Consecuencias económicas de una tecnología de producción robotizada

Tesis de Licenciatura en Economía

Agosto 2017

Resumen

Observamos que la creciente automatización en los procesos de producción es un fenómeno de interés en la actualidad dado que la humanidad podría estar enfrentando cambios estructurales en varios sentidos. El desarrollo de robots, agentes económicos autónomos capaces de replicar el trabajo de un humano e interactuar con otras máquinas implicará lo que podría ser la entrada a una nueva era. Las consecuencias económicas redefinirán por completo a las sociedades como las conocemos hoy y es importante formalizar lo que sucede ahora para entender hacia dónde vamos. En especial nos interesa estudiar el impacto en términos de consumo per cápita y retribución a los factores. Concluimos que el consumo per cápita va a aumentar notablemente pero que la distribución de la riqueza será más desigual si no hay cambios profundos en materia política, económica y educacional.

Vladimir Claps, Nicolás Camasta, Gabriel Devoto & Nicolás Hakim.

Tutor: Pablo Schiaffino

"Mi conclusión es que dentro de cien años, asumiendo que no haya guerras importantes ni aumento importante de la población, el problema económico podría resolverse, o que por lo menos su solución podría estar al alcance. Esto significa que el problema económico no es – si miramos hacia el futuro – el problema permanente de la raza humana."

J. M. Keynes (1930)

Introducción

Día a día vemos cómo la tecnología va ganando terreno en la sociedad. Su evolución constante y sus múltiples nuevas aplicaciones contribuyen a una penetración cada vez mayor en diversas actividades. Adicionalmente, es de esperar que las consecuencias y ramificaciones de una economía robotizada se vayan profundizando con el tiempo.

En la actualidad existen softwares que remplazan a agentes de bolsa y máquinas que reemplazan operarios en una fábrica. Ya es natural pensar que las nuevas tecnologías son capaces de replicar el trabajo de un humano. El proceso se desencadenó porque es concreta la oportunidad de lograr mayor productividad a menores costos.

Para explicar mejor nuestro trabajo, nos parece importante concentrarnos en definir bien lo que entendemos por un robot. La caracterización más general es cualquier tecnología que permita la automatización parcial o total de un proceso productivo. Es importante la capacidad de poder interactuar con máquinas tradicionales, trabajadores y otros robots. En pocas palabras, un robot es una máquina o un código que, con distintos grados de éxito, pretende replicar el accionar de un humano.

Las sociedades del futuro, con la aparición de este nuevo tipo de tecnología, se enfrentarán a nuevos desafíos de todo tipo. Entre ellos está la diferenciación de un robot con respecto a una máquina tal como la conocemos ahora, que tiene la capacidad de mejorar la productividad del trabajo del hombre, pero depende de él. Como veremos en nuestro trabajo, la posibilidad de utilizar a los robots en el proceso productivo generará enormes beneficios en términos de productividad y consumo per cápita, pero también profundizará los problemas distributivos. En el plano impositivo se tendrá que ver como actuaran los gobiernos para poder redistribuir la riqueza que se genere porque, como vamos a ver, la tendencia hacia una totalización de la participación del capital en el producto final se acentuará.

La IFR-World Robotics, cuyos datos vamos a utilizar, define a un robot industrial como una máquina multipropósito automáticamente controlada y reprogramable, esto es, una máquina completamente autónoma que no necesita a los humanos y puede realizar tareas manuales. Acemoglu & Restrepo (2017) comentan que a pesar de que esta definición excluye otros tipos de capital que también pueden reemplazar al trabajo, notablemente el software, permite una medida internacional y temporalmente comparable de cierta clase de tecnología como los robots industriales, capaces de reemplazar a los humanos en un rango de tareas. Vamos a tomar esta definición para nuestro trabajo, especialmente en la calibración, pero no ignoramos que las tecnologías basadas en software como la inteligencia artificial plantearán tantos desafíos y generarán tantas consecuencias como la robotización. El principal motivo que nos lleva a alinearnos con esta definición es la disponibilidad de un índice de seguimiento del stock de robots industriales mundiales realizado por la IFR-World Robotics, el cual vamos a comparar con el que nuestro modelo genera, para testear que los parámetros que elegimos generan medidas de crecimiento de las variables que son aproximadas a las reales. Esto ayuda a no rechazar las conclusiones a las que arribamos.

Como dijimos antes, la implementación, utilización y mantenimiento de los robots son cada vez menos costosos y por lo tanto su aparición como agentes centrales se vuelve inevitable. Los aumentos en la productividad se focalizan en la eliminación del error humano y la reducción en los tiempos necesarios para realizar una actividad dada. También hay que tener en cuenta que para las empresas el remplazo de mano de obra humana por robots permite ahorrar dinero en salarios. La automatización de las tecnologías de producción no afecta exclusivamente al trabajo no calificado que conocemos hoy, también se pueden realizar tareas complejas en la industria de servicios. Son comprensibles entonces, las inquietudes por el relegamiento de la mano de obra y el factor trabajo como un todo dentro de las estructuras de producción. Surgen interrogantes acerca de qué proporción de la población es susceptible de ser reemplazada, cuándo sucederá esto y qué va a pasar con la gente que pierda su trabajo.

Con nuestro modelo queremos analizar las implicancias económicas de la producción e implementación de robots, buscando obtener conclusiones que nos ayuden a formalizar y entender este fenómeno. La inquietud alrededor de la inserción de robots en la economía se basa principalmente en la incertidumbre que genera sobre el mercado de trabajo. Por un lado, se destruirán los empleos más mecánicos y que no requieren toma de decisiones y algunos de servicios también. Sin embargo, entendemos que se crearán empleos nuevos que solo podrían existir gracias a la nueva tecnología. La dicotomía que se plantea aquí no es exactamente entre trabajo calificado y trabajo no calificado, sino entre actividades sustituibles o complementarias a las tecnologías de automatización.

Esto implica que el impacto en cada individuo, a priori, dependerá del tipo de trabajo que realice. Tienden a perder los trabajadores que realizan tareas repetitivas con poco poder de decisión requerido. Del otro lado, se crean y potencian empleos para personas más creativas, con mayor capital humano, difíciles de remplazar con robots y más aptas para explotar los nuevos desafíos (Berg 2016). En nuestro trabajo veremos que una de las fuentes de preocupación que se deriva de la aparición de los robots, es la divergencia de salarios producida por una diferenciación en las productividades de los trabajadores sustituibles y complementarios a los robots. Esto va a ocurrir porque una fracción importante del total de la población no estará en condiciones de hacer los nuevos trabajos que se complementen a los robots, principalmente por falta de capital humano. Al percibir salarios distintos, uno pensaría que los consumos de los dos grupos de trabajadores también se diferenciarán. Sin embargo, como se explicará más adelante, una de las conclusiones a las que arribamos es que la riqueza de las personas va a estar definida casi por completo por el capital que posean y no por el salario que perciban. Lo que queremos remarcar es que los problemas de inequidad ocurrirán especialmente por la oportunidad que tiene el capital, mediante su inversión en robots, de independizarse del factor trabajo en el proceso productivo, más allá de la diferenciación salarial de la que hablamos antes.

Con nuestro trabajo pretendemos estudiar el comienzo y desarrollo de una tercera etapa en la historia de la economía mundial. La primera está definida por la economía malthusiana y la segunda por una economía de Solow. La transición entre las primeras dos se asocia a las consecuencias de la Revolución Industrial y la capacidad de independizarse definitivamente del factor fijo tierra. La economía malthusiana se define por la ausencia de mejoras en los estándares de vida aún a pesar del aumento tecnológico ya que estos avances se ven contrarrestados en términos de bienestar general por aumentos en la población, manteniendo así el consumo per cápita constante. En Solow, el crecimiento tecnológico más profundo que se genera por una tecnología de producción más eficiente posibilita romper con la trampa maltusiana y lograr un crecimiento sostenido del producto que excede el crecimiento poblacional. Este cambio tecnológico fue estudiado por Hansen & Prescott (2002). A medida que la productividad total de los factores fue aumentando, se volvió más rentable pasar de la tecnología malthusiana a la de Solow en la que el capital y el trabajo podían producir sin la tierra. La economía empezó a destinar recursos al nuevo sector y eventualmente la totalidad de los factores se empleó en la nueva tecnología En el largo plazo, la economía se representaba casi por completo con una función de producción tradicional Cobb- Douglas.

Nuestro trabajo va a generalizar esa función de producción para que sea más acorde a los fenómenos que estamos observando y pueda capturar el salto a una tercera etapa, la revolución de los robots. De esta forma podremos estudiar las consecuencias que la automatización traerá a la economía.

Ante ausencia de políticas efectivas de redistribución que ayuden a paliar las consecuencias negativas de la automatización de procesos de producción se potenciará la dicotomía entre eficiencia y equidad. Si en el futuro, mecanismos redistributivos como impuestos al uso de robots o sistemas de renta básica universal entran en escena se puede esperar que la sociedad como un todo se beneficie del enorme excedente que producirán los robots y hasta incluso pueda prescindir de trabajar. Si este no es el caso, y las políticas públicas fallan en adaptarse a las nuevas estructuras productivas, las visiones pesimistas sobre el aumento de la desigualdad que hay en la actualidad parecen no ser infundadas.

Con respecto a la literatura existente en el tema, destacamos los trabajos de Acemoglu & Restrepo (2016) y Benzell, Kotlikoff, LaGarda & Sachs (2015) que modelan el impacto de la automatización en el mercado laboral. Acemoglu & Restrepo (2017) también realizan un estudio empírico que concluye que los robots disminuyen el salario y el empleo.

