Departamento de Economía
Licenciatura en Economía

PROGRESO TECNOLÓGICO EN LA ERA DE LOS MICROPROCESADORES

Autor: Marco Raballo

Legajo: 22207

Mentor: Daniel Aromí

Victoria, Provincia de Buenos Aires, Julio 2018

Tabla de Contenidos

SECCIÓN 1: Introducción

1. Introducción
2. Preguntas de investigación
3. Justificación de la investigación
4. Metodología de trabajo
5. Alcance de la investigación

SECCIÓN 2: Marco Teórico

1. Tecnología

    1.1. Tecnología de propósito general

2. Progreso tecnológico

    2.1. Investigación y desarrollo

    2.2. Hitos tecnológicos

3. Crecimiento económico

    3.1. Estancamiento secular

4. Progreso tecnológico en relación con el crecimiento económico

    4.1. Modelos de crecimiento con tecnología como variable exógena

        4.1.1. Robert Solow (1956)

    4.2. Modelos de crecimiento con tecnología como variable endógena

        4.2.1. Paul M. Romer (1986) , “Increasing returns and Long-run growth”

        4.2.2. Bart Verspagen (1993), “Growth rate differentials between interdependent economies”

QUAERERE VERUM
Universidad de San Andrés

4.2.3. Aghion y Howitt (1992) “A Model of Growth Through Creative Destruction”

SECCIÓN 3: Progreso tecnológico y su relacion con el crecimiento económico en la historia

1. Motor a vapor y crecimiento económico

2. Electrificación y crecimiento económico

SECCIÓN 4: Tecnología y crecimiento económico en la actualidad

1. Microprocesadores

    1.1. Crecimiento económico en la era de la tecnología informática

2. Análisis comparativo del crecimiento económico en los distintos hitos tecnológicos

SECCIÓN 5: Conclusión y análisis a futuro

1. Progreso tecnológico hoy: ¿Aceleración o alentamiento?

2. Hipótesis a futuro

BIBLIOGRAFÍA

Universidad de SanAndrés

Universidad de
SanAndrés

SECCIÓN 1

INTRODUCCIÓN

QUAERERE VERUM
Universidad de
SanAndrés

SECCIÓN 1: INTRODUCCIÓN

1. Introducción

La tecnología ha sido un motor de transformación a lo largo de la historia de los seres humanos. De alguna manera, representa la materialización del uso de la razón, característica que nos distingue a los humanos del resto del mundo animal.

Tal como deja entrever Robert Solow (1994) la variable tecnológica es el factor principal en la teoría de crecimiento económico.[1] A través del progreso técnico, la utilización de los recursos se vuelve más efectiva para rendir mejores resultados. Por consecuencia, se puede asumir que la tecnología tiene gran incidencia en el desarrollo de la economía de un país.

Joel Mokyr (2014), describe históricamente que antes del siglo XVIII y gran parte del siglo XIX, el crecimiento económico era imperceptiblemente lento y la gran mayoría de la población era tan pobre que cualquier shock negativo en la oferta de comida podía matar a millones de personas. Además, la mitad de los infantes moría antes de los 5 años, y quienes lograban la hazaña de llegar a la adultez, tenían su potencial limitado por enfermedades y analfabetismo, consecuencia de la falta de recursos. A partir del siglo XVIII, las innovaciones y avances en lo que se llamaban "las artes útiles" lentamente comenzaron a mejorar la calidad de vida de los seres humanos. Por lo tanto, el autor cree que lo que cambió este mundo es el crecimiento económico conducido por el progreso tecnológico.

Joel Mokyr no es el único en pensar de esta manera, Brynjolfsson y McAfee (2014) creen en el progreso tecnológico como un factor muy importante en el aumento de la productividad. Ellos citan a Paul Krugman que dice "La capacidad de un país de mejorar los estándares de vida en el tiempo

[1] Hablando del modelo neoclásico de crecimiento económico Robert Solow (1994) dice "…it is a theory of growth that leaves the main factor in economic growth unexplained."

dependen casi enteramente de la habilidad de aumentar la productividad por trabajador"[2]. Por lo tanto dicen los autores, la única manera de incrementar los estándares de vida es que las empresas y trabajadores consigan tener mayor rendimiento a partir de la misma cantidad de recursos.

Manuel Trajtenberg y Timothy Bresnahan (1992), con su modelo de tecnologías de propósito general repasan distintos hitos históricos de innovación, los cuales tuvieron gran incidencia sobre la producción de bienes y servicios. A través de su modelo, analizan la dinámica de las tecnologías de propósito general en la organización industrial. Sin embargo, algunos economistas como Gordon (2012), creen que el crecimiento económico impulsado por el desarrollo tecnológico que se ha visto durante fines del siglo XIX y el siglo XX, hoy en día es inalcanzable. Otros, como Joel Mokyr (2014), aseguran que en el presente se están viendo los frutos de la era digital. Freeman y Soete (2007) opinan que gran parte del crecimiento económico mundial de los últimos 10 años estaría asociado a la aceleración en la difusión de los cambios tecnológicos y el fácil acceso al conocimiento. Mientras tanto, esta exacerbación en la transmisión de conocimiento estaría gestando las nuevas tecnologías que dispararán un crecimiento económico importante. Algunos ejemplos de lo que se vendrá son caracterizados por Joel Mokyr (2002) como la innovación en lo pequeño. Mientras la época del hierro y la electricidad se trataba de desarrollos de megaestructuras, la innovación del siglo XXI pasa por el desarrollo de lo "pequeño" como el grafeno, las impresoras 3D, la inteligencia artificial, la robótica, los microprocesadores, etc. Este enfrentamiento de perspectivas entre Gordon y Mokyr, se ve especialmente resaltado en el contexto mundial actual.

Las estadísticas en los EEUU han demostrado en lo contemporáneo un comportamiento en el crecimiento económico anormal respecto de su historia. Esta nueva dinámica ha encendido alarmas en el mundo académico llevando a acuñar la hipótesis del estancamiento secular. Coen Teulings y Richard Baldwin (2014) definen el término como el crecimiento económico

[2] "A country`s ability to improve its standard of living over time depends almost entirely on its ability to raise its output per worker"

atrofiado aún con el mantenimiento de las tasas de interés muy cercanas a cero por largo períodos. Por lo tanto agregan que el estancamiento secular es un fenómeno distinto ya que socava la política monetaria que es la herramienta más poderosa y flexible para mantener el crecimiento económico cercano a su potencial. En su libro electrónico Teulings y Baldwin (2014) recopilan la visión de varios autores, en las cuales uno de los puntos remarcados como causante del estancamiento secular es una caída en la tasa de progreso tecnológico.

Si bien muchos economistas, como Freeman y Soete (2007), Solow (2007) y Romer (1986), coinciden en la dificultad de medir las causas del desarrollo tecnológico y sus efectos en el crecimiento económico, como dice Solow (1994), se pueden dilucidar las dinámicas de causa y efecto a través de una estructura y análisis histórico. Robert Solow, por su parte, presentó su teoría de crecimiento económico en la que a través de su modelo con la función de producción agregada explica las dinámicas del crecimiento económico de largo plazo. Dicho modelo tuvo una gran aceptación por parte de los académicos, especialmente por el pragmatismo que conlleva al analizar el PBI. Sin embargo, la variable tecnológica ha sido obviada como factor exógeno, justamente para evitar complicar el modelo y que pierda sus fines de aplicación práctica.

Universidad de San Andrés

En las últimas décadas del siglo XX y con mayor intensidad en el siglo XXI se ha fomentado la investigación sobre el carácter endógeno del desarrollo tecnológico en el crecimiento económico. No solo desde la investigación académica, sino que se habría comenzado a destinar recursos en la generación de estadísticas para intentar reconocer en qué contexto y con qué herramientas, se logra el progreso técnico. El mismísimo Robert Solow (2007), asigna gran probabilidad de que la tecnología tenga carácter endógeno en el crecimiento económico de largo plazo. Sin embargo, no es tan claro y son muy difíciles de probar las hipótesis.

En este trabajo se busca analizar el progreso tecnológico y su relación con el crecimiento económico desde fines del siglo XVIII hasta la actualidad.

A partir de la utilización de los modelos de Trajtenberg y Bresnahan (1992), Romer (1986), Verspagen (1993), Aghion y Howitt (1992) y a través de una revisión histórica del progreso técnico, se establecerá la relación de la tecnología y el crecimiento económico; y se utilizará para evaluar el presente. En segundo plano, el trabajo intentará plantear, a partir de la teoría, el posible funcionamiento de la tecnología como motor de crecimiento económico futuro.

3. Preguntas de investigación

En el presente trabajo, se tiene como objetivo hallar la relación existente entre el progreso tecnológico y el crecimiento económico. Se busca identificar patrones generados por los principales hitos tecnológicos de la historia, que hayan impulsado el crecimiento de la economía en sus respectivos períodos.

Se buscará responder a las siguientes preguntas principales y subpreguntas de investigación:

QUAERERE VERUM
Universidad de
SanAndrés

Preguntas principales:

1. ¿Cómo es la relación entre el progreso tecnológico y el crecimiento económico en el presente?
2. ¿En qué medida se replicarán las tendencias pasadas de la analizada relación entre economía y tecnología?

Subpreguntas de investigación:

1. ¿Cómo surge el progreso tecnológico?
2. ¿Es posible acelerar la tasa de crecimiento económico a través del fomento del progreso tecnológico?
3. En el contexto del estancamiento secular, ¿está subvaluado el desarrollo de la tecnología de la información?

