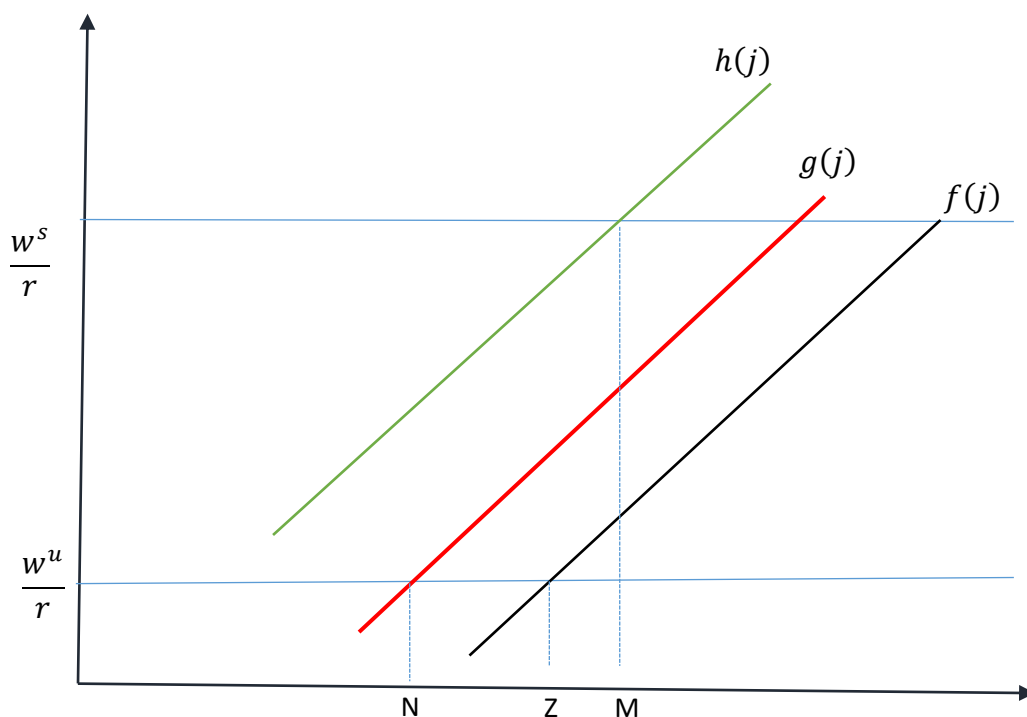
En el gráfico 2 se supone una diferencia mayor entre el salario calificado y el salario no calificado, de manera que se afectan los incentivos para la adopción de tecnologías. En este caso, los sectores de 0 a  $Z$  adoptan la tecnología 3, pues es menos costosa que las otras dos. Para los sectores de  $Z$  a 1 se adopta la tecnología 1 y, por lo tanto, la tecnología 2 no se usa.

Finalmente, en el gráfico 3 se reduce la distancia entre  $f(j)$  y  $g(j)$ . En este caso  $Z < N < M$ , todos los sectores entre 0 y  $M$  adoptan la tecnología 3 y los sectores de  $M$  a 1 adoptan la tecnología 1.

**Gráfico 2:  $M < N < Z$ .**



**Gráfico 3:  $N < Z < M$ .**



Aunque hasta ahora esto es un análisis de equilibrio parcial, es posible adelantar algunos resultados partiendo de la base de que el salario mínimo afecta a los trabajadores no calificados:

- Un aumento exógeno en  $w^u$  genera incentivos para que bienes producidos con la tecnología 1 comiencen a ser producidos con la tecnología 2.
- Un aumento exógeno en  $w^u$  genera incentivos para que bienes producidos con la tecnología 1 comiencen a ser producidos con la tecnología 3.

#### 4. Equilibrio

Hasta el momento la adopción de tecnologías se ha modelado tomando los precios de los factores como dados. Este supuesto es adecuado para el caso de la tasa de interés puesto que la economía es pequeña y abierta. No obstante, el salario de los trabajadores depende del tipo de tecnologías que se adopten. Por esto, es necesario hacer un análisis de equilibrio general en donde el salario de los trabajadores calificados y la opción de tecnologías se determinen simultáneamente.