Nuestro trabajo se estructura de la siguiente forma, en la próxima etapa procederemos a presentar el modelo, explicaremos sus supuestos y cómo funciona. Luego elegiremos parámetros para calibrarlo y realizaremos una simulación de la economía. Finalmente presentaremos los resultados del modelo junto con nuestras conclusiones.

Modelo

Nos vamos a enfocar en el lado de la oferta de la economía. Para formalizar las ideas con las que estamos trabajando, vamos a pensar en una función de producción que es una generalización de la función Cobb-Douglas que se suele utilizar en los modelos neoclásicos de crecimiento. En la literatura tradicional el producto se obtiene utilizando dos factores, el capital (K) y el trabajo (N), del siguiente modo:

$$Y = AK^{\theta}N^{1-\theta}$$

La idea es que los dos insumos son indispensables para producir y que individualmente tienen rendimientos marginales positivos pero decrecientes, esto es, dejando el otro insumo constante, aumentar el capital o el trabajo hará crecer el producto final pero cada vez en menor medida. A su vez la función de producción tiene una propiedad muy deseable por sus implicancias que queremos mantener, la de los rendimientos constantes a escala. Esto es:

$$Y(\lambda K, \lambda \mathrm{N}) = A(\lambda K)^{\theta}(\lambda N)^{1-\theta} = \lambda AK^{\theta}N^{1-\theta} = \lambda Y(K,N)$$

Nosotros queremos capturar la idea de que los robots (R), a diferencia del capital, pueden reemplazar a los humanos en el sentido de que los pueden sustituir en su función dentro de la tecnología de producción. Por lo tanto:

$$Y = A\mathrm{K}^{\theta}(N+R)^{1-\theta}$$

Sin embargo, también consideramos que la aparición de los robots no solo sustituye a los trabajadores, sino que complementa a otro tipo de trabajos más sofisticados que serían utópicos sin esa compleja tecnología a disposición. Por eso vamos a pensar que hay dos tipos de trabajos, los tradicionales (Ns), que son tareas que un robot podría hacer sin los humanos y los nuevos (Nr), trabajos más complejos para los cuales los robots van a representar una ayuda adicional. Modelamos la complementariedad de los nuevos trabajos con los robots utilizando una función de Elasticidad de Sustitución Constante con un parámetro $\rho \in (0,1)$, para que cuando la economía asigne recursos para maximizar su producto, en el modelo de una economía dinámica que vamos a estudiar, la aparición de estos nuevos trabajadores sea paulatina, es decir, buscamos que no se vaya a producir de un momento a otro. Agregando estos dos tipos de trabajos y su sustituibilidad y complementariedad para con los robots nos queda:

$$Y = AK^{\theta}\left[Ns + (Nr^{\rho} + R^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{1-\theta}, con\ \rho \in (0,1)$$

Limitar ρ al intevalo $(0,1)$ no es arbitrario. Si ρ fuera un número negativo grande en valor absoluto, entonces:

$$(Nr^{\rho} + R^{\rho})^{\frac{1}{\rho}} \approx\ MIN(Nr, R)$$

En ese caso y también para ρ negativos chicos en valor absoluto, el nivel contratado de Nr será un limitante a la productividad de los robots y eso no es lo que pensamos que sucede. Los robots tienen y tendrán peso propio en la producción independientemente de los nuevos trabajos que aparezcan, no es esperable que las nuevas actividades complementarias a la alta tecnología disminuyan la productividad de estas máquinas. Si pensamos que $\rho \approx 0$, entonces:

$$(Nr^{\rho} + R^{\rho})^{\frac{1}{\rho}} \approx\ NrR$$

De nuevo, la idea se repite. Los robots no tendrían ningún impacto en el producto si no se destinaran trabajadores a Nr y esto no es lo que queremos modelar. Nosotros pensamos que la aparición cada vez más relevante por su magnitud de los robots va a hacer la que, con el tiempo, haga que se desarrollen los nuevos tipos de trabajo sofisticados. Si $\rho > 1$, la productividad marginal de los robots y de Nr caerá si sube el otro insumo, por lo tanto, tendríamos sustituibilidad y no complementariedad como pretendemos. Si $\rho = 1$ tendremos que:

$$(Nr^{\rho} + R^{\rho})^{\frac{1}{\rho}} = Nr + R$$

Y por lo tanto los robots serán tan sustitutos del trabajo tradicional Ns como de los nuevos trabajos Nr y no tendrá ningún sentido hacer una diferenciación entre los dos tipos de trabajo. Teniendo en cuenta todo esto, necesariamente $\rho \in (0,1)$.

Por último, como queremos que nuestra función de producción sea una generalización de la función de producción que se utiliza en un modelo de Solow tradicional, buscamos que, si no se producen robots, en ningún caso se destinen trabajadores al tipo de trabajo sofisticado (Nr). Por eso penalizamos la productividad de este tipo de tareas con un valor $\alpha \in (0,1)$. Vamos a ver que a pesar de que por esta penalización no se van a demandar este tipo de trabajos al comienzo, a medida que los robots vayan apareciendo en la economía, la productividad de este nuevo tipo superará al tradicional. Teniendo en cuenta este último punto, la tecnología de producción queda:

$$Y = AK^{\theta}\left[Ns + ((\alpha Nr)^{\rho} + R^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{1-\theta}, con\ \rho, \alpha \in (0,1)$$

Un punto importante en nuestro modelo es que, para producir robots, la economía solamente necesita utilizar un factor, el capital. Llamaremos Kr a la cantidad de capital que la economía destina a la producción de los robots y Ar a un valor constante que captura qué tanto se necesita de capital para producir una unidad de robots. Aunque podría considerarse la alternativa de que este valor creciera en el tiempo y por lo tanto el costo de producir un robot fuera disminuyendo, para simplificar vamos a pensar que este último parámetro se mantiene constante. Entonces:

$$R = ArKr, con\ Ar\ fijo.$$

Para diferenciar el capital empleado en la producción de robots con el que se utiliza directamente en la producción del bien final, llamemos a este último Ks. Además, para diferenciar el parámetro que captura la productividad total de los factores del que captura el costo de producción de un robot, llamaremos al primero As. Reemplazando la función de producción de los robots en la función de producción del bien final llegamos a la generalización de la Cobb-Douglas que estábamos buscando y nos servirá para estudiar las implicancias de una economía automatizada:

$$Y(Ns, Nr, Ks, Kr) = AsKs^{\theta}\left[Ns + ((\alpha Nr)^{\rho} + (ArKr)^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{1-\theta}$$

Tomamos a esta tecnología de producción como una generalización de la función Cobb-Douglas porque si $Kr = 0$ y la producción de robots es nula, como los nuevos trabajos son penalizados en su productividad por el parámetro α entonces en todos los casos la economía volcará la totalidad del insumo trabajo disponible en el uso de los trabajos tradicionales Ns y la función de producción podría reescribirse como una función Cobb-Douglas de las que se utilizan en el modelo de Solow.

En todos los períodos la economía va a contar con una dotación finita y positiva de capital y trabajo a utilizar. Por lo tanto, las restricciones de factibilidad son las siguientes:

$$N = Ns + Nr$$

$$K = Ks + Kr$$

Si pensamos en un problema del planificador que busca maximizar el producto dado los insumos que tiene disponible en un período particular, como las productividades marginales de todos los insumos son estrictamente positivas siempre, en ningún caso se van a desperdiciar recursos, esto es, en ningún caso van a quedar insumos sin utilizar. Esto hace que el conjunto de elección en esta economía sea compacto, es decir, cerrado y acotado, porque si se cumplen las condiciones de factibilidad de la economía con igualdad, se pueden elegir $Ns \in [0, N]$ y $Ks \in [0, K]$ y automáticamente Nr y Kr quedarán determinados. Además, como la función de producción es continua, se puede demostrar que existe solución al problema de maximización.

Otra propiedad interesante de nuestra función es su concavidad estricta. Como el conjunto de decisión es convexo entonces se puede demostrar que la solución, además de existir, es única. Utilizando las restricciones de factibilidad de esta economía podemos reescribir la función de producción como:

$$Y(Ns, Ks) = AsKs^{\theta}\left[Ns + (\big(\alpha(N - Ns)\big)^{\rho} + \big(Ar(K - Ks)\big)^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{1-\theta}$$

Para simplificar notación, sea $\beta = \big(\alpha(N - Ns)\big)^{\rho} + \big(Ar(K - Ks)\big)^{\rho}$. Entonces podemos expresar las condiciones de primer orden del problema anterior de la siguiente manera:

$$(Ns)\text{: } AsKs^{\theta}(1-\theta)\left[Ns + \beta^{1/\rho}\right]^{-\theta}\left\{1 + \frac{1}{\rho}\left[\beta^{\frac{1-\rho}{\rho}}\rho(\alpha(N - Ns))^{\rho-1}(-\alpha)\right]\right\}$$

$$(Ks)\text{: } \theta AsKs^{\theta-1}\left[Ns + \beta^{\frac{1}{\rho}}\right]^{1-\theta} + AsKs^{\theta}(1 - \cdots$$

$$\ldots\theta)\left[Ns + \beta^{1/\rho}\right]^{-\theta}\left\{\frac{1}{\rho}\left[\beta^{\frac{1-\rho}{\rho}}\rho(Ar(K - Ks))^{\rho-1}(-Ar)\right]\right\}$$

En ningún caso se puede despejar una forma cerrada como solución a esta maximización, pero informalmente podemos caracterizar un poco el problema de decisión de este planificador. Dado un nivel $Ks \in [0, K]$ fijo, si la primera condición fuera igual a un número positivo para algún valor de $\boldsymbol{Ns}$**,** entonces la economía querría subir la cantidad de trabajo empleada en el sector tradicional y disminuir la cantidad de trabajo empleada en el sector que es complementario a los robots. Si la primera condición resultara equivalente a un número negativo entonces querría disminuir la cantidad de factor trabajo utilizada en el sector tradicional y aumentar lo que se utiliza en el nuevo sector. Si la condición fuera igual a cero entonces nos encontraríamos frente a una solución interior en lo que hace a la repartición óptima del factor trabajo puesto que las productividades marginales del trabajo en los distintos sectores coincidirían. De igual manera se podría hacer un análisis similar para la segunda condición, que determina la repartición óptima de capital entre sus dos usos alternativos, dado un nivel de trabajo N$s \in [0, N]$ fijo.