3. Justificación de la investigación

Muchos académicos han dado su visión respecto del rol de la tecnología en el crecimiento económico de un país. Romer (1986), Verspagen (1993) y Aghion y Howitt (1992) creen en la importancia del desarrollo tecnológico y por eso asumen la variable como endógena. Ellos modelan y luego analizan, el crecimiento económico y la relación del factor tecnológico con su carácter endogeno. Robert Solow (1994), creador del modelo de crecimiento económico en el que se basan hoy en día la mayoría de los economistas comenta sobre su teoría, reconociendo las críticas y afirmando que deja el factor principal del crecimiento económico sin explicación. Luego reconoce dos puntos,

- "Aumentar el crecimiento per cápita no es solamente difícil en este modelo, sino que imposible salvo que el ritmo del progreso tecnológico pueda ser alterado deliberadamente"[3]
- "Segundo, nadie podría intentar negar que el progreso tecnológico es en cierta parte endógeno a la economía"[4]

Sobre su segundo punto él menciona que se utilizan muchos recursos en la búsqueda de la innovación, y por lo tanto se pregunta si existe algo útil para decir sobre este proceso de una manera que pueda ser parte de su modelo de crecimiento agregado. Por último reconoce que esta cuestión es seguramente la más prometedora de la tercer y actual ola de la teoría de crecimiento. Christopher Freeman y Luc Soete (Enero 2007) afirman que los economistas no reconocen la importancia del I+D a pesar de este sobreentendimiento cultural de que "algo" tuvo mayor influencia sobre el crecimiento económico del siglo 20 y la época de posguerra en particular.

Universidad de San Andrés

[3] *"Increasing the rate of per capita growth is not only not easy in this model, it is impossible unless the rate of technological progress can be altered deliberately."* Robert Solow (1994)

[4] *"Secondly, no one could ever have intended to deny that technological progress is at least partially endogenous to the economy."* Robert Solow (1994)

Como se puede ver, en el ámbito académico existe consenso respecto a la importancia del progreso técnico como un impulsor sumamente relevante para el crecimiento potencial de una economía. Sin embargo, se denota un acotado entendimiento en la relación consensuada entre la tecnología y el crecimiento económico, probablemente dada la contemporaneidad y dificultad del estudio de la materia.

4. Metodología de trabajo

El trabajo se divide en 5 secciones que en conjunto denotan las dinámicas entre el progreso tecnológico y el crecimiento económico. Para la comprensión de los dos pilares a relacionar, se elaboró un marco teórico en el que se plasman no solo conceptos fundamentales para el análisis, sino que también se incluyen teorías y modelos útiles a la hora de pensar posibles relaciones. Dicho marco teórico busca definir el progreso tecnológico, y previo a ello, la tecnología en sí y cómo surge el progreso.

A su vez, para explicar el rol de la tecnologia en el crecimiento económico, se revisan cuatro modelos de crecimiento. A modo de contraste, se presenta el reconocido modelo de Solow descripto por Daron Acemoglu (2009) en donde se trata a la tecnología como variable exógena, en contraposición con los modelos de tecnología como variable endógena, definidos por Paul Romer (1986), Bart Verspagen (1993) y Aghion y Howitt (1992)

Por último, en el contexto del estancamiento secular, se busca categorizar la tecnología en un marco práctico para el objetivo pretendido. Para identificar los distintos hitos tecnológicos y profundizar sobre sus efectos en el crecimiento económico, se trae a colación la definición de tecnología de propósito general que elaboran Timothy Bresnahan y Manuel Trajtenberg (1992).

En la sección 3, se presenta una revisión histórica del progreso tecnológico y la relación del crecimiento económico que abarca desde fines del siglo XVIII hasta fines del siglo XX. Se identifican los dos principales hitos tecnológicos de este período, y se busca estudiar los factores que generaron el crecimiento económico de la época.

En la sección 4 se lleva a cabo un análisis del último hito tecnológico, los microprocesadores, y se establece una relación entre tecnología y crecimiento económico en el presente. A su vez, se realiza una comparación de la relación entre el progreso tecnológico y el crecimiento económico entre los períodos establecidos y sus correspondientes hitos tecnológicos. Luego, en la sección 5 se alinea el análisis histórico con la problemática contemporánea del estancamiento secular, para intentar comprender si en el presente hay o no una caída del progreso tecnológico. En base a este análisis se plasma una hipótesis a futuro.

QUAERERE VERUM
Universidad de San Andrés

5. Alcance de la investigación

En la teoría de crecimiento económico ambas visiones del progreso tecnológico, variable exógena y endógena, tienen sus méritos para aportar a las bases del conocimiento aplicado a la realidad. Sin embargo, en el presente trabajo se hará un análisis enfocado en los modelos de progreso técnico como variable endógena. Incluso se tomará la perspectiva de los académicos para preguntarnos qué nos depará el futuro.

De ninguna manera es el objetivo del presente trabajo realizar un análisis crítico respecto de ninguna de las teorías de crecimiento económico mencionadas. Esto se encuentra fuera del alcance, y no tendría sentido emitir juicio sobre la robustez de los modelos económicos, cuando claramente es una temática que en el presente continúa siendo reformulada. Tampoco se intentará formar un modelo propio dada la dificultad de incorporar la tasa de desarrollo técnico como variable endógena al crecimiento económico. De

todas formas sí se presentarán algunos modelos existentes que puedan ayudarnos a contrastar el factor tecnológico con la historia empírica.

Además, es importante resaltar las limitaciones de adquirir datos respecto del progreso tecnológico. Históricamente la acumulación de conocimiento ha surgido de maneras muy distintas y como remarcan Freeman y Soete (enero 2007), la sistematización del conocimiento y los investigadores profesionales son muy recientes y continuan formándose al día de hoy. Los sistemas de ciencia, tecnología e innovación evolucionan rápida y continuamente. Ellos demuestran que las fronteras y características que eran importantes la década anterior, podrían no ser tan relevantes hoy en día. Es cierto que los sistemas de comunicación han mejorado y con ellos la transmisión del conocimiento se ha vuelto más accesible. Sin embargo Martin (1994) y Francisco Sagasti (2004) remarcan la falta de articulación en los sistemas de conocimiento aún en los países desarrollados.

QUAERERE VERUM
Universidad de
SanAndrés

SECCIÓN 2

MARCO TEÓRICO

QUAERERE VERUM
Universidad de
SanAndrés

SECCIÓN 2: MARCO TEÓRICO

1. Tecnología

El diccionario Oxford define la palabra "tecnología" como "La aplicación del conocimiento científico para propósitos prácticos, especialmente en la industria".[5] Otra definición del mismo diccionario dice que es "La maquinaria y equipamientos desarrollados a partir de la aplicación del conocimiento científico"[6]. Hoy en día la palabra "tecnología" se utiliza coloquialmente en diversos contextos, e irónicamente muchas veces se pone en práctica para señalar objetos o procesos que nos exceden en cuanto al conocimiento de los mecanismos que lo conforman. Lo cierto es que la tecnología es un motor de cambio a nivel macroeconómico, una solución a la productividad a nivel microeconómico y un commodity a nivel individual, que impacta en nuestras vidas de diversas maneras.

Solow (1957) presenta la función de productividad total de los factores (PTF) la cual apunta a explicar el crecimiento productivo de la economía que no es explicado por un aumento de recursos, tanto de capital como de trabajo. La ecuación parte de la función de producción agregada,

$$Q = A(K^{\alpha}L^{\beta})$$

En donde Q es la cantidad producida, K la dotación de capital y L la dotación de trabajo, ambos con índice de ponderación en donde $\alpha + \beta = 1$. A es el factor exógeno de tecnología que incide en la cantidad producida. Luego el autor llega a la siguiente ecuación donde los puntos indican el cambio en el tiempo,

$$\dot{Q} = \dot{A} + \alpha\dot{K} + \beta\dot{L}$$

[5] "The application of scientific knowledge for practical purposes, especially in industry."

[6] "Machinery and equipment developed from the application of scientific knowledge."

En donde $\dot{A}$ representa la productividad total de los factores, y la productividad laboral representada por,

$$\dot{q} = \dot{A} + \alpha\dot{k}$$

A nivel firma, la PTF explica el cambio en los bienes producidos generado por un cambio tecnológico.

Freeman y Soete (enero 2007) dicen que la expresión “tecnología” dentro de su connotación formal y de un cuerpo de aprendizaje sistemático, se comenzó a utilizar cuando las técnicas de producción llegaron a un nivel de complejidad donde los métodos tradicionales no eran suficientes. No sería correcto asumir que la industria moderna hoy en día se encuentra basada completamente en la ciencia y no en los otros métodos de invención más “caseros”, pero los autores observan que efectivamente la industria ha cambiado abruptamente la forma en que se utiliza el conocimiento en la producción de bienes.

1.1. Técnologías de propósito general

QUAERERE VERUM
Universidad de
San Andrés

En función de imponer un orden metodológico al presente trabajo, resulta importante poder definir a qué nos referimos cuando hablamos de tecnología ya que entre los académicos las perspectivas son similares pero con matices interesantes de resaltar. Incluso, muchos categorizan la tecnología según sus funciones. Por ejemplo, para Manuel Trajtenberg y Timothy Bresnahan (1992), existe dentro de la tecnología un grupo clave al cual denominan Tecnologías de Propósito General (TPG). Ellos sostienen que estas son la causa principal del progreso técnico y crecimiento económico sostenido por décadas. Como ejemplos del pasado ellos resaltan el motor a vapor y los motores eléctricos, mientras que para el presente remarcan los semiconductores dentro de los microprocesadores y las consecuentes computadoras.