Se supone que los bienes intermedios son producidos con una tecnología de rendimientos constantes a escala, por lo que el beneficio es cero para estas firmas. Estas condiciones son:

$$p_{j,t} = rk_1(j) + w^u l^u(j) \text{ para los sectores que usan la tecnología 1.}$$

$$p_{j,t} = rk_2(j) + w^s l^s(j) \text{ para los sectores que usan la tecnología 2.}$$

$$p_{j,t} = rk_3(j) \text{ para los sectores que usan la tecnología 3.}$$

Para efectos de presentación, en lo que sigue consideramos las condiciones del gráfico uno, de manera que, tomando logaritmos e integrando los dos lados de estas condiciones, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\int_0^1 \log[p_j] dj = \int_0^{M_t} \log[rk_3(j)] dj + \int_{M_t}^{N_t} \log[rk_2(j) + \omega^s l^s(j)] dj + \int_{N_t}^1 \log[rk_1(j) + \omega^u l^u(j)] dj \quad (7)$$

Combinando la ecuación (3) y (7),

$$\int_0^{M_t} \log[rk_3(j)] dj + \int_{M_t}^{N_t} \log[rk_2(j) + \omega^s l^s(j)] dj + \int_{N_t}^1 \log[rk_1(j) + \omega^u l^u(j)] dj = \log(a)$$

Esta ecuación indica que la decisión de adoptar o no un tipo de tecnología viene dada por los precios de los factores, que a su vez se ven afectados por la utilización de capital y trabajo.

¿Cuál es la relación entre la adopción de tecnologías y los precios de los factores?

Para contestar a esta pregunta, se aprovecha el hecho de que  $a$  es una constante para definir la función  $G(w^s, w^u, r, m, n)$ :

$$G(w^u, w^s, r, m, n) = \int_0^{M_t} \log [rk_3(j)]dj + \int_{M_t}^{N_t} \log [rk_2(j) + \omega^s l^s(j)]dj + \int_{N_t}^1 \log [rk_1(j) + \omega^u l^u(j)]dj$$

Esta función satisface:

$$G_{w^u}(w^u, r, m, n) = \int_{N_t}^1 \frac{1}{P_{j,t}} l^u > 0$$

$$G_{w^s}(w^s, r, m, n) = \int_{M_t}^{N_t} \frac{1}{P_{j,t}} l^s > 0$$

$$G_m(w, r, m, n) = \log \left[ \frac{rk_3(m)}{rk_2(m) + \omega^s l^s(m)} \right]$$

$$G_r(w^u, r, m, n) = \int_0^{M_t} \frac{1}{k_3} + \int_{M_t}^{N_t} \frac{1}{k_2} + \int_{N_t}^1 \frac{1}{k_1} > 0$$

Note que si  $\frac{rk_3(m)}{rk_2(m) + \omega^s l^s(m)} > 1$ , entonces  $G_m(\cdot) > 0$ . Y si  $\frac{rk_3(m)}{rk_2(m) + \omega^s l^s(m)} < 1$ , entonces  $G_m(\cdot) < 0$ . Lo cual implica que  $G_m(\cdot) > 0$  para todo  $m > M$ ;  $G_m(\cdot) < 0$  para todo  $m < M$  y  $G_m(\cdot) = 0$  para todo  $m = M$ .

$$G_n(w, r, m, n) = \log \left[ \frac{rk_2(n) + \omega^s l^s(n)}{k_1(n) + \omega^u l^u(n)} \right]$$