Como pensamos nuestro problema como un modelo dinámico en tiempo discreto, nos queda caracterizar las funciones que permiten evolucionar a la economía en función de una dotación inicial de capital y trabajo que normalizaremos a 1. Como nuestro objetivo es ver las implicancias de la aparición de los robots y no pretendemos explicar el crecimiento de la economía, vamos a pensar que la productividad total de los factores crece a una tasa bruta constante y exógena, entonces:

$$As_{t+1} = \gamma As_t$$

Para simplificar el modelo y sacarnos de encima el problema intertemporal que puede tener un agente que elige óptimamente cuánto ahorrar y cuánto trabajar en función de sus preferencias en un mercado competitivo, vamos a suponer que el ahorro (S) es una constante en esta economía y que el consumo agregado es una proporción fija del producto final. Recordemos que este último se obtiene luego de que el planificador maximiza eligiendo óptimamente la repartición del capital y el trabajo en los dos sectores disponibles para cada factor. Entonces, para todos los períodos:

$$C_t = (1 - S)Y_t$$

Vamos a definir el consumo per cápita como el consumo agregado dividido por el total del factor trabajo disponible en un período dado, que nosotros vamos a pensar como equivalente al total de la población:

$$c_t = \frac{C_t}{N_t}$$

La evolución de la población, respetando el espíritu del modelo de Malthus, va a ser una función que dependa del consumo per cápita. Sin embargo, en la simulación de la economía que vamos a hacer más adelante, vamos a pensar que esta función va a ser decreciente en el consumo per cápita. Este punto es coherente con lo que se observa en la dinámica demográfica de los últimos años, a mayor riqueza y desarrollo de una economía, esto es, a mayores niveles de consumo per cápita, menores tasas de fertilidad y por lo tanto menores tasas de crecimiento de la población.

$$N_{t+1} = N_t\big(1 + G(c_t)\big) \; con \; G'(c_t) < 0$$

La regla de acumulación agregada del capital de esta economía es la tradicional, se puede transformar linealmente producto de un período en capital a utilizar en el próximo período. Sumado a esto, vamos a pensar que existe una tasa de depreciación del capital ($\boldsymbol{\delta}$) positiva. Por lo tanto, el capital disponible para el próximo período será lo que no se consumió del producto en el período actual más lo que sobre de capital luego de sufrir la depreciación. Entonces:

$$K_{t+1} = SY_t + (1 - \delta)K_t$$

De esta forma, en nuestra economía, dados un N, K y una productividad total de los factores iniciales, un planificador va a maximizar el producto, del cual utilizará una fracción para obtener capital el próximo período y otra fracción para el consumo de la población, que a su vez servirá para que la población crezca y haya más trabajo disponible el próximo período.

Como dijimos antes, nuestra función de producción mantiene la propiedad deseable de la función Cobb-Douglas de tener rendimientos constantes a escala. Esto es:

$$Y(\lambda Ns, \lambda Nr, \lambda Ks, \lambda Kr) = As(\lambda Ks)^{\theta}\left[\lambda Ns + ((\lambda\alpha Nr)^{\rho} + (\lambda ArKr)^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{1-\theta}$$

$$= \lambda AsKs^{\theta}\left[Ns + ((\alpha Nr)^{\rho} + (ArKr)^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{1-\theta}$$

$$= \lambda\, Y(Ns, Nr, Ks, Kr)$$

En nuestro problema estamos pensando que un planificador busca maximizar el consumo de un agente representativo dada la tecnología de producción y que el consumidor no valora el ocio y por lo tanto ofrece inelásticamente su dotación de tiempo en trabajo. A su vez simplificamos el problema intertemporal haciendo que la economía ahorre una fracción fija de su producto. Por lo tanto, el problema del planificador es maximizar el producto, dados los insumos disponibles, en cada período. Se puede demostrar que este problema es Pareto óptimo y dada la forma funcional de la tecnología de producción, que tiene rendimientos constantes a escala, también se puede demostrar que se llegaría a la misma solución en un equilibrio competitivo con una firma tomadora de precios tanto en el mercado de bienes como en el de factores.

En ese caso, si la utilización del insumo en un sector es positiva, la productividad marginal de cada factor será igual al precio de equilibrio que se deberá pagar para contratar el insumo. Esto es:

$$Pmg\ Ks = As\left[Ns + ((\alpha Nr)^{\rho} + (ArKr)^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{1-\theta} \theta Ks^{\theta-1} = r$$

$$Pmg\ Kr = AsKs^{\theta}(1-\theta)\left[Ns + ((\alpha Nr)^{\rho} + (ArKr)^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{-\theta} \ldots$$

$$\ldots [(\alpha Nr)^{\rho} + (ArKr)^{\rho}]^{\frac{1-\rho}{\rho}}(ArKr)^{\rho-1}Ar = r$$

$$Pmg\ Ns = AsKs^{\theta}(1-\theta)\left[Ns + ((\alpha Nr)^{\rho} + (ArKr)^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{-\theta} = Ws$$

$$Pmg\ Nr = AsKs^{\theta}(1-\theta)\left[Ns + ((\alpha Nr)^{\rho} + (ArKr)^{\rho})^{\frac{1}{\rho}}\right]^{-\theta} \ldots$$

$$\ldots [(\alpha Nr)^{\rho} + (ArKr)^{\rho}]^{\frac{1-\rho}{\rho}}(\alpha Nr)^{\rho-1}\alpha = Wr$$

En este punto es necesario detenerse y explicar lo que sucede con cuidado. En la dinámica de nuestro modelo, a medida que va pasando el tiempo, la productividad va subiendo y el capital acumulado de la economía también, la cantidad total producida de robots va a ser muy importante y eso va a generar que la economía querría mandar la totalidad de su dotación de trabajo disponible al sector que es complementario a los robots. Vamos a suponer que esto no va a ser posible, es decir, va a haber un tope máximo de trabajadores que van a poder emplearse en este nuevo sector. Definiremos como $\boldsymbol{\lambda} \in (0,1)$ a la proporción del total de los trabajadores que sólo pueden emplearse en el sector tradicional (Ns), que es susceptible de ser reemplazado por robots. Este número exógeno lo podemos interpretar como una barrera educativa. Como los trabajos complementarios a los robots son sofisticados y complejos, sólo una pequeña proporción de la población va a estar capacitada para poder realizarlos. En concreto, para todos los períodos:

$$Nr \leq (1-\lambda)N$$

Esta barrera educativa exógena que imponemos y que nos parece muy representativa de lo que ocurre va a generar que, mientras la solución óptima Nr^* sea inferior a la cota superior, habrá solución interior, las productividades marginales de los dos tipos de trabajos serán iguales y el salario que los trabajadores de los dos sectores cobren será el mismo:

$$Ws = Wr$$

Pero una vez que el óptimo estuviese por encima de esa cota (y eso va a suceder en algún momento del tiempo porque se demanda más trabajo ahí por la acumulación de los robots), necesariamente el trabajo contratado en el nuevo sector será el la fracción máxima que se puede emplear ahí y como, en términos de mercado, la oferta va a ser inferior a lo que se demanda por ese insumo, el trabajo en el sector complementario a los robots percibirá un salario superior al que se obtendrá en el sector tradicional, dado que las productividades marginales de los dos tipos serán diferentes. Entonces:

$$Ws < Wr$$

Se puede demostrar que como el capital que no se utiliza en la producción de los robots es indispensable para que el producto sea positivo, siempre se va a emplear una fracción positiva ahí. Como no hay ninguna restricción a la decisión óptima de repartición del capital más allá de las condiciones de factibilidad de la economía, una vez que se produzcan robots, esto es, se utilice capital en ambos sectores, necesariamente la productividad del capital empleado en las dos alternativas será la misma y por lo tanto el retorno como pago del insumo también.

El pago a los factores va a ser muy importante en nuestro modelo porque nos permite estudiar las consecuencias sociales de la robotización. La restricción presupuestaria de un individuo cualquiera de esta economía replica a pequeña escala lo que sucede con la economía en el agregado. Sea W_i el ingreso que el individuo percibe en el mercado por la cantidad de trabajo que ofrece. Como no hay ocio y normalizamos la cantidad total de tiempo a 1, esto es también la cantidad total de tiempo que el individuo trabaja. El individuo puede estar cobrando el único salario de la economía si estamos en un período con solución interior o alguno de los dos salarios que hay cuando la cota máxima al trabajo calificado está activa. Si cobra el salario alto o bajo depende de qué tipo de trabajo sea el que este individuo ofrece. A su vez, el individuo también cobra por ofrecer la porción de capital que posee.