Ellos determinan tres caracterísiticas fundamentales para definir una TPG. En un primer lugar, piensan la tecnología como un patrón con jerarquías, en el caso más simple formado por dos niveles. En el nivel superior se hayan pocas tecnologías "básicas" (quizá solo una) y en el inferior una gran cantidad de clases de productos o Sectores de Aplicación (SA) que hacen uso de estas. Respecto del primer nivel dicen que están:

> "...principalmente caracterizadas por su propósito general, es decir, por cumplir cierta función genérica que es vital para el funcionamiento de un gran segmento de productos existentes o potenciales, e incluso sistemas de producción. Un ejemplo de esta función genérica sería, el movimiento rotatorio continuo, introducido por primera vez por el motor a vapor y luego por los motores eléctricos..."[7]

Su segunda característica distintiva radica en su dinamismo tecnológico. Es decir, el esfuerzo contínuo de innovación, así como la continuidad en el aprendizaje que aumenta en el tiempo la eficiencia con la que se realiza la función genérica. Normalmente se ve reflejado en los resultados de reducción del ratio precio/productividad de los productos. La tercer y última característica distintiva, es la existencia de sus complementos de innovación, es decir, a través de la innovación con la TPG se incrementa la productividad de investigación y desarrollo en los sectores *downstream.* Por lo tanto, a medida que las TPG se perfeccionan, comienza un proceso de expansión por toda la economía, llevando consigo un incremento en la productividad. A modo de ejemplo, los aumentos de productividad asociados a la introducción de los motores eléctricos en la producción traen en un principio la directa reducción en costos energéticos. Sin embargo, en el proceso de rediseño de las fábricas se descubrió la flexibilidad de la energía eléctrica (externalidad vertical), y en una segunda instancia, a medida que se comparte la TPG, otros sectores se ven beneficiados. Por lo tanto, con el tiempo y entendimiento, este tipo de tecnología conlleva ciertas externalidades que magnifican y ayudan en la propagación del efecto de

Universidad de San Andrés

---

7 *"...characterized first of all by their general purposeness, that is, by their performing some generic function that is vital to the functioning of a large segment of existing or potential products and production systems. Such a generic function would be, for example, "continuous rotary motion," performed at first by the steam engine and later on by electrical motors..."* (Bresnahan, Trajtenberg, 1992)

innovación de las TPG. Es tan amplia su propagación en enormes cantidades de productos, procesos y materiales, que lleva a imponer de manera implícita ciertos principios tecnológicos. De esto, dicen los autores, surgen fuerzas económicas potentes que dan forma al proceso endógeno de cambio técnico.

Por lo tanto, su penetración (el uso como recurso productivo en muchos sectores *downstream*) y su potencial para las mejoras técnicas, en conjunto con la eventual llegada de los retornos decrecientes, son impulsores de nuevos descubrimientos científicos, que desplazarían en el tiempo la TPG actual.

Bresnahan y Trajtenberg (1992) dicen que es lógico pensar que las TPG`s puedan acelerar los ritmos de crecimiento, pero lo más probable es que lo hagan a un punto por debajo del óptimo social. La razón radica en problemas de coordinación, dado que en la esencia de la creación de nuevo conocimiento, radica la incertidumbre y la información asimétrica (Arrow 1962). Además, los lapsos y secuencias temporales serían características inherentes al desarrollo tecnológico y particularmente en el contexto de las TPG`s (Ej. Un transistor no puede ser anterior a la electricidad). Por lo tanto lo requerido sería una coordinación entre agentes que se encuentran lejanos en dimensiones tecnológicas y temporales. Por esto, es crucial la intervención de las instituciones, jugando un rol de intermediario a la hora de resolver estos problemas de coordinación. Incluso, desde el punto de vista evolutivo de las TPG`s, su crecimiento depende principalmente de la organización industrial de los SA asociados con esa TPG.

Universidad de San Andrés

Formalmente, un SA contiene 3 características:

i) Hace uso o tiene uso potencial de la TPG como recurso
ii) Puede tener retornos positivos recurriendo al I+D por su cuenta
iii) Los beneficios que retorna incrementa monotónicamente con la calidad de la TPG.

Con su modelo de tiempo singular de las TPG`s y los Sectores de Aplicación (SA), Bresnahan y Trajtenberg (1992) buscan resaltar el funcionamiento de los dos tipos de externalidades, el vertical, entre las TPG`s y cada SA, y el horizontal, entre los SA. Realizando algunas modificaciones al modelo, los autores analizan como los agentes se enfrentan a una incertidumbre extrema, en lo que respecta al desarrollo tecnológico de otros jugadores, y por lo tanto se comportan como agentes miopes.

Ellos concluyen, que el valor marginal de un dólar adicional de los SA invertidos en su propio I+D aumenta con la calidad de la TPG usada como recurso. Además los SA tienen el incentivo de aumentar su nivel de equilibrio tecnológico, a través de la inversión en I+D, como respuesta al incremento en la calidad de la TPG utilizada como recurso. La cantidad de usuarios utilizadores de la TPG de un sector de aplicaciones se expande a medida que la calidad de la TPG mejora y sus precios bajan. Los autores remarcan la presencia de un círculo virtuoso en esta relación vertical entre la tecnología de propósito general y los sectores de aplicación y la resaltan como la externalidad vertical. Esta relación bilateral está mediada por la función de demanda y su efecto de retorno es que una mejora tecnológica en cualquiera de los sectores de los usuarios induce al productor de la TPG (uno solo en este modelo) a invertir en I+D para mejorar la calidad de la TPG y llegar al nivel óptimo de calidad teórico.

Universidad de San Andrés

Una de las limitaciones de esta externalidad vertical corresponde al problema de riesgo moral bilateral (Holmstrom, 1982, Tirole, 1988) al estar cercanamente relacionado a la falta de apropiabilidad. Ambas partes, las empresas en el SA y el sector de TPG, tienen beneficios ligados a la mejora tecnológica. Una empresa perteneciente al “upstream” consideraría innovar solamente si existe algún mecanismo que le permite apropiarse de parte del retorno social. Para las empresas pertenecientes al “downstream” los incentivos para innovar son aún más bajos.

En lo que respecta a las externalidades horizontales, Bresnahan y Trajtenberg (1992) comentan que entre los sectores de aplicaciones, la

ventaja de la TPG, radicada en su propósito general, representa una oportunidad comercial para los SA. Por lo tanto, a medida que se expande el uso en más sectores de aplicación, y la demanda por la TPG es mayor, más rápida va a ser la tasa de cambio en dicha tecnología. Desde el punto de vista del SA, hay varios escenarios que llevarían a una mejora para todos los sectores en general. La expansión de los usuarios en más sectores, la suba del nivel técnico de un SA (óptimo social), o el hacer que un sector sea más propenso a pagar por la TPG, tiene el efecto de que todos los SA estén mejor. Esto lo demuestran a través de su modelo dado que aumenta la variable que denominan *z*, la cual representa una tasa de reacción entre las SA y la TPG antes descripta como vínculo de externalidad vertical. Sin embargo, al igual que la anterior, la externalidad horizontal cuenta con una limitación para que se ponga en ruedo el círculo virtuoso. Bresnahan y Trajtenberg (1992) indican que el "mejor" equilibrio de nash para las empresas es el que mantiene un nivel de innovación bajo o no innova en absoluto, a pesar de que todos los sectores de aplicaciones podrían estar en un equilibrio superior. Esto se debe principalmente a esta variable *z*, que desde el punto de vista de los SA, es un bien público y por lo tanto surgen y surgirán los "free riders".

Universidad de San Andrés

Para el presente trabajo, vale la pena ahondar en algunos detalles del modelo dinámico de Bresnahan y Trajtenberg (1992) dado que resultan en algunas conclusiones interesantes respecto de las implicancias de las TPG en el crecimiento económico de largo plazo. Ellos utilizan como marco conceptual la teoría de oligopolio dinámico desarrollada por Maskin y Tirole (1987) dada su utilidad para examinar cómo el esfuerzo de innovación de las TPG y los SA se despliega e interactúa en el tiempo.

Las conclusiones que derivan del modelo dinámico están en coincidencia con la dificultad de predecir el progreso tecnológico. El factor de descuento puede ser interpretado como una medida de la dificultad de prever el desarrollo tecnológico; cuanto más bajo es, más difícil es para los SA anticipar la calidad futura de la TPG, y viceversa. Es decir, no es un valor dado, sino una función de la organización industrial del mercado de la TPG.

El valor va a ser más alto si durante el desarrollo de una nueva generación de la TPG, el productor encargado deja entrever, o comparte información técnica con todo el mercado de SA. De esta manera, no solamente incentiva la inversión en I+D sino que se vuelve más eficiente todo el sistema al evangelizar a los usuarios de dicha TPG.

Por esto, ellos reafirman la importancia de los arreglos institucionales para regular el valor del factor de descuento (la previsión tecnológica), manejando la credibilidad del flujo de la información técnica entre la TPG y los SA. Si la TPG tiene una difusión adecuada entre distintos sectores de aplicación, más rápido va a ser el crecimiento económico agregado. Si el factor de descuento es igual a cero, veremos efectos similares de “free riders” como en el modelo estático, dado que estaremos en el caso donde los actores se ven obligados a actuar como miopes en su capacidad de predecir los próximos desarrollos tecnológicos. Además las instituciones son grandes responsables de la inercia que generan para la TPG surgente. El ejemplo genérico que dan es que con instituciones de bajo rendimiento, en la convergencia, del fin de una TPG y el nacimiento de la próxima TPG, una economía podría estancarse por no tener el terreno preparado de nuevos SA adecuados para la nueva TPG.