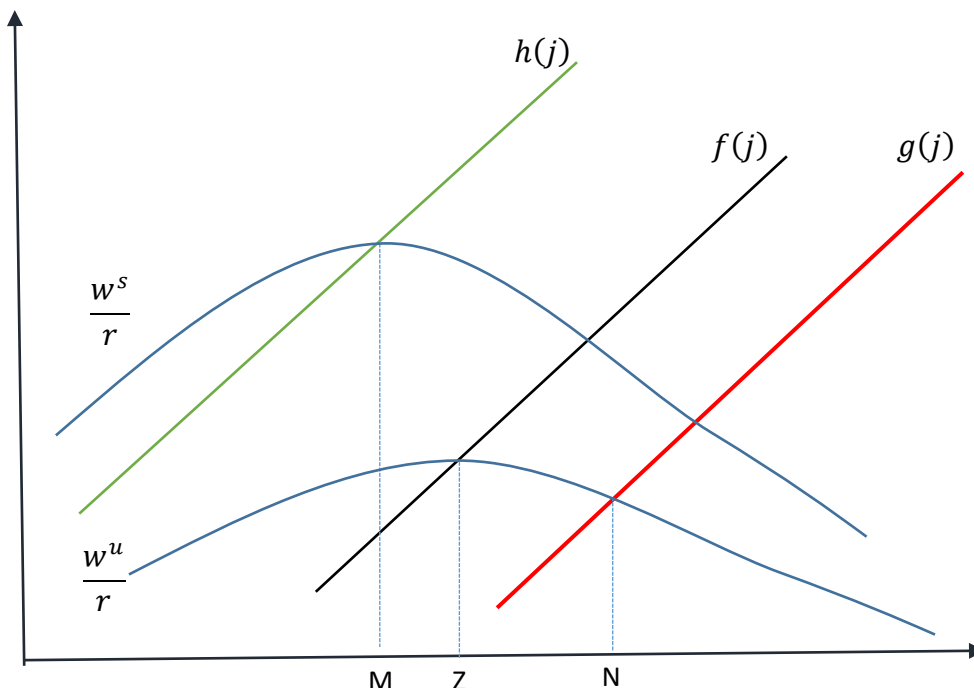
Esta igualdad implica que  $G_n(\cdot) > 0$  para todo  $n > N$ ;  $G_n(\cdot) < 0$  para todo  $n < N$  y  $G_n(\cdot) = 0$  para todo  $n = N$ .

Por el teorema de la función implícita,  $\frac{\partial w^s(m)}{\partial m} = -\frac{G_m(\cdot)}{G_{w^s(\cdot)}}$ . De manera que el salario de los trabajadores calificados es una función creciente para todo  $m < M$  y una función decreciente para todo  $m > M$ .



De manera similar  $\frac{\partial w^u(n)}{\partial n} = -\frac{G_N(\cdot)}{G_{w^u}(\cdot)}$ . Así que el salario de equilibrio de los trabajadores no calificados es una función creciente para todo  $n < N$  y una función decreciente para todo  $n > N$ .

**Gráfico 4:  $M < Z < N$ .**



Con estos resultados es posible modificar el gráfico 1, incluyendo el hecho de que los salarios son función de las tecnologías adoptadas. El gráfico 4 ilustra el equilibrio de la economía. Así, los sectores de 0 a M usan la tecnología 3, los sectores M a N usan la tecnología 2 y los sectores de N a 1 usan la tecnología 1.