Como todas las firmas tienen rendimientos constantes a escala entonces en equilibrio no perciben beneficios y por eso los beneficios de las firmas no forman parte de los ingresos de los individuos en las restricciones presupuestarias desagregadas. Llamemos Y_i el ingreso total del individuo en un período, entonces:

$$Y_i = W_i + rK_{t,i}$$

Vamos a pensar que, al igual que en el agregado, cada individuo consume una proporción S de su ingreso, ahorra una proporción (1-S) y sufre una tasa de depreciación de su capital igual a $\boldsymbol{\delta}$**.** Por lo tanto, la restricción presupuestaria de un individuo es:

$$C_i + K_{t+1,i} - (1-\delta)K_{t,i} = W_i + rK_{t,i}$$

Es importante notar que si sumamos estas restricciones para todos los individuos obtendremos las restricciones agregadas que definimos más arriba para el total de la economía. También se puede ver que un planificador que busque maximizar la suma de los consumos individuales, esto es, que le dé el mismo peso a cada individuo en su función de bienestar social agregada, dado que el ahorro ya está definido exógenamente, buscará maximizar el producto.

Más adelante vamos a ver en la simulación de la economía que la participación del capital en el producto total va a tender a ser total, uno de los resultados más importantes de nuestro modelo. Lo mismo sucederá entonces para los individuos cuando los miramos por separado, su riqueza estará prácticamente definida por el capital que tengan y no por el salario que cobren. Considerando el hecho de que en esta economía las familias que arranquen con un capital inicial superior a las otras tenderán a aumentar la brecha con el tiempo porque el capital acumula capital entonces la dinámica hará que la sociedad se vuelva extremadamente desigual. A mayor capital que tenga un individuo hoy, mayor capital tendrá mañana y la riqueza, con el tiempo, prácticamente estará definida por completo por el capital.

Otro punto importante que consideramos necesario remarcar y que ayuda a clarificar que no estamos haciendo supuestos demasiado restrictivos es que estudiar una única firma representativa tomadora de precios en el equilibrio competitivo es algo completamente ilustrativo, como explicaremos a continuación. En Krueger (2012) se demuestra una implicancia muy interesante de las tecnologías que tienen rendimientos constantes a escala y que nosotros queremos generalizar para una función con más de dos factores. El número de firmas operando en nuestro equilibrio competitivo alternativo al problema del planificador es indeterminado, puede ser una o un millón. Para ver esto usamos que las productividades marginales son homogéneas de grado 0, por Euler:

$$F_{Ns}(\lambda Ns, \lambda Nr, \lambda Ks, \lambda Kr) = F_{Ns}(Ns, Nr, Ks, Kr)$$

$$F_{Nr}(\lambda Ns, \lambda Nr, \lambda Ks, \lambda Kr) = F_{Nr}(Ns, Nr, Ks, Kr)$$

$$F_{Ks}(\lambda Ns, \lambda Nr, \lambda Ks, \lambda Kr) = F_{Ks}(Ns, Nr, Ks, Kr)$$

$$F_{Kr}(\lambda Ns, \lambda Nr, \lambda Ks, \lambda Kr) = F_{Kr}(Ns, Nr, Ks, Kr)$$

Por lo tanto, vale que:

$$F_{Ns}(Ns, Nr, Ks, Kr) = F_{Ns}\left(1, \frac{Nr}{Ns}, \frac{Ks}{Ns}, \frac{Kr}{Ns}\right) = Ws$$

$$F_{Nr}(Ns, Nr, Ks, Kr) = F_{Nr}\left(\frac{Ns}{Nr}, 1, \frac{Ks}{Nr}, \frac{Kr}{Nr}\right) = Wr$$

$$F_{Ks}(Ns, Nr, Ks, Kr) = F_{Ks}\left(\frac{Ns}{Ks}, \frac{Nr}{Ks}, 1, \frac{Kr}{Ks}\right) = r$$

$$F_{Kr}(Ns, Nr, Ks, Kr) = F_{Kr}\left(\frac{Ns}{Kr}, \frac{Nr}{Kr}, \frac{Ks}{Kr}, 1\right) = r$$

De la primera ecuación concluimos que no importa el nivel de Ns que elija una firma representativa, todas las firmas contratarán el mismos ratio de insumos corregido por Ns. De las otras tres concluimos lo mismo, no importa los niveles que se contraten, los ratios con respecto a todos los insumos se respetarán para todas las firmas.

Por lo tanto, en un mercado competitivo en el que el precio del bien final y el de los insumos viene dado, la combinación de factores que las firmas demandarán será independiente del nivel que terminen demandando, esto es, no dependerán del tamaño de la firma. Por lo tanto, si consideramos una firma representativa que tiene unos costos totales dados por los insumos totales que termina demandando y muchas firmas menores, de tamaños distintos, pero cuyos costos totales agregados terminan siendo idénticos que el de la firma representativa entonces la suma del producto de las firmas pequeñas será igual al producto de la firma representativa.

Simulación dinámica de la economía

Dado que las soluciones del problema de maximización del planificador no se pueden expresar en ecuaciones cerradas, usamos técnicas computacionales para poder simular el modelo dinámico de esta economía. La simulación comienza en 1960 y se puede extender hasta cuando uno quiera, pensamos cada año como un período de nuestro modelo. Normalizamos el stock de capital (K), trabajo (N) y productividad total de los factores (As) para que valgan 1 en 1960. Como sabemos que en ese año no hubo robots en el sentido en el que los pensamos nosotros, podemos pensar que, en esos primeros años de simulación, cuando todavía no se le daba otro uso al capital más que para acompañar al trabajo tradicional, la economía todavía se encontraba en una etapa explicable por el modelo de Solow y una función de producción Cobb-Douglas que, en 1960, termina produciendo 1 unidad de bien final.

Los valores de los parámetros que tomamos para nuestro modelo son los siguientes:

$$Ar = 0{,}53$$

$$S = 0{,}2$$

$$\theta = 0{,}4$$

$$\gamma = 1{,}011$$

$$\delta = 0{,}2$$

$$\rho = 0{,}6$$

$$\alpha = 0{,}2$$

$$\lambda = 0{,}95$$

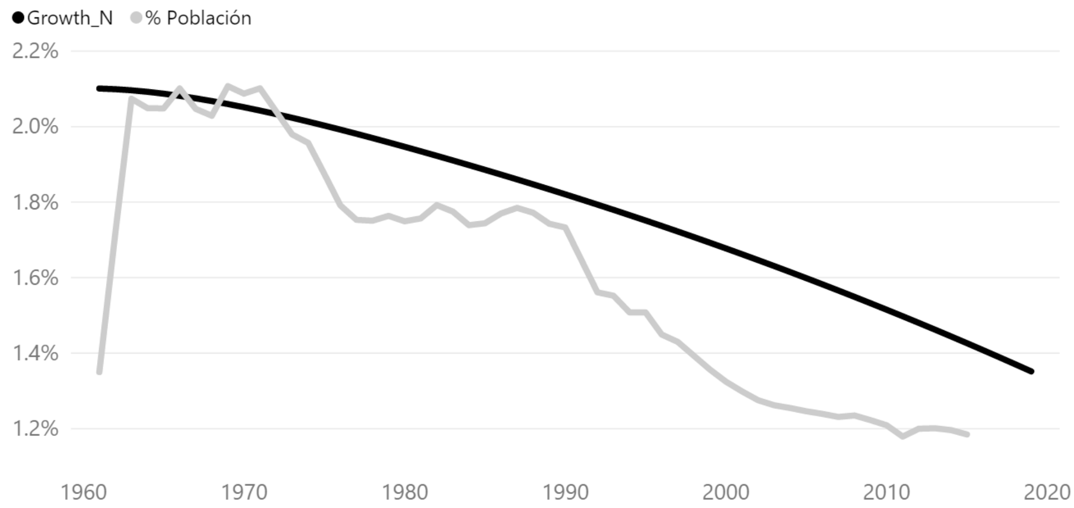
Hay parámetros cuyos valores fueron específicamente elegidos por algún motivo, θ corresponde al valor que Hansen y Prescott (2002) asignan a la participación del capital en una tecnología de Solow, basándose en datos de participación de los factores de Estados Unidos en la posguerra. La tasa de aumento porcentual bruta de la productividad (γ) está tomada del mismo trabajo de los mismos autores y es consistente con el crecimiento porcentual del Producto Bruto Interno per cápita también en la Estados Unidos de posguerra. La tasa de ahorro es una simplificación de la que aproximadamente se puede ver en el mundo en base a datos del Banco Mundial. Los valores de los otros parámetros son arbitrarios, pero de ninguna manera definen los resultados cualitativos a los que vamos a llegar.