Universidad de SanAndrés

En definitiva, para Bresnahan y Trajtenberg (1992) el rol de la TPG del momento es determinante para el avance técnico en todo el mercado que la comprende. Una de las mayores dificultades con la que se encuentra es que esté enmarcada en una economía descentralizada dado que se reduce la capacidad de explotar las oportunidades de crecimiento que trae la evolución de la TPG a través del círculo virtuoso.

2. Progreso tecnológico

En búsqueda de analizar la relación entre el progreso tecnológico y el crecimiento económico, es importante conocer como se define el progreso técnico y a través de qué mecanismos se desarrolla. En primera instancia se

definirá el concepto de progreso tecnológico, como la sucesión de cambios tecnológicos que representan una mejora de eficiencia productiva en un lapso de tiempo definido. Es decir, en una línea temporal el progreso tecnológico está compuesto por distintos cambios tecnológicos que superan a su predecesor en la forma de producir bienes y servicios. En segunda instancia se intentará ligar los cambios tecnológicos al concepto de investigación y desarrollo (I+D) como motor de progreso técnico, dejando cierto lugar al concepto de *learning by doing* que introduce Arrow (1962).

Para profundizar en el concepto es necesario definir invención e innovación, dado que según Ruttan (1959), están comprendidos en la definición de cambio tecnológico. Para este desarrollo se utilizará la conjunción de conceptos de Schumpeter (1934), Schumpeter (1939), y Usher unificadas por Ruttan (1959).

Para Schumpeter (1939), la innovación es distinta, económica y socialmente de la invención. Para él la innovación se define como la creación de una nueva función de producción y no como una variación de la cantidad de factores. En el uso de esta definición, Schumpeter (1939), asume tres características para la innovación:

> " 1) Implica la construcción de nuevas fábricas y equipamento
> 2) Es introducida por nuevas empresas
> 3) Está siempre asociada al surgimiento del liderazgo de nuevas personas."[8]

Por otro lado, Usher enmarca su definición de invención en cuatro pasos:

> " 1) Percepción del problema, en donde se percibe un patrón o método incompleto o insuficiente en la satisfacción de un deseo.
> 2) Preparación del terreno, en donde los elementos o información necesaria para la solución es recaudada a través de una configuración de eventos o pensamientos particulares. Entre estos elementos se encuentra un individuo que posee habilidad suficiente en la manipulación de los otros elementos.

[8] *(1) entail construction of new plants and equipment, (2) are introduced by new firms, and (3) are always associated with the rise to leadership of new men.*

3) El acto de iluminación, en donde la solución aparente al problema es encontrada. El acto de iluminación es un elemento rodeado de incertidumbre...

4) Revisión crítica, en donde las nuevas relaciones percibidas son comprendidas completamente, e introducidas efectivamente en el contexto al cual pertenecen. Esto puede requerir de nuevos actos de iluminación. "[9]

Además aclara que las invenciones estratégicas o de gran envergadura (las TPG) surgen de la acumulación de invenciones simples. Por ejemplo muchas invenciones individuales pueden preparar el terreno (punto 2) para la invención de gran envergadura.

Para Ruttan (1959) la teoría de Usher provee una visión unificada del proceso social en el que las invenciones surgen. Para él con esta definición no es necesario mantener la distinción artificial entre invención e innovación de Schumpeter (1934). Además, la teoría de Usher permite predecir los puntos en el proceso de innovación donde los recursos económicos pueden ser utilizados efectivamente. Estos puntos son el segundo, Preparación del terreno, y el cuatro, Revisión crítica. Entonces, Ruttan (1959), primero dice que el término "invención" es el grupo de innovaciones técnicas que son patentables.. Segundo, sugiere extender el concepto de innovación para cubrir los cuatro puntos de la teoría de Usher para enmarcar mejor el concepto de invención dentro del de innovación. Tercero, sugiere definir el término "cambio tecnológico" como los cambios en los coeficientes de una función de producción, que resultan de la aplicación práctica de una innovación tecnológica.

Respecto de la innovación, existen dos visiones que son determinantes al evaluar el desarrollo futuro del progreso tecnnológico. Por un lado Gordon (2012) y Cowen (2011), dicen que el proceso de innovación está compuesto por un suceso de invenciones que mejoran su efectividad

[9] (*1) Perception of the problem, in which an incomplete or unsatisfactory pattern or method of satisfying a want is perceived. (2) Setting the stage, in which the elements or data necessary for a solution are brought together through some particular configuration of events or thought. Among the elements of the solution is an individual who possesses sufficient skill in manipulating the other elements.(3) The act of insight, in which the essential solution of the problem is found…large elements of uncertainty surround the act of insight.(4) Critical revision, in which the newly perceived relations become fully understood and effectively worked into the entire context to which they belong. This may again call for new acts of insight.*

con el tiempo y se cosechan los beneficios económicos, acelerando el crecimiento económico para luego normalizar la tasa. Esta visión, los autores la denominan la "innovación como fruta". La otra visión, la que sostienen, Brynjolfsson y McAfee (2014) y Romer, entre otros, presenta un cambio de perspectiva peculiar. Ellos dicen que el proceso de innovación no se trata de la invención de algo grande y nuevo, sino de la recombinación de lo existente. Sobre esto Brynjolfsson y McAfee (2014) presentan la visión de Romer,

> "El crecimiento económico sucede cuando las personas toman los recursos, y los reacomodan en cierta manera que aumenta su valor...Todas las generaciones han percibido los límites del crecimiento que imponen los recursos finitos...si no...se descubrieran nuevas ideas. Y todas las generaciones han subestimado el potencial de descubrir nuevas...ideas. Fallamos consistentemente en entender cuantas ideas quedan por descubrirse...Las posibilidades no se suman; se multiplican" [10]

Además agregan un punto importante, que Romer categoriza como "meta ideas":

> "Quizá las más importantes de las ideas son las meta ideas – ideas sobre como apoyar la producción y transmisión de otras ideas..."[11]

En línea con estas definiciones Aghion y Howitt (1992) desarrollan un modelo de crecimiento económico basado en el proceso de destrucción creativa de Schumpeter (1942). En este modelo ellos dicen que el crecimiento resulta exclusivamente del progreso tecnológico, que a la vez resulta de la competencia entre las empresas de investigación que generan innovaciones. Grossman y Helpman (1994) en la revisión de su propio modelo anterior (de 1991) presentan el supuesto de que la colocación de más recursos en I+D representa una mayor probabilidad de desarrollar la próxima generación de productos. Solow (1994) por su parte asigna gran probabilidad

[10] *"Economic growth occurs whenever people take resources and rearrange them in ways that make them more valuable. . . . Every generation has perceived the limits to growth that finite resources would pose …if no new . . . ideas were discovered. And every generation has underestimated the potential for finding new . . . ideas. We consistently fail to grasp how many ideas remain to be discovered. . . . Possibilities do not merely add up; they multiply."*

[11] *"Perhaps the most important ideas of all are meta-ideas—ideas about how to support the production and transmission of other ideas."*

a que el proceso de I+D sea un elemento exógeno, en línea con el elemento de incertidumbre del acto de iluminación de la definición de invención de Usher (1954). Él ejemplifica recordando como los campos de investigación se abren y cierran de manera impredecible, sin importar la materia de estudio. De todas formas, también afirma que la innovación también podría ser parcialmente endógena, en donde altos retornos financieros inducirían a asignar mayores recursos al I+D.

Otra visión complementaria al respecto es la de Arrow (1962), que introduce el concepto de *learning by doing* la cual se basa en el progreso técnico a través de una acumulación de experiencia. Es decir, si bien la I+D es importante para la ampliación y profundización del conocimiento, el autor plantea el incremento del conocimiento aplicado a través de la experiencia. Es decir, de la mejora de los métodos de producción a través de su uso, en donde surgen problemas y se realizan cambios para su superación. Según menciona Arrow (1962) esto podría disminuir la incidencia de la ley de productividad marginal decreciente del trabajador.

Por lo tanto, con el sustento académico, se puede asumir que la I+D incide en la generación de innovaciones que a la vez generan cambios tecnológicos.

QUAERERE VERUM
Universidad de San Andrés

2.1. Investigación y desarrollo

El Manual de Frascati (1981) define las actividades de I+D en el siguiente marco:

> "Mientras la actividad siga una rutina con patrones establecidos, no es I+D. Mientras se diferencie de la rutina y descubra nuevo terreno, califica como I+D. Entonces, por ejemplo, la colecta diaria y rutinaria de estadísticas de la temperatura o presión atmosférica, no es I+D, pero la investigación en nuevos métodos de medición de temperatura o de investigación de la temperatura en circunstancias en las que no se

habían medido previamente (en el espacio exterior o interior de la tierra) es investigación…"[12]

Es importante identificar las dificultades de medición del I+D previas a la existencia del manual de Frascati (1981) para asumir que estas fuentes de información no son del todo robustas. El principal criterio teórico del manual de Frascati (1981) para separar I+D de sus actividades científicas relacionadas fue la distinción entre novedad y rutina, como fue establecido en la definición anterior.

Christopher Freeman y Luc Soete (2007) detallan el desarrollo de las mediciones de ciencia, tecnología e innovación (CTI). En los últimos 40 años se han desarrollado los estándares internacionales para la medición de Investigación y Desarrollo, como también estimulando y mejorando la medición de los recursos invertidos y los rendimientos del sector de I+D.