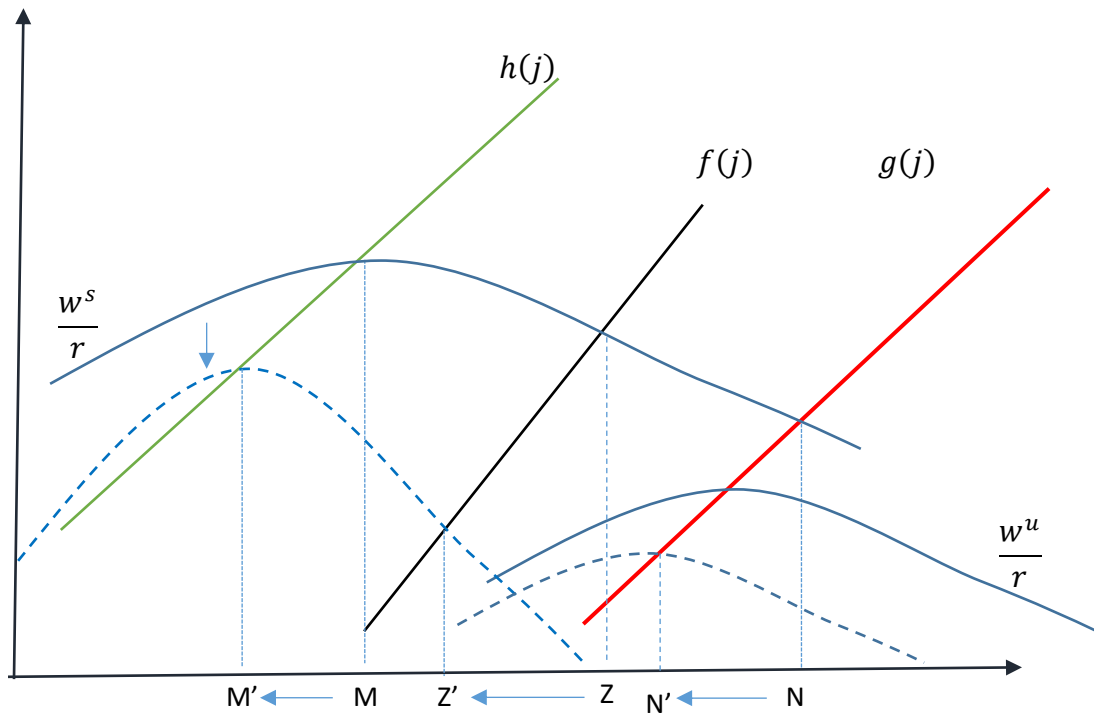
Es posible realizar un análisis análogo partiendo del gráfico 2.

### 5. Efectos de cambios en la tasa de interés.

El gráfico ilustra el efecto de un aumento en la tasa de interés partiendo de un punto en que el salario mínimo es igual al salario de equilibrio.

- En este caso  $g(j)$  no se ve afectado.
- Si no hay salario mínimo, un aumento exógeno en la tasa de interés reduce la automatización y aumenta el uso de tecnologías intensivas en trabajo básico.

**Gráfico 5: Efecto de un aumento en la tasa de interés**



**6. ¿Qué pasa con el déficit de balanza de pagos?**

$$K = \int_0^1 K_i = \int_0^{M_t} k_3(j) dj - \int_{M_t}^{N_t} k_2(j) dj - \int_{N_t}^1 k_1(j) dj$$