La función arbitraria que elegimos para definir el crecimiento poblacional cumple con que la fertilidad de la población disminuye con el consumo per cápita. Esta función, que predice relativamente bien el cambio verdadero en la población mundial observable en datos del Banco Mundial, es:

$$G(c_t) = \frac{1}{17 * (c_t + 2)}$$

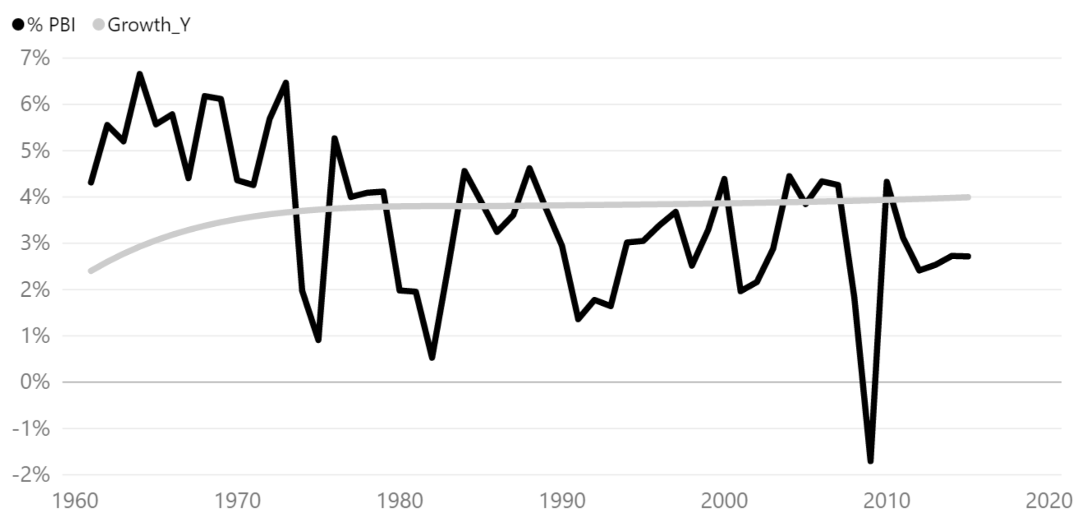
A continuación, vamos a presentar unos gráficos que pretenden mostrar que el modelo, con los parámetros que definimos, explica relativamente bien el cambio porcentual en la población y el producto mundiales usando datos del Banco Mundial como referencia y la cantidad de robots en el mundo según datos provistos por IFR-World Robotics.

Gráfico 1: Cambio Porcentual en la Población Mundial Datos y Modelo



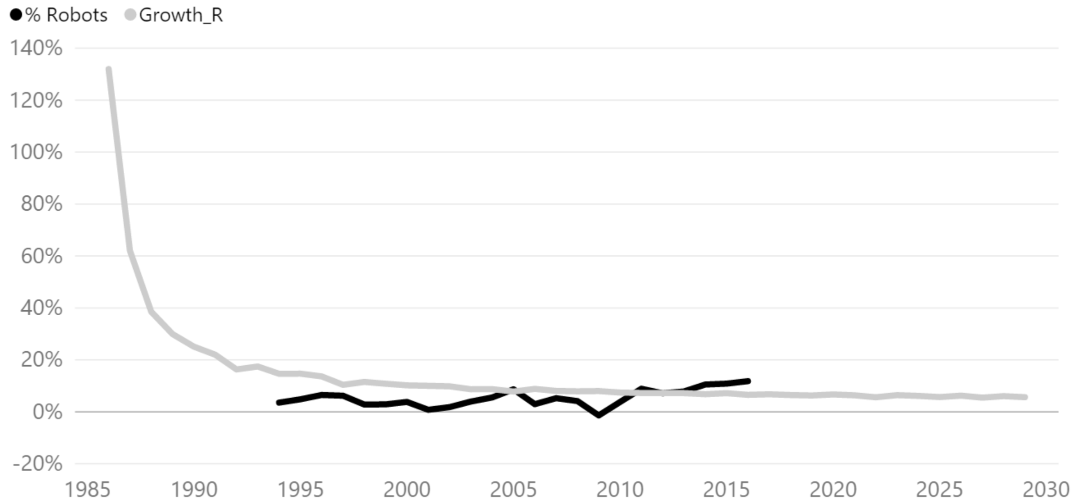
En este primer gráfico vemos que el modelo captura la desaceleración del crecimiento poblacional en la segunda mitad de este siglo. Partiendo de tasas de aumento anuales del 2% en 1960 pasamos al aproximadamente 1,5% en la actualidad, con una tendencia que parece que se va a seguir manteniendo, según la fertilidad continúe disminuyendo con el aumento del consumo per cápita.

Gráfico 2: Cambio Porcentual en el Producto Mundial Datos y Modelo



En este segundo gráfico se observa que la variación del producto en nuestro modelo se parece mucho a la variación real si le sacamos las fluctuaciones propias del ciclo económico. Sin embargo, es importante recordar que nuestro modelo no explica endógenamente el aumento de la productividad total de los factores que es el motor principal del crecimiento económico junto con la acumulación de los factores. Nuestro objetivo es ver las consecuencias económicas cualitativas de una tecnología de producción con participación creciente de robots, con estos gráficos simplemente queremos mostrar que los parámetros que elegimos son razonables en términos de magnitudes, aunque esto no sea central para nuestras conclusiones.

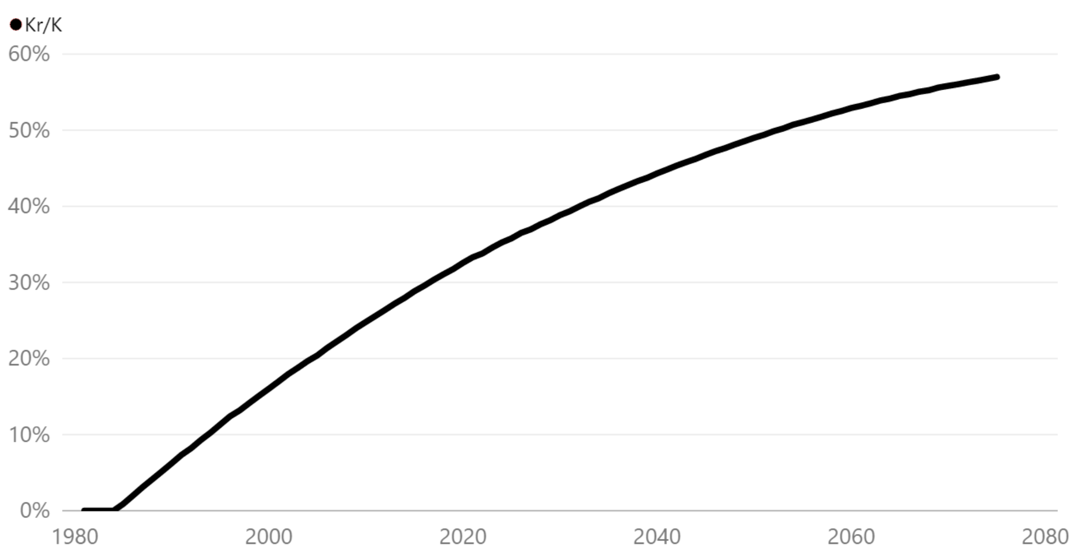
Gráfico 3: Cambio Porcentual en la Cantidad de Robots en el Mundo Datos y Modelo



Con este gráfico queremos mostrar que una vez que la cantidad de robots en el mundo se estabiliza, aproximadamente a mediados de la década de 1990, los valores de cambio porcentuales anuales en la cantidad de robots se parecen mucho a los valores verdaderos que provee la IFR-World Robotics luego de sacarle las fluctuaciones propias del ciclo económico, esto es, aproximadamente 7%. Esto prueba que el fenómeno de los robots como agente con peso propio en la economía es algo que parece irreversible por el sostenido y sorprendente aumento anual en la cantidad total mundial y de alto impacto como ya vamos a ver.

Ahora pasamos a estudiar los resultados cualitativos que se obtienen de nuestro modelo. Independientemente de los parámetros que elegimos para la simulación, uno de los resultados robustos que observamos es que con el tiempo la economía vuelca sus recursos al sector robots, esto es, destina una fracción mayor de su capital a producirlos y una fracción mayor del total de la población a actividades sofisticadas que se vuelven factibles y altamente productivas por la ayuda robótica.

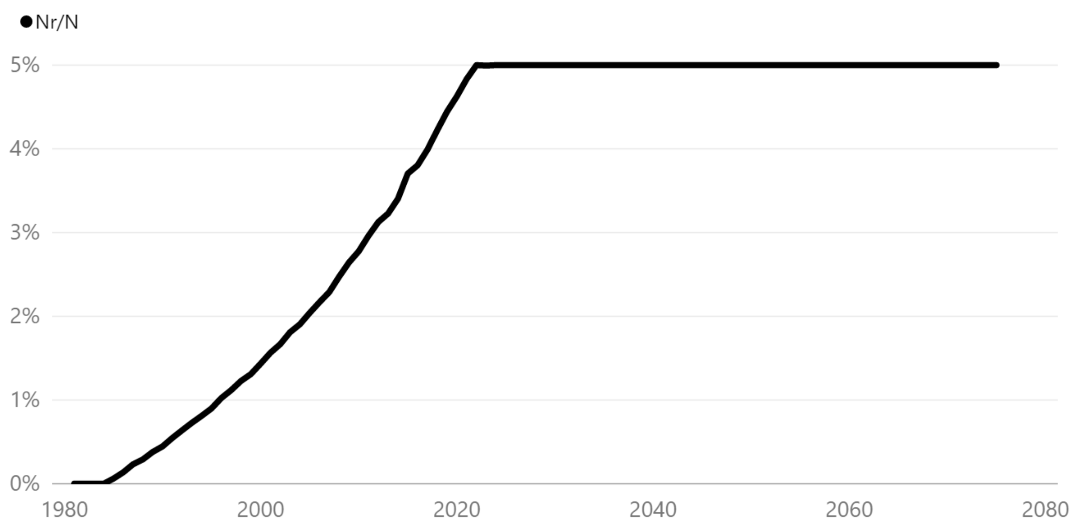
Gráfico 4: Fracción del Capital destinado al Sector Robots



Un resultado muy interesante es que, en el largo plazo, la fracción del capital total destinado al sector robots tiende a $(1-\theta)$ que es la participación del factor trabajo en la tecnología de producción Cobb-Douglas que caracteriza al modelo de Solow. En nuestro modelo el capital, a través de la producción de robots, se vuelve suficiente para producir bienes finales, es decir, no necesita del factor trabajo. El bien final se puede consumir, pero también sirve para generar más capital y, como vamos a ver, con el tiempo este factor va a ser el que domine la economía en términos de participación en el producto y la repartición óptima se va a parecer mucho al problema de elegir el Kr que maximice $(K-Kr)^{\theta}Kr^{1-\theta}$ cuya solución termina siendo que Kr sea una fracción $(1-\theta)$ del capital total. Esto se puede traducir en que el factor trabajo con el tiempo terminará siendo irrelevante en el problema de repartición óptima del capital.