Freeman y Soete (2007) resaltan el rol de los servicios científicas y tecnológicos, que ligaban el sistema de I+D con el sector productivo, dado que eran considerados esenciales para la innovación eficiente y la difusión de cambios técnicos en muchas ramas de la industria. Además, el desarrollo de los laboratorios profesionales de I+D y las actividades que se llevaban a cabo en estos llevaron al sistema de ciencia y tecnología industrial a emerger a fines del siglo 19 y el siglo 20. Aún con la previa existencia de laboratorios estatales y universitarios, fue alrededor del año 1870 la creación del primer laboratorio especializado en I+D del sector de la industria. Los autores traen este hecho a colación para remarcar que este sistema no fue reconocido por todos los economistas, más allá de un simple reconocimiento de efecto residual que algo fue responsable de la mayoría del crecimiento económico del siglo 20, y el período de posguerra en particular. Por supuesto, tiempo antes del siglo 20, una especie de I+D se llevaba a cabo en la aplicación de

[12] *"In so far as the activity follows an established routine pattern it is not R&D. In so far as it departs from routine and breaks new ground, it qualifies as R&D. Thus, for example, the collection of daily routine statistics on temperature or atmospheric pressure is not R&D, but the investigation of new methods of measuring temperature or the investigation of temperatures under circumstances in which they have never been previously recorded (for example, outer space or the interior of the earth) is research…"*

nuevos productos o procesos que se gestaban en talleres no profesionales. En estos, el conocimiento inventivo respecto de la tecnología, se basaba en gran parte en las habilidades de ojo y mano, o en experiencias prácticas transmitidas de generación en generación. Christopher Freeman y Luc Soete (1997) resaltan que este tipo de trabajo inventivo sigue vigente al día de hoy, y que es muy difícil de capturar en las estadísticas oficiales de I+D. La diferencia de estas actividades gestadas en talleres "caseros" con los laboratorios profesionales de I+D dentro de un sistema de ciencia y desarrollo industrial, que incluso justificó el foco en el Manual de Frascati, fue la escala, su contenido científico, y la profundidad de la especialización profesional. Es este tipo de trabajo el que se buscó documentar para las estadísticas de I+D. Ellos dicen, que de otra manera hubiese sido totalmente impráctico. De esta manera, las estadísticas de investigación y desarrollo que tenemos hoy en día son una medida más realista de la profesionalización de la actividad y un cambio en la relación entre la sociedad y la tecnología.

Según cuentan Grossman y Helpman (1994), una gran variedad de estudios, entre ellos Rosenberg (1963), Constant (1980), Freeman (1982) y Dosi (1984), concluyen que las empresas han invertido en nuevas tecnologías cuando se ha detectado una oportunidad de generar beneficios. De hecho, remarcan que una gran porción del I+D realizado en los países del OCDE es financiado por el sector privado. Por lo tanto, el ecosistema institucional, legal y económico, que afecta en los retornos de estas inversiones seguramente tenga incidencia sobre el ritmo y dirección del progreso tecnológico. En su modelo los costos y beneficios del I+D determinan el ritmo del crecimiento de largo plazo. Según dicen, el modelo predice que un incremento de la rentabilidad del I+D, atrae recursos adicionales a la actividad. Otra característica que resaltan los autores con respecto al modelo de Aghion y Howitt (1992) es que en el proceso de producir las distintas generaciones de productos, los innovadores, comienzan donde sus predecesores dejaron el trabajo. Es decir, incorporan una gran parte del conocimiento, resultante de la inversión acumulativa en I+D.

Universidad de San Andrés

2.2. Hitos tecnológicos

Como lo definen Brynjolfsson y McAfee (2014) los hitos tecnológicos son,

> "Un evento o avance que cambia significativamente el curso de las cosas, que doblan la curva de la historia de la humanidad"

Los autores presentan esta definición en referencia a los cambios tecnológicos que aumentan el bienestar social de las economías. En el presente trabajo, se hará referencia a los tres hitos tecnológicos mayormente referenciados por la bibliografía utilizada. Estos hitos entran en la definición anteriormente establecida de tecnologías de propósito general. Los tres hitos tecnológicos que habrían influido en el crecimiento económico de sus respectivos períodos son:

- El motor a vapor. Período desde fines del siglo XVIII hasta fines del siglo XIX
- La electricidad. Período desde fines del siglo XIX hasta fines del siglo XX
- Los microprocesadores. Período desde fines del siglo XX hasta la actualidad.

Resulta importante definir la Ley de Moore en referencia a la era de los microprocesadores, dado que marca una tendencia de desarrollo técnico de esta TPG. Haremos referencia a esta tendencia en la sección 4 principalmente.

Como dicen Brynjolfsson y McAfee (2014), la ley de Moore, no es precisamente una ley, ni una teoría, sino que simplemente un dicho de Gordon Moore, co-fundador de Intel, sobre el trabajo de los ingenieros y científicos en la industria de la computación. Los autores analizan y clarifican el dicho de Gordon Moore escrito para la revista *Electronics en 1965* que decía:

> "La complejidad para costos de componentes mínimos ha incrementado a un ratio, de factor alrededor de, 2 por año…Ciertamente, en el corto plazo se puede esperar que este ratio continúe, o hasta incremente. En el largo plazo, la posibilidad de que incremente es más incierta, aunque no hay razón para pensar que no se vaya a mantener constante por, al menos, diez años. "[13]

Respecto de "la complejidad para costos de componentes mínimos" los autores remarcan que Moore se refiere a la cantidad de poder de cómputo integrado en un circuito que se puede comprar con un dólar. En su historia relativamente corta, Moore había identificado que año a año uno podía comprar el doble de poder de cómputo con un dólar. Sus predicciones se han mantenido por más de 40 años. Los autores remarcan que en 1975 Moore corrigió el tiempo que había establecido, y hoy en día este incremento se espera a los 18 meses.

3. Crecimiento económico

Para Grossman y Helpman (1994), el progreso tecnológico representa la más alta probabilidad de superar lo límites aparentes del crecimiento económico. Christopher Freeman y Luc Soete (2007) creen que las externalidades del conocimiento han tenido mucho que ver con el rápido crecimiento posguerra de los países pertenecientes a la OCDE. Ellos creen que gran parte del crecimiento y desarrollo mundial entre 1997 y 2007 se encuentra asociado a la difusión de los cambios tecnológicos y el fácil acceso al conocimiento codificado. Gran parte de la concentración de inversión en I+D se encuentra en los países ricos pertenecientes al OCDE, pero es importante la tendencia de la actividad a un foco global de "investigación sin fronteras".

QUAERERE VERUM Universidad de San Andrés

[13] *"The complexity for minimum component costs has increased at a rate of roughly a factor of two per year. . . . Certainly over the short term this rate can be expected to continue, if not to increase. Over the longer term, the rate of increase is a bit more uncertain, although there is no reason to believe it will not remain nearly constant for at least ten years."* Brynjolfsson y McAfee (2014)

Como dicen Teulings y Baldwin (2014), para pensar en el crecimiento futuro de una economía es necesario pensar en sus tres pilares:

1. Las tasas de crecimiento potenciales en el largo plazo.
2. La desviación del crecimiento real del potencial.
3. Shocks en el nivel del PBI sin cambio en las tasas de crecimiento de largo plazo.

Sin embargo, en el presente trabajo nos enfocaremos únicamente en el primero punto, las tasas de crecimiento potenciales en el largo plazo poniendo a la tecnología en un rol central. Por lo tanto, la primer pregunta que surge es, ¿puede el crecimiento real ser bajo hoy en día porque la tasa de crecimiento potencial ha caído? Es en base a esta pregunta que se dividen las aguas entre los economistas. El crecimiento potencial de una economía puede deberse a dos factores únicamente,

i) Debido al crecimiento de los recursos productivos.
ii) Debido al aumento en la eficiencia en que se emplean y combinan estos recursos productivos.

Universidad de San Andrés

3.1. Estancamiento secular

Es importante tener en cuenta la hipótesis contemporánea del estancamiento secular, dado que algunos economistas como Gordon, Mokyr, Glaeser, han tomado distintas posturas respecto de la importancia de la tecnología. Los síntomas de ralentamiento del crecimiento económico no son nuevos, pero es importante entender porque, en este caso, el estancamiento secular podría ser un nuevo paradigma.

Coen Teulings y Richard Baldwin (2014), elaboran un libro electrónico en el cual recopilan la visión de distintos académicos repasando, entre otros, el rol de la tecnología en el crecimiento económico, en un contexto donde resonaba la hipótesis de estancamiento secular

La visión de Barry Eichengreen (2014), presentada en el libro mencionado, es que puede ser posible que EEUU y otras economías desarrolladas no solo estén sufriendo los efectos posteriores a una crisis financiera, sino que haya algo más en juego. Esto, despertó el interés de muchos pensadores, y como es costumbre, las preocupaciones no fueron planteadas en consenso. Es decir, todos entendían que era posible que algo más esté en juego, sin embargo, los desacuerdos surgían en los análisis de su entendimiento. Por ejemplo, Barry Eichengreen (2014) define una analogía del término estancamiento secular diciendo que es "...el test de Rorschach de los economistas. Significa distintas cosas para distintas personas."[14]

Entonces, ¿Qué es lo que llamó la atención a tantos economistas? Coen Teulings y Richard Baldwin (2014) nos dicen que años después de la Gran Recesión, la recuperación económica sigue con tasas de crecimiento atrofiadas.