$$\frac{\partial K}{\partial M} = k_3(m) - k_2(m) > 0$$

$$\frac{\partial K}{\partial N} = k_2(m) - k_1(m) > 0$$

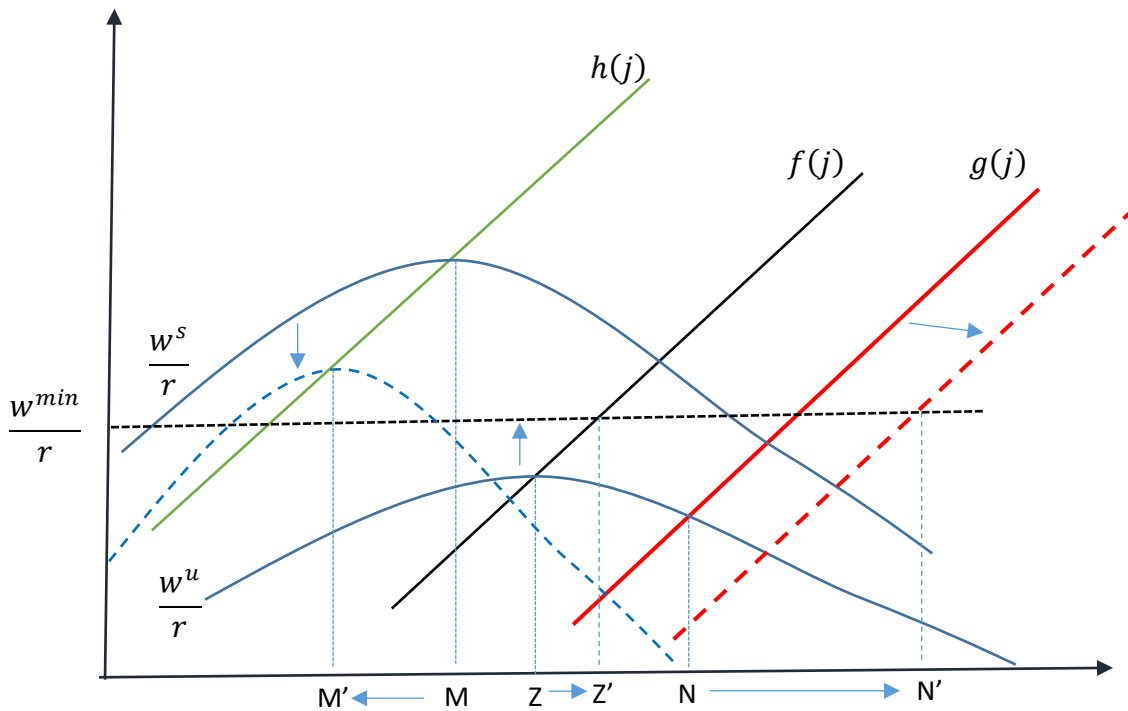
Dada una oferta exógena de ahorro, aumentos en la automatización y en el uso de tecnologías intensivas en trabajo calificado generan un aumento en la inversión y, por lo tanto, aumentan el déficit comercial, es decir requiere de una entrada neta de capitales. Por ejemplo, una caída en la tasa de interés internacional genera entradas de capitales y estimula la automatización.

### 7. ¿Cuál es el efecto de un salario mínimo superior al salario de equilibrio?

Partiendo de una situación como la descrita el gráfico 4, suponga que se establece un salario mínimo superior al salario de equilibrio de los trabajadores no calificados  $w^u$ .

En primer lugar, note que  $G_{w^u}(\cdot) > 0$  y  $G_{w^s}(\cdot) > 0$ , de manera que  $\frac{\partial w^s}{\partial w^u} < 0$ , lo cual desplaza M hacia la izquierda. En segundo lugar, el incremento en  $w^u$  tiene el efecto directo de mover Z hacia la derecha. En tercer lugar, la curva  $g(j)$  depende de la relación  $\frac{w^u}{w^s}$ , de manera que, con el aumento en esta relación,  $g(j)$  se desplaza a la derecha.

**Gráfico 6: Efecto del salario mínimo**



Así, el salario mínimo genera una reducción del tramo 0-M, un aumento del tramo M-Z y una reducción del tramo N-1. El efecto sobre el tramo Z-N es ambiguo porque Z y N se desplazan en la misma dirección. En estas condiciones, el salario mínimo genera cambio tecnológico a favor del trabajo calificado y reduce la automatización, reemplazándola por tecnologías que hacen uso de trabajo calificado.



**8. ¿Qué sucede si la oferta de trabajo calificado y trabajo no calificado es inelástica?**

Uno de los efectos más claros del salario mínimo es una recomposición en la demanda relativa de trabajo calificado/no calificado. Al aumentar la cantidad de sectores que utiliza la tecnología 2 y reducirse la cantidad de sectores que usa la tecnología uno, aumenta la demanda relativa por trabajo calificado.

La demanda de trabajo calificado está dada por  $\int_{M_t}^{N_t} l^s(j) dj$  y la demanda de trabajo no calificado está dada por  $\int_{N_t}^1 l^u(j) dj$ .