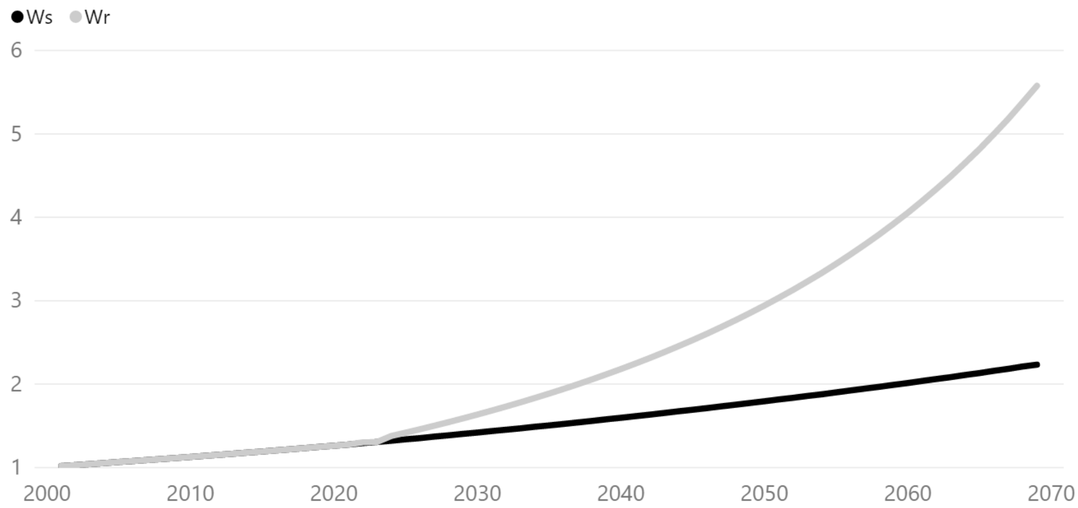
En lo que respecta a la colocación del factor trabajo en las nuevas actividades sofisticadas (Nr), observamos que a medida que la cantidad total de robots en la economía va aumentando, la productividad de este tipo de trabajo va subiendo y por lo tanto también sube la fracción que Nr representa sobre el total de la fuerza laboral disponible.

Gráfico 5: Fracción del Trabajo Destinado al Sector Robots



Como es de esperar, llega un punto en el que la restricción que impedía a una fracción λ del total de la población trabajar en el nuevo sector se vuelve activa y la economía no puede seguir moviendo recursos hacia este nuevo sector. Esto va a generar el primer resultado de inequidad de nuestro modelo. Puesto en términos de equilibrio competitivo, la oferta de trabajos calificados, por una restricción que podemos pensar como educativa, va a ser inferior a la demanda que las firmas requerirían dada la enorme productividad que ofrecen las actividades complementarias a los robots. La otra cara de la moneda es el exceso de oferta que habrá en el mercado de trabajo tradicional Ns. Lógicamente, la diferencia en las productividades de los dos tipos de trabajo deriva en una diferencia en los salarios que son los que retribuyen en el mercado el aporte marginal en términos de producto de cada tipo de trabajador.

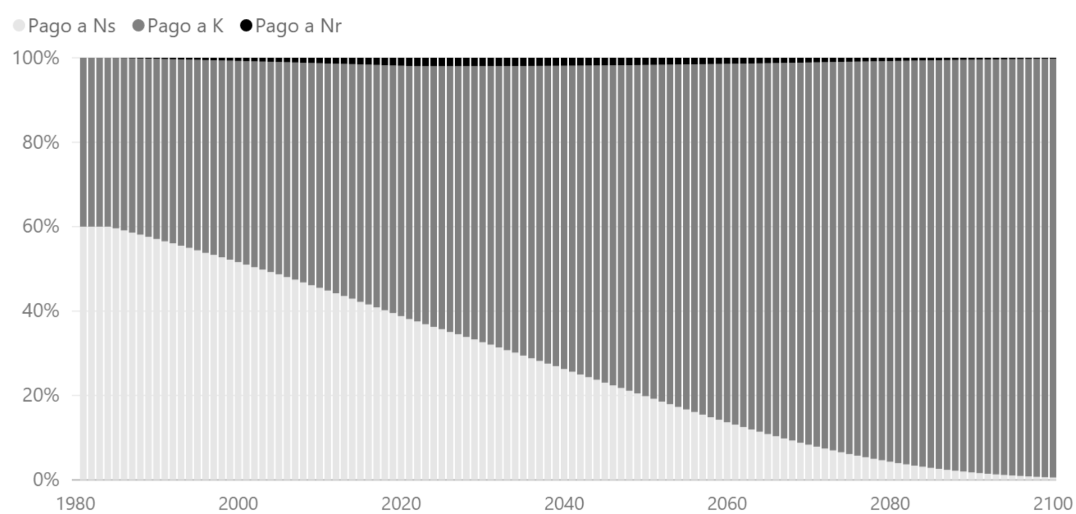
Gráfico 6: Salario de Trabajadores Sustituibles y Complementarios



Es importante entender que la primera divergencia de salarios coincide temporalmente con el momento en el que la restricción de educación, la cota máxima al trabajo empleado en el nuevo sector sofisticado se vuelve activa. El modelo plantea que la aparición de los robots por si misma, que se da unos años atrás, no implica que el pago a los trabajadores complementarios sea mayor al pago a los trabajadores sustituibles sino que esta fuente de inequidad deviene del hecho de que la población no le puede seguir el ritmo a los robots y no puede satisfacer, en términos de oferta, ese corrimiento hacia nuevas actividades más sofisticadas que, entendemos, requerirían un capital humano que en muchos casos una parte importante de la población se va a ver impedida de alcanzar.

La otra fuente de inequidad proviene del hecho de que el factor trabajo se vuelve redundante en esta economía, es decir, solamente con capital, a través de la producción de robots que pueden sustituir el trabajo humano en la tecnología de producción, alcanza para obtener el bien final. El resultado más importante de nuestro modelo es que en el largo plazo la participación del capital en el producto final tiende a ser total, como vemos a continuación.

Gráfico 7: Pago a Cada Factor sobre el Total del Producto



Para entender el impacto que esto tendrá en la distribución de la riqueza, recordemos la restricción presupuestaria de un individuo en esta economía:

$$C_i + K_{t+1,i} - (1-\delta)K_{t,i} = W_i + rK_{t,i}$$

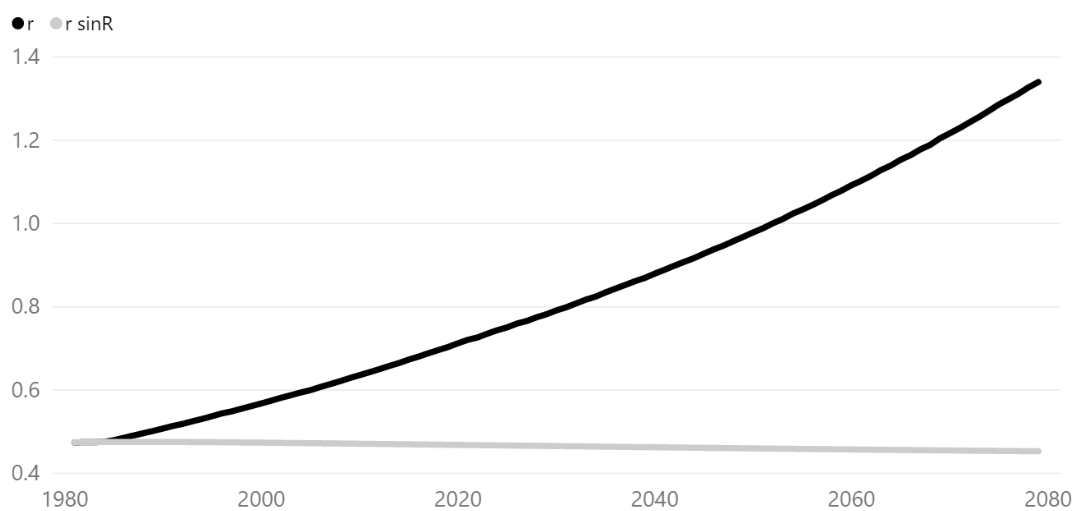
Las personas tienen dos fuentes de ingresos, el salario que perciben y el retorno que obtienen por el capital que ofrecen al mercado. Así como en el agregado la participación del capital en el producto total tiende a 1, de igual manera la riqueza de cada individuo va a terminar estando definida, básicamente, por el capital que posea y no por el salario que tenga. Dado que el capital atrae más capital porque a través del ahorro los individuos van aumentando su stock, el reparto inicial del capital de esta economía terminará determinando la posición final del individuo en la distribución de riquezas de largo plazo.