> "Los niveles de PBI previos a la crisis fueron superados, pero el problema radica en que muy pocas economías han logrado volver a las tasas de crecimiento anteriores a la crisis, a pesar de mantener por años las tasas de interés muy cercanas a cero. Sumado a esto, el crecimiento que sí hemos visto contiene indicios de nuevas burbujas financieras."[15]

Hacia el final del trabajo, en la sección 5, se hará un repaso de la visión de distintos autores citados en el libro electrónico de Teulings y Baldwin (2014), respecto del progreso tecnológico y su incidencia en el crecimiento potencial de las economías.

4. Progreso tecnológico en relación con el crecimiento económico

[14] *"Secular stagnation, we have learned, is an economist's Rorschach Test. It means different things to different people."*

[15] "*Pre-Crisis GDP levels have been surpassed, but few advanced economies have returned to pre-Crisis growth rates despite years of near-zero interest rates. Worryingly, the recent growth is fragranced with hints of new financial bubbles."*

En los años recientes, se han desarrollado distintos modelos económicos con foco en el rol de crecimiento endógeno con rendimientos crecientes (Ej. Romer (1986), Verspagen (1993), Aghion y Howitt (1992)). A pesar de sus aportes investigando nuevas maneras de incorporar endógenamente la tecnología, muchos de estos modelos no permiten la interacción entre distintos sectores. Por lo tanto, no entra en discusión, una parte importante del cambio técnico, en sus externalidades, propagación, problemas de coordinación y crecimiento económico agregado, antes mencionados para las tecnologías de propósito general. Sin embargo, es comprensible la necesidad de enfocar el estudio dependiendo del objetivo, dado que para realizar un estudio enfocado en el cambio técnico y su incidencia en el crecimiento económico es menester tener en cuenta las características recién mencionadas para lograr una comprensión de la penetración de una TPG en cierto lapso temporal. Esto, dicen Bresnahan y Trajtenberg (1992) se realiza a costa de llegar a un equilibrio parcial, y obliga a inducir los resultados de crecimiento agregado. Por contraste, los modelos de Romer (1986), Verspagen (1993) y Aghion y Howitt (1992) tiene un enfoque distinto, con el objetivo de modelar la economía y deducir el crecimiento agregado.

Universidad de San Andrés

4.1 Modelos de crecimiento con tecnología como variable exógena

En la siguiente sección se hará un breve repaso del modelo Solow-Swan, mayormente conocido como el modelo de Solow (1956) tal como lo presenta Daron Acemoglu, profesor de economía del MIT. Para hacerle justicia al proceso de crecimiento económico, deberíamos considerar los hogares e individuos con preferencias, habilidades e ingresos diferentes. El modelo de Solow simplifica estas cuestiones construyendo una economía de un bien con poca referencia a las decisiones individuales. Es por esto que Daron Acemoglu, considera que el modelo de Solow es un buen modelo para utilizar como plataforma en el desarrollo de modelos más cercanos a la realidad. De todas, formas, aclara que esto no es una crítica al modelo en sí. El crecimiento económico y su desarrollo son procesos dinámicos que requieren de modelos dinámicos, y a pesar de su simplicidad, el modelo de crecimiento de Solow cumple con este requisito brindándonos un equilibrio.

4.1.1. Robert Solow (1956)

El modelo que describe se presenta en tiempo discreto, con una economía cerrada y un bien. Asumiendo que todos los hogares son iguales, se presenta un hogar representativo, simplificando ambas partes, oferta y demanda, que parten de los comportamientos de este hogar. Se asume también, que este hogar ahorra una fracción exógena de su ingreso $s \in (0, 1)$ sin importar lo que pasa en el mercado.

Las empresas representan otro agente fundamental de la economía, que nuevamente van a ser representadas en el modelo como una empresa representativa, con la misma función de producción de este único bien. La función de producción agregada entonces se presenta,

$$Y(t) = F(K(t), L(t), A(t))$$

Donde Y(t) es la cantidad del bien producido en el tiempo t, K(t) es el stock de capital, L(t) el total de trabajadores, y A(t) la tecnología, todos en el tiempo t.

En el modelo se aclara que K y L son recursos limitados y positivos mientras que la tecnología A(t) no tiene unidad natural y que es un simple factor que traslada la función de producción. El autor define a la tecnología con un número sabiendo que en la realidad representa un concepto con mayor abstracción, con efectos en la organización de la producción y los mercados en la eficiencia con que se utilizan los factores de producción. En el modelo de Solow A(t) representa todos estos efectos. Otra gran asunción del modelo de crecimiento, dice al autor, es que la tecnología es gratis. Es decir, es pública, como un bien no excluible y de no rivalidad. Su uso por

otros no merma la utilización de otro individuo, y; es imposible evitar que otro individuo la use. Daron Acemoglu dice, una vez que la sociedad tiene el conocimiento para aumentar la eficiencia productiva, este se puede utilizar por cualquier empresa sin influir al resto en su capacidad de uso. Estas implicancias lógicamente indican que A(t) se encuentra a disposición para todas las empresas por igual.

4.2. Modelos de crecimiento con tecnología como variable endógena

A continuación se presentarán tres modelos de crecimiento en el largo plazo que modelan la tecnología como variable endógena, distintos al más conocido modelo de crecimiento de Solow, donde la tecnología es una variable exógena. El primero es el modelo de Paul M. Romer (1986) que se titula "*Increasing returns and Long-run growth*", que toma sus bases en los modelos de Ramsey (1928), Cass (1965), Koopmans (1965) y de Arrow (1962), asumiendo que el conocimiento es un bien de capital con producto marginal creciente. El segundo modelo es el de Bart Verspagen (1993), el cual titula, "*Growth rate differentials between interdependent economies*" e investiga la relación entre el crecimiento económico y el cambio tecnológico en el contexto internacional. El tercero es el reconocido modelo de Aghion y Howitt (1992), en el cual presentan un crecimiento económico potenciado por el progreso tecnológico generado a partir del sector privado que compite por los beneficios del I+D.

4.2.1. Paul M. Romer (1986) , "Increasing returns and Long-run growth"

Paul Michael Romer, licenciado en matemática de la Universidad de Chicago, donde también logró el Doctorado en economía, ha sido profesor en la Universidad de Berkeley, Chicago, Rochester, Nueva York y Stanford. Fue el más alto mandatario de asesores económicos del Banco Mundial durante junio 2016 hasta enero del 2018. Paul Romer es un economista poco ortodoxo, muy crítico de la sobre modelización y uso de la matemática para el manejo práctico de la economía. Resalta, al igual que lo advierten Freeman y

Soete (2007), la sobre-confianza en lo modelos teóricos y el mal uso que algunos le dan a la hora de tomar decisiones prácticas.

La motivación de Romer (1986) parte de su análisis de las teorías de crecimiento a largo plazo mayormente utilizadas hoy en día. El autor critica la decisión de elegir un modelo sobre otro ya que la asunción que cualquier variación en la productividad es atribuible a los ciclos económicos genera una dificultad en la comprobación empírica de estas teorías. Por lo tanto, Paul M. Romer (1986) se pregunta si realmente existe una posición dominante cuando nos referimos a los datos. Sin embargo, el autor reconoce las limitaciones del modelo que propone, él explícitamente dice que el óptimo social es de interés teórico y normativo, y que no puede ser un candidato serio para describir el comportamiento de la productividad per cápita observada en el largo plazo. Además agrega, que el equilibrio del modelo existe en la ausencia de intervención gubernamental. A pesar de que es subóptimo, el equilibrio competitivo satisface los criterios constrictos de optimalidad que pueden utilizarse para simplificar el análisis, tal como el estudio de los problemas de optimización social simplifica el análisis en los modelos de crecimiento tradicionales.

Universidad de San Andrés

El modelo delineado a continuación toma como marco teórico los modelos de Ramsey (1928), Cass (1965), Koopmans (1965) y de Arrow (1962), antes mencionados, asumiendo el conocimiento como un bien de capital con producto marginal creciente. Se asume que la producción de los bienes de consumo es globalmente convexa en función del stock de conocimiento con todas las otras variables constantes. Se garantiza la existencia de un óptimo social finito dados los retornos decrecientes en la investigación tecnológica, que implican una tasa máxima, tecnológicamente plausible del crecimiento del conocimiento. Esto implica una tasa máxima del crecimiento de la productividad per cápita. En el tiempo esta última tasa puede crecer de manera constante pero sin superar el máximo establecido.

Para contrastar, Paul M. Romer primero presenta las perspectivas del crecimiento de largo plazo derivadas del modelo de Solow:

- Se espera que la tasa de retorno de la inversión y la tasa de productividad per cápita sean decrecientes en función del stock de capital.
- Se espera que las tasas de salario y el ratio capital/trabajo, a través de los distintos países, converjan.
- En consecuencia, las condiciones iniciales o shocks no tienen ningún efecto de largo plazo en el nivel de productividad y consumo.

Con estas perspectivas nos presenta un ejemplo en donde una reducción exógena en el stock de capital tendría los siguientes efectos:

- La suba de los precios en los activos capitales, que por ende, induce un incremento en la inversión inicial necesitada.
- La productividad per cápita debería converger a un estado estacionario sin crecimiento per cápita.

Estas presunciones son consecuencia directa del supuesto de retornos decrecientes del capital per cápita en la producción del PBI per cápita.