Para efectos de este análisis, suponga que, en condiciones de equilibrio, sin salario mínimo, la demanda y la oferta de trabajo se igualan. La introducción del salario mínimo genera un aumento en  $N$  y, por lo tanto, una caída en la demanda de trabajo no calificado y una reducción en  $M$ . Esto tiene como consecuencia un aumento en la demanda de trabajo calificado.

Dado que las funciones de producción son del tipo Leontief, esto implica que el salario mínimo genera desempleo para los trabajadores no calificados y un exceso de demanda para los trabajadores calificados. Nuevamente, dadas las funciones de producción el exceso de demanda no genera un aumento en los salarios de manera que hay un desequilibrio persistente.

## **9. Discusión**

El modelo propuesto en este documento incorpora el cambio tecnológico sesgado para explicar cómo la introducción del salario mínimo genera cambio tecnológico a favor del uso de tecnologías de automatización y de trabajo calificado. Esto es, ante la presencia de un salario mínimo, las firmas prefieren no usar tecnologías intensivas en trabajadores no calificados, pues el precio de este factor de producción aumenta en relación con el precio de los otros dos factores (trabajo calificado y automatización).

En este contexto, la adopción de tecnologías de automatización no beneficia a todos los países, sino que su efecto depende de los precios de los factores de producción (salario y tasa de interés), o lo que es lo mismo, de su productividad. De esta forma, países menos productivos tendrán consecuencias estructurales negativas, en tanto se genera desempleo persistente del sector no calificado y un exceso de demanda por trabajadores calificados que no genera un aumento de los salarios. Debido a las características de los países en los que se presenta este tipo de regulación laboral, se debe pensar en políticas que permitan la transición de los trabajadores no calificados al sector calificado, teniendo como prioridad la formación en tecnologías complementarias a este último sector. Más aún, se podría explorar la idea de formar a los trabajadores no calificados en el uso de tecnologías de automatización y analizar su efecto sobre la productividad.

## Referencias:

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). Artificial intelligence, automation and work (No. w24196). National Bureau of Economic Research

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2018). The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares, and employment. *American Economic Review*, 108(6), 1488-1542.

Acemoglu, D. (1998). Why do new technologies complement skills? Directed technical change and wage inequality. *The Quarterly Journal of Economics*, 113(4), 1055-1089.

Autor, D., & Salomons, A. (2018, March). Is automation labor-displacing. In *Productivity growth, employment, and the labor share. BPEA Conference Drafts*.

Alesina, A., & Zeira, J. (2006). *Technology and labor regulations* (No. w12581). National Bureau of Economic Research.

Alesina, A., Battisti, M., & Zeira, J. (2018). Technology and labor regulations: theory and evidence. *Journal of Economic Growth*, 23(1), 41-78.

Brynjolfsson, E., Rock, D., & Syverson, C. (2017). *Artificial intelligence and the modern productivity paradox: A clash of expectations and statistics* (No. w24001). National Bureau of Economic Research.

Cockburn, I. M., Henderson, R., & Stern, S. (2018). *The impact of artificial intelligence on innovation* (No. w24449). National Bureau of Economic Research.

David, H. J. J. O. E. P. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of economic perspectives*, 29(3), 3-30.

Graetz, G., & Michaels, G. (2018). Robots at work. *Review of Economics and Statistics*, 100(5), 753-768.

Lordan, G., & Neumark, D. (2018). People versus machines: The impact of minimum wages on automatable jobs. *Labour Economics*, 52, 40-53.

Manyika, J. (2017). A future that works: AI automation employment and productivity. McKinsey Global Institute Research, Tech. Rep.

Schlogl, L., & Sumner, A. (2018). The rise of the robot reserve army: automation and the future of economic development, work, and wages in developing countries.

Stromquist, N. P. (2019). World Development Report 2019: The changing nature of work.

Trajtenberg, M. (2018). *AI as the next GPT: a Political-Economy Perspective* (No. w24245). National Bureau of Economic Research.

Zeira, J. (1998). Workers, machines, and economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 113(4), 1091-1117.