Como veremos a continuación la aparición de los robots tendrá un enorme impacto positivo en el producto y en el consumo per cápita, pero el resultado de nuestro modelo es que la contracara de este fenómeno será una creciente desigualdad en la distribución de riquezas de las personas dado que esta va a estar determinada por el capital que el individuo tenga en su poder.

Uno de los puntos salientes de nuestro ejercicio de estudiar una economía con una tecnología de producción con robots es que, a diferencia de lo que se puede hacer con datos empíricos, estamos en condiciones de poder realizar simulaciones contrafácticas que nos permitirán comparar el desarrollo de la economía con un mundo en el que los robots no hubieran aparecido, esto es, un mundo con una tecnología de producción Cobb-Douglas propia de una economía de Solow como la que observamos desde la Revolución Industrial.

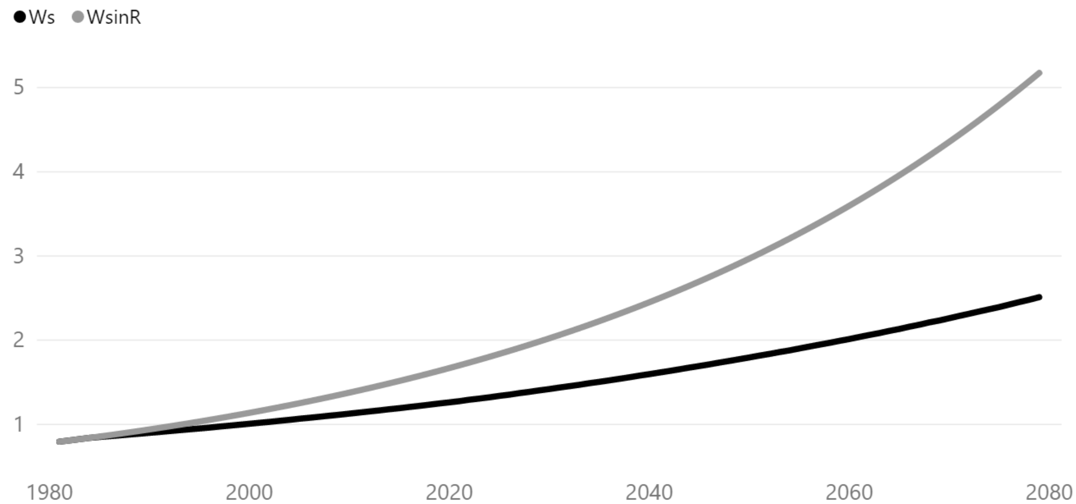
En primer término, dado que en una economía con robots el capital tiene otro uso que aumenta notablemente su productividad, es esperable que en términos de mercado el retorno al capital se vuelva mucho más notable, como termina pasando.

Gráfico 8: Retorno al Capital con y sin Robots



Algo parecido pasa con el salario del trabajador susceptible de ser sustituido por robots, pero en sentido contrario, esto es, el salario tradicional en esta nueva economía será más bajo del que los trabajadores percibirían de no haberse producido robots. En este sentido, puede decirse que la preocupación de buena parte de la población de verse perjudicada en términos salariales está bien fundada, aunque la verdadera causa subyacente de este problema sea la poca flexibilidad que tiene una fracción de la fuerza laboral para poder amoldarse a las nuevas formas de producción.

Gráfico 9: Salario del Trabajador Sustituible con y sin Robots



Más allá de estos problemas distributivos graves que se generarán, es indudable que la aparición de los robots tendrá un impacto en términos de productividad final y consumo per cápita enormemente positivo, como veremos a continuación.

El consumo per cápita, que en una economía de Solow hubiera estado condenada a estabilizarse en un aumento del 2% anual, con la aparición de los robots terminará explotando en el largo plazo, con aumentos estimados para la segunda mitad de este siglo que superan el 5% anual y una tendencia en los cambios porcentuales ascendente.

Algo parecido ocurre con el producto mundial, con una tecnología sin robots la tasa de crecimiento hubiera empezado a declinar en el largo plazo. Con robots esta tendencia no solo se detiene, sino que se revierte. El producto, al igual que el consumo per cápita, también termina explotando en el largo plazo.

Gráfico 10: Cambio Porcentual en el Consumo per Cápita

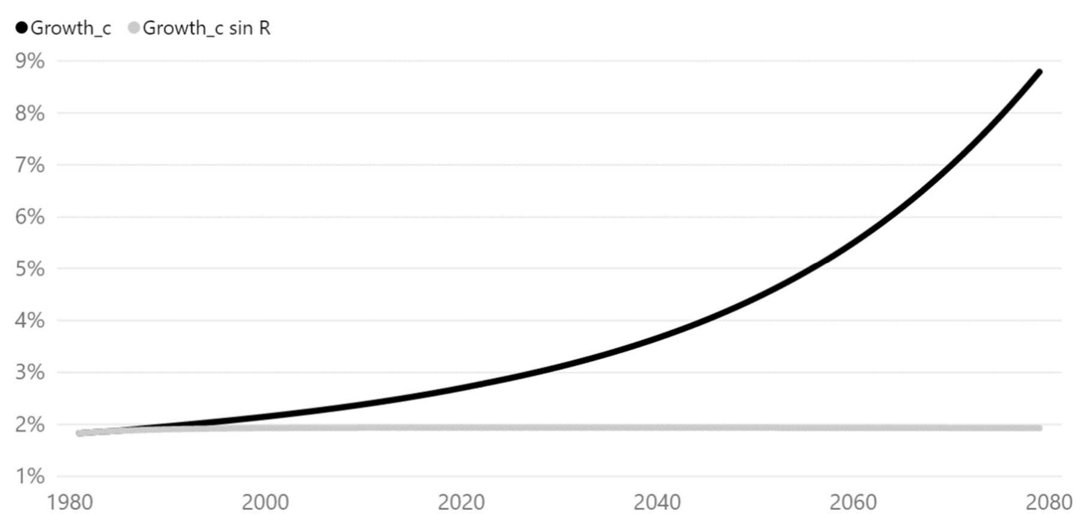
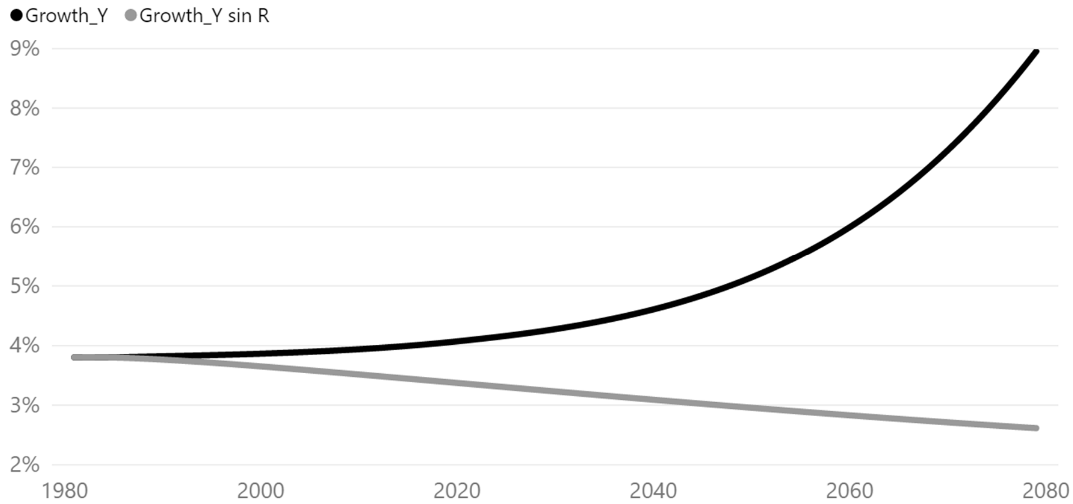
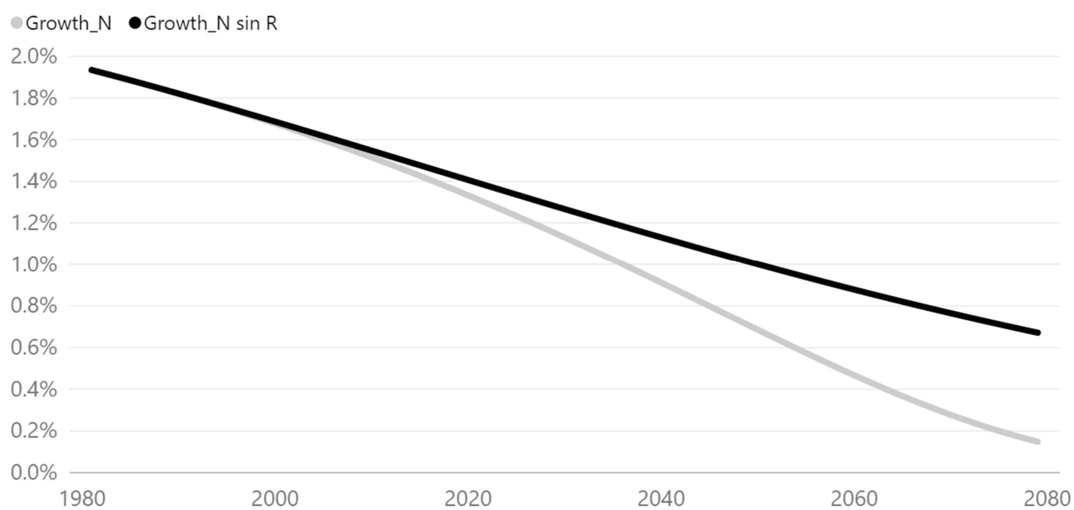


Gráfico 11: Cambio Porcentual en el Producto con y sin Robots



Por último, dado que supusimos que el cambio en la población mundial depende negativamente del consumo per cápita y este aumenta sensiblemente con la aparición de los robots, es natural pensar que este fenómeno que estamos observando llevará a que en el largo plazo la población mundial termine creciendo mucho menos de lo que crecería si no existiera la alternativa al uso del capital que definimos con la nueva tecnología de producción.