Universidad de San Andrés

En desacuerdo con el análisis de crecimiento económico con los supuestos establecidos, Paul M. Romer presenta un modelo de equilibrio con el cambio tecnológico como variable endógena en donde el crecimiento en el largo plazo es conducido principalmente por la acumulación de conocimiento de agentes con visión innovadora y motivación para maximizar ganancias. Particularmente, con este modelo, la productividad per cápita puede crecer sin limitaciones,

- La tasa de inversión y la tasa de retorno al capital puede crecer con el incremento del stock de capital.
- La productividad per cápita en distintos países no necesariamente tiene que converger.
- Estos resultados no dependen de un cambio técnico exógeno.

Este cambio de formulación que pone el foco en el conocimiento como la forma básica de capital trae cambios naturales en el modelo de crecimiento agregado,

- Se asume el conocimiento como consecuencia de la investigación tecnológica que exhibe retornos decrecientes.
- La inversión en conocimiento sugiere una externalidad natural. La creación de nuevos conocimientos establecidos por una empresa se traduce en externalidades positivas en la producción para otras empresas porque el conocimiento no puede ser herméticamente patentado o resguardado.
- La producción de bienes de consumo como función del stock de conocimiento y otras variables, presenta retornos crecientes. Es decir, el conocimiento puede tener incremento marginal de la productividad.

Por lo tanto Paul M. Romer presenta los tres elementos del modelo,

1. Externalidades - Esenciales para la existencia de un equilibrio
2. Retornos crecientes en la productividad - A pesar de la presencia de retornos crecientes, existe un equilibrio competitivo con externalidades (No Pareto óptimo)
3. Retornos decrecientes en la producción de nuevo conocimiento - Necesarios para asegurar que el consumo y la utilidad no crezcan demasiado rápido.

Universidad de San Andrés

4.2.2. Bart Verspagen (1993), "Growth rate differentials between interdependent economies"

El profesor doctor Bart Verspagen es un economista graduado de la universidad de Maastricht, de la cual hoy en día es decano, y director de UNU-MERIT (*United Nations University - Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology).* Especializado en la economía del cambio tecnológico, Verspagen es reconocido por su interés en

el progreso tecnológico y su relación con el crecimiento económico. Dado que la tecnología es un fenómeno que se percibe e intercambia mundialmente, sus estudios lo han llevado a analizar las dinámicas del comercio internacional entrelazadas con las dinámicas industriales para enriquecer su visión de la relación entre economías y el progreso técnico.

La organización de su análisis se divide en 3 grandes temas, los cuales titula,

> "1) Los méritos de un enfoque dinámico evolutivo.
> 2) Derrames de conocimiento: Alcanzando o quedando atrás
> 3) Comercio internacional, crecimiento y competitividad"[16]

Para el presente trabajo nos limitaremos a presentar solamente el segundo punto. Él realiza el análisis sobre los derrames de conocimiento como externalidades positivas, Bart Verspagen dice que los derrames de conocimiento son normalmente presentados en línea con las corrientes principales que dan por sentado el crecimiento en equilibrio. Es decir, se da por sentado el derrame del conocimiento de los países desarrollados hacia los países en desarrollo. Comenzando por una situación en donde la capacidad de innovación es desigual, se cree que los derrames internacionales de conocimiento irradian sus efectos positivos del progreso tecnológico por todo el mundo.

Bart Verspagen no está de acuerdo con esta asunción y presenta un modelo en línea con los argumentos encontrados en la literatura económica, que discute que estos derrames no se ejecutan automáticamente, sino que requieren de una capacidad de asimilación del lado que recibe este agregado de conocimiento. Asimismo, se asume que cuanto más grande sea la distancia tecnológica entre líder y seguidor, menos efectivo va a ser el derrame tecnológico.

---

16 *"(1) The merits of a dynamic evolutionary approach. (2) Knowledge Spillovers: Catching up or falling behind? (3) International trade, growth and competitiveness"*

El autor escribe que el objetivo del modelo es explicar dos hechos de los patrones del crecimiento económico de largo plazo en un contexto mundial:

i) Para un grupo de países (del OCDE), los niveles iniciales de la productividad laboral están inversamente relacionados al ritmo del progreso tecnológico.

ii) La relación inversa enunciada en el punto uno, no es válida para los países menos desarrollados que conforman el percentil inferior respecto del desarrollo tecnológico o bienestar social.

Bart Verspagen utiliza una especificación no lineal de los derrames de conocimiento basado en las revelaciones de partes de la literatura económica sobre el cambio tecnológico. Demuestra que para los países más lejanos a la frontera tecnológica, los efectos positivos del derrame son muy pequeños para proveer un principio de achique de la brecha. Para brechas crecientes, el derrame de conocimiento tiende a cero. Estos países y/o los que tengan baja capacidad intrínseca de asimilar los derrames de conocimiento, sufrirán una profundización de la brecha tecnológica. Ahora, el modelo predice que para los países que se encuentran relativamente cerca de la frontera tecnológica y que tienen una alta capacidad intrínseca de asimilación de los derrames tecnológicos, reducir dicha brecha y alcanzar la frontera tecnológica es muy probable.

En vez de predecir un patrón de crecimiento regular, este modelo predice la posibilidad de shocks y reversión de tendencias en el camino del crecimiento económico si la capacidad de asimilación de los derrames de conocimiento cambia en el tiempo. Él explica que los factores que influyen sobre la capacidad intrínseca de asimilación de los derrames de conocimiento son algunos bienes públicos, como la educación y la infraestructura. Por ende, existe la posibilidad para que los gobiernos influyan

Universidad de San Andrés

en la performance de crecimiento generando políticas activas en estos sectores.

4.2.3. Aghion y Howitt (1992) "A Model of Growth Through Creative Destruction"

Aghion y Howitt (1992) presentan un modelo de crecimiento endógeno en donde, las innovaciones verticales, generadas por un sector de I+D competitivo, constituyen la fuente subyacente de crecimiento económico. El equilibrio está determinado por la previsión del I+D entre períodos, en donde la cantidad de I+D realizada en cualquier período depende de la cantidad esperada de I+D del siguiente período. Especificamente, a mayor cantidad de I+D en el próximo período, menor cantidad de I+D en el período presente, dado que se amenazan las rentas generadas por el I+D del presente. Los autores, se enfocan en la innovación de mejoras de calidad de los productos, en pocas palabras, los productos de mejor calidad desplazan a los anteriores. Por lo tanto, introducen el factor de la obsolencia en las teorías de crecimiento endógeno, en línea con el concepto de destrucción creativa de Schumpeter (1942)

Universidad de SanAndrés

Una implicancia del modelo que resaltan los autores es que un incremento en la productividad del I+D, no necesariamente significa un incremento en la tasa promedio de crecimiento de una economía. Un cambio en un parámetro que vuelve más productiva la I+D en alguna parte del mundo puede desincentivar la I+D en otra parte del mundo, amenazando con la posible obsolencia del producto en juego, al punto de que reduce la tasa promedio de crecimiento.

SECCIÓN 3

PROGRESO TECNOLÓGICO Y SU RELACIÓN CON EL CRECIMIENTO ECONÓMICO EN LA HISTORIA

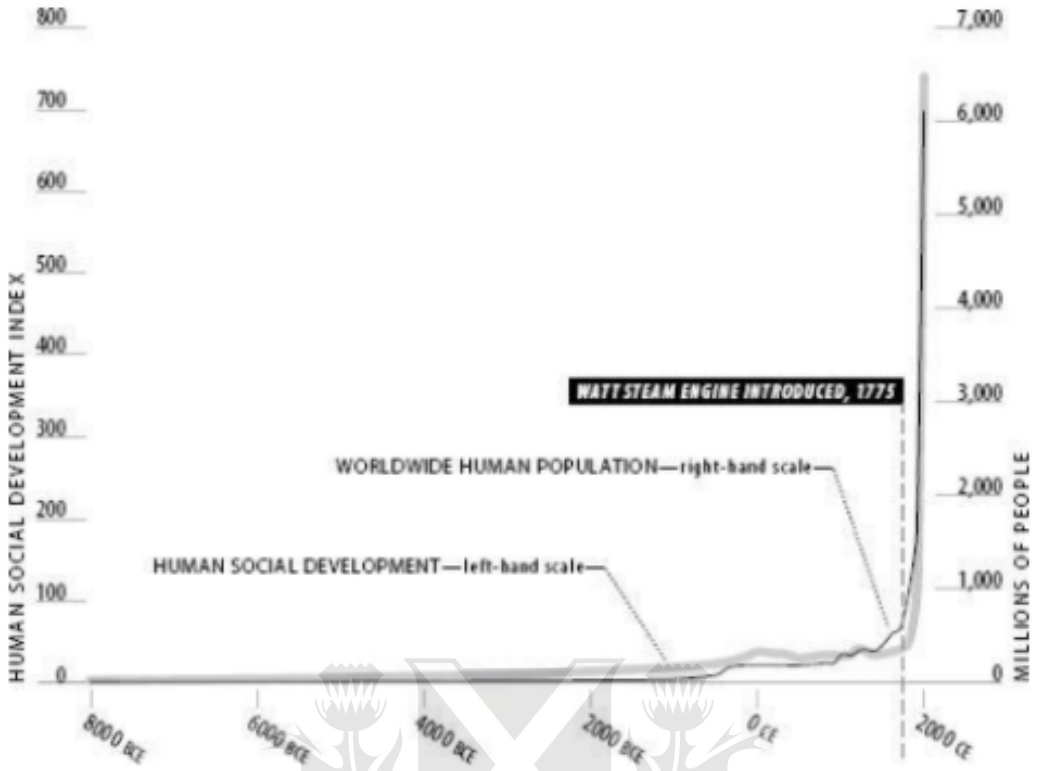
Universidad de San Andrés

3. PROGRESO TECNOLÓGICO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN LA HISTORIA

A continuación, se desarrollarán las dinámicas del progreso tecnológico y el crecimiento económico según los primeros dos hitos tecnológicos, definidos por Brynjolfsson y McAfee (2014) y caracterizados como tecnologías de propósito general por Bresnahan y Trajtenberg (1992). Lo que se busca es evaluar la incidencia del motor a vapor y la electricidad en el crecimiento económico. En consecuencia, determinar si existen similitudes entre períodos.