Gráfico 12: Cambio Porcentual en la Población con y sin Robots



Conclusiones

Dado que la economía encuentra en los robots una forma alternativa de utilizar el capital que permite ocupar la parte que antes representaba el trabajo en la tecnología de producción y a su vez desarrolla y potencia nuevas actividades más complejas que representaran en lo posible un mejor uso del factor trabajo, con el tiempo se van a volcar los recursos disponibles hacia este nuevo sector. A medida que pase el tiempo, una fracción mayor del capital se utilizará en producir robots hasta converger a una repartición óptima que implique tener cierta cantidad de robots utilizando el resto del capital sobrante en forma de máquinas para maximizar el producto final. De la misma manera, se moverán trabajadores desde el sector tradicional al nuevo tipo de trabajo hasta la fracción que la flexibilidad de la fuerza laboral dado el nivel de capital humano a disposición lo permita.

Este movimiento de los recursos disponibles va a tener un enorme impacto positivo en la senda del producto y el consumo per cápita mundiales. Es indudable que, si la economía tiene a disposición una tecnología más compleja a utilizar y su objetivo es maximizar el producto, esto es, el tamaño de la torta final independientemente de su repartición, entonces si en equilibrio se terminan produciendo una enorme cantidad de robots es porque es redituable dedicar una enorme dotación de recursos a esa nueva actividad. El aumento exponencial en la producción de los robots no sólo viene dado por el crecimiento exógeno en la productividad total de los factores que le impusimos a la economía sino por el proceso de acumulamiento natural del stock del capital que termina buscando usos alternativos para mantener niveles de productividad altos.

Con respecto a la brecha salarial que se genera con la aparición de los robots, es importante remarcar que esto es consecuencia de la falta de flexibilidad por parte del total de la población para poder realizar las nuevas tareas complementarias a la tecnología automatizada. Si no tuviéramos restricciones en este sentido, observaríamos que el total de la fuerza laboral se terminaría dedicando a estos nuevos tipos de trabajos y de ninguna forma habría diferencias salariales que se generen por diferencias en la productividad. Si tenemos fricciones en el mercado laboral, de los ejercicios contrafácticos concluimos que el salario de los que no se lleguen a adaptar a la nueva economía será más bajo del que tendría si no se produjeran robots.

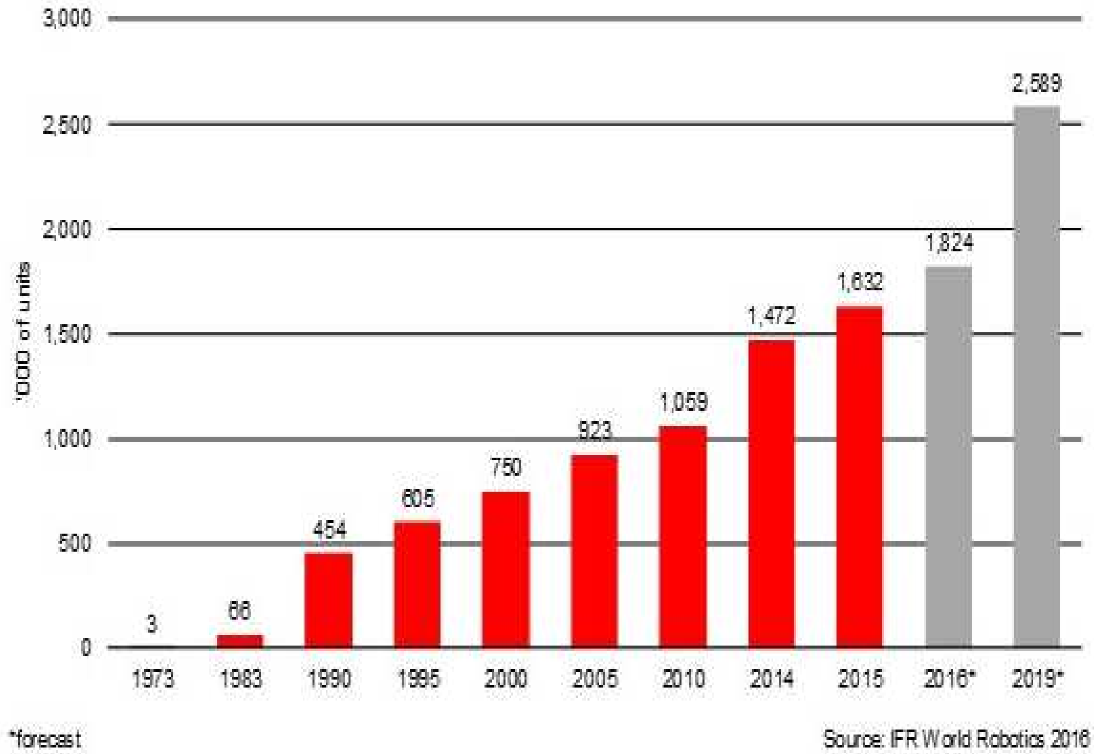
El resultado más importante de nuestro modelo es que en el largo plazo el capital se apropia del total del producto de la economía en términos de retribución a los factores. Esta es una consecuencia directa de que con la nueva tecnología el factor trabajo deja de ser indispensable para producir, como sucedía con la función Cobb-Douglas, y que los dueños del capital son autosuficientes para producir el bien final porque los robots, que se producen con capital, pueden manejar el capital sobrante en forma de máquinas como lo hacían los humanos antes. Esto tiene un impacto tremendamente negativo en términos distributivos, ya que la riqueza de las personas también estará definida por el nivel de capital que tengan en su poder y no por el salario que perciban y el capital es altamente concentrable en el sentido de que los que posean un mayor stock en este período serán los que tengan un mayor en el siguiente porque tienen la posibilidad de canalizarlo a través del ahorro.

Esto hace imprescindible que el estado diseñe alguna política de redistribución que de alguna forma haga llegar una mayor proporción del producto a aquellos sectores que no pudieron acumular capital. Nuestra tecnología con rendimientos constantes a escala permite traducir el problema de encontrar un equilibrio competitivo a uno de un planificador que busca asignar recursos para maximizar producto y, de esta manera, en ningún caso dejará insumos sin utilizar. Nuestro enfoque está puesto especialmente en el lado de la oferta de la economía, pero se podría pensar, en un modelo más complejo, que estos problemas distributivos graves pueden terminar en una situación de demanda insuficiente que vuelva completamente inútil producir, dado que no habría un mercado que posea la riqueza suficiente para poder adquirir esos recursos. Pensamos que como los dueños de las firmas tienen incentivos a colocar su producción y los gobiernos tienen incentivos a obtener votos, el panorama general no será tan negativo en términos distributivos y los beneficios del aumento de la producción podrán ser disfrutados por una proporción muy grande de la población.

Para terminar, las conclusiones de nuestro modelo nos llevan a pensar a la economía que describimos como una continuación, una tercera etapa del trabajo de Hansen y Prescott (2002). La función de producción malthusiana dependía de un factor fijo (la tierra) que implicaba que aumentos en la tecnología no se tradujeran en aumentos en el consumo per cápita porque no eran lo suficientemente poderosos como para contrarrestar los aumentos en la población. La revolución industrial trajo consigo una tecnología de producción en la que el capital y el trabajo se combinaron para poder romper con la trampa malthusiana y elevar los niveles de vida de las personas, manteniendo una repartición del producto equitativa entre estos dos insumos. La nueva revolución que vemos, la de los robots, que se puede caracterizar con nuestra función de producción, implicará un salto en términos tecnológicos porque permitirá al capital independizarse del trabajo. Como vimos, esto tiene consecuencias negativas en términos distributivos, pero si la humanidad es lo suficientemente inteligente como para utilizar este aumento de productividad a su favor, está en condiciones de poder desligarse del trabajo que antes estaba obligada a realizar para subsistir. Si sabemos aprovechar las nuevas tecnologías solo necesitaremos un cambio cultural para poder transformarnos en una sociedad enteramente dedicada al ocio.

Apéndice

Estimación mundial del stock operacional de robots industriales. Fuente: IFR



Referencias

Acemoglu, Daron & Restrepo, Pascual (2017) "Robots and Jobs: Evidence from US labor markets" MIT.

Acemoglu, Daron & Restrepo, Pascual (2016) "The Rae Between Mahine and Man: Implications of Technology for Growth, Factor Shares and Employment" MIT.

Benzell, Kotlikoff, LaGarda & Sachs (2015) "Robots Are Us: Some Economics of Human Replacement" Boston University & Columbia University.

Berg, Buffie & Zanna (2016) "Robots, Growth and Inequality" Finance & Development.

Hansen, Gary & Prescott, Edward (2002) "Malthus to Solow" UCLA & University of Minnesota.

Krueger, Dirk (2012) "Macroeconomic Theory" University of Pennsylvania.

Keynes (1930) "Economic Possibilities for Our Grandchildren" en "Essays in Persuation" The Royal Economic Society.