En pos de determinar aquellos hitos tecnológicos que posiblemente influyeron a nivel mundial, Brynjolfsson y McAfee (2014) se preguntan cuales serían aquellos eventos que hacen “doblar la curva” de la historia del progreso de la humanidad. Ellos tratan de responderse justificando que durante miles de años, el desarrollo de la sociedad fue subiendo gradualmente muy despacio, casi de forma invisible. Solamente 200 años atrás, algo repentino hizo que la curva se doble a noventa grados: la revolución industrial (Siglo XIII) y su aparejado desarrollo de la ingeniería mecánica, la química, metalúrgica y otras disciplinas. Específicamente, ellos resaltan como fundamental el desarrollo y mejoramiento del motor a vapor en la segunda mitad del siglo XIII. Dicho motor toma relevancia al reemplazar las limitaciones de la fuerza humana y animal o natural. El motor a vapor abrió la posibilidad de abrir más fábricas, incluso en lugares que no tenían un río cerca que potencie un molino. También revolucionó el transporte terrestre y marítimo, con el ferrocarril y el barco a vapor, respectivamente. Los autores definen los avances de la revolución industrial como el inicio de la “vida moderna”.

QUAERERE VERUM
Universidad de San Andrés



Curva de desarrollo de bienestar social. Brynjolfsson y McAfee (2014)

Luego, los autores remarcan que la TPG siguiente, la electricidad, dio un impulso adicional a la manufactura, habilitando a las máquinas a trabajar con energía propia. Incluso, literalmente iluminó las fábricas, oficinas, y galpones permitiendo un incremento en la productividad.

1. Motor a vapor y crecimiento económico

Mokyr (2002), intentando responder porque la revolución industrial surge en el siglo XIII, se basa en los estudios de algunos economistas reconocidos como Lucas, Hansen y Prescott y Acemoglu y Zilibotti. El autor presenta la hipótesis de que la revolución industrial surge por el desarrollo intelectual gestado por la revolución científica del siglo XVII. Según Mokyr (2002), es interesante tomar perspectiva de los años previos al surgimiento de la primera revolución industrial dado que habían surgido algunas

invenciones como la fundición de hierro o avances en los barcos, pero que se habían difuminado antes de lanzar a una economía al crecimiento sostenido.

Mokyr (2002) dice que la razón principal de los retornos decrecientes de los inventos era la fina base epistémica de la tecnología. En la era previa a la revolución industrial, se sabía muy poco de cómo y porqué ciertas técnicas funcionaban. Tal como remarcan Freeman y Soete (2007), el progreso tecnológico de la época no se generaba en centros de I+D profesionales sino que, se descubrían de casualidad, por prueba y error o por una intuición mecánica, similar al concepto de *learning by doing* de Arrow (1962). Ante el surgimiento de nuevas técnicas, estas generalmente se cristalizaban en una nueva meseta tecnológica pero que no impulsaban una corriente acumulativa de micro invenciones. Mokyr (2002) ejemplifica, diciendo que si un productor de cerveza o vino no conocía la naturaleza de la fermentación, que convierte el azúcar en alcohol, difícilmente podría perfeccionar el sabor o producir en masa para lograr precios bajos. El autor destaca en áreas claves de la tecnología, patrones de equilibrio puntuado[17] en el período entre los años 1400 y 1750.

El punto que remarca Mokyr (2002) es que el rango de experimentaciones posibles es demasiado amplio para un inventor que no conoce los principios de funcionamiento natural o las bases epistémicas. Por lo tanto, se desperdiciaban recursos valiosos en una búsqueda ya condenada desde un principio. El autor por lo tanto remarca la lenta ampliación de las bases epistémicas previa a la revolución industrial alrededor del año 1766 como un factor importante para su surgimiento efectivo.

Mokyr ejemplifica el comienzo de la acumulación de conocimiento generado a partir del I+D, como presentan Romer (1986), Aghion y Howitt (1992), entre otros autores. En estos tiempos la innovación surgía principalmente por una curiosidad científica más que por un incentivo de inversión en I+D para obtener retornos positivos, tal como denotan Grossman y Helpman (1994).

---

17 "*punctuated equilibrium"* Mokyr (2002)

Por esto es que Mokyr (2002) dice que fueron dos los fenómenos históricos que posibilitaron el surgimiento de la Revolución Industrial como la conocemos, la iluminación industrial[18] y la revolución científica del siglo XVII.

Mokyr (2002) define a la iluminación industrial como el cambio social que transformó, tanto la bases epistémicas como la firmeza del conocimiento para dar pie a la revolución industrial. Tuvo tres propósitos:

1) La búsqueda de la caída de las barreras de entrada a las técnicas de producción a través de entrevistas a las prácticas artesanas para catalogarlas, definir las superiores y difundirlas.
2) Entender porque estas técnicas superadoras funcionaban, generalizándolas y conectándolas con las bases epistémicas, considerando que llevarían a las mejoras y la aceleración de invenciones.
3) Facilitar la interacción entre quienes conocían la base epistémica y quienes llevaban a cabo las técnicas de producción.

En cuanto a la revolución científica del siglo XVII, Mokyr (2002) indica que le abrió camino a la iluminación industrial. El autor cita a Betty Jo Dobbs, William Eamon y Paul David, quienes indicaron que la revolución científica fue un período donde surgió la "ciencia abierta"[19], en la cual el conocimiento científico se convirtió en un bien público. El cambio sobre el que se enfoca el autor es la sistematización de los métodos y materiales utilizados en la investigación. Luego cita a Margaret Jacob diciendo que argumentó que para el año 1750 los ingenieros y emprendedores británicos tenían el mismo vocabulario técnico que objetivaba el mundo físico. Esta es la representación de la caída de las barreras de entrada a la técnicas de producción referida en el primer propósito de la iluminación industrial. Además, Mokyr (2002) agrega que las instituciones (*The Royal Society, The Society of Arts, etc)* en conjunto con la tecnología de la información (la imprenta), tuvieron mucha influencia en el cumplimiento de este propósito.

---

18 *"...Industrial Enlightenment"* (Mokyr 2002)

19 *"open science"* (Mokyr 2002)

Estos principios ilustran el camino del progreso tecnológico que Mokyr (2002) indica que llevaron a la creación del motor a vapor, la TPG perteneciente a la era de la Revolución industrial.

> "…el motor a vapor dependió de ambos, el entendimiento de la presión atmosférica,…y en la noción temprana del siglo XVII de que el motor a vapor era agua evaporada y que su condensación generaba un vacío. El descubrimiento llevó a la idea de que esta presión podía utilizarse para mover un pistón en un cilindro, que luego podía utilizarse para realizar trabajo."[20]

Como se puede notar, fue una invención de gran envergadura que como lo define Ruttan (1959) llevó una sucesión de micro invenciones para preparar el terreno.

Mokyr (2002) explica que Gran Bretaña fue una sociedad que proveyó los incentivos y oportunidades para el progreso tecnológico. Comparado con la evolución biológica, dice que la evolución técnica también precisa de cambios en el ambiente, que pueden activar los cambios de técnica. Luego, a través de una retroalimentación de las nuevas herramientas creadas, se logró el progreso tecnológico sostenido, característico de las tecnologías de propósito general.

Universidad de San Andrés

Según las conclusiones de Mokyr (2002), previo y durante la Revolución Industrial, la tecnología no se difundió de la misma manera en todo el mundo. Como concluye Verspagen (1993), la capacidad de asimilación de derrames tecnológicos difiere por países y el ritmo de asimilación esta también dado por los dotes iniciales de tecnología. Por esto es que algunos países como España, Irlanda, y los Países Bajos, tardaron en adaptarse al proceso de innovación de la revolución industrial, propio de la región.

Mokyr (2002) dice que ha surgido un consenso de que en la época de la revolución industrial el crecimiento económico ha sido muy lento. Sin

---

[20] *"…the steam engine depended both on the understanding of atmospheric pressure,…and on the early seventeenth-century notion that steam was evaporated wáter and its condensation created a vacuum. The discovery led to the idea that this pressure could be used for moving a piston in a cylinder, which could then be made to do work."* Mokyr (2002)

embargo, dice que también son reconocidos los tiempos que se demora en manifestar los efectos macroeconómicos de las llamadas TPG. Esto es coincidente con la teoría de tecnologías de propósito general de Bresnahan y Trajtenberg (1992), en donde el *lag* de los efectos en el crecimiento económico de la tecnología introducida en el sector productivo surgen por la demora del surgimiento de los complementos de innovación, ya sea por, resistencia del sector productivo, o incertidumbre de la tecnología en sí. En línea con el concepto de *learning by doing* introducido por Arrow (1962), a medida que los fabricantes iban utilizando los recientes motores a vapor por su obvia mejora en productividad, se descubrían los beneficios de reorganización productiva para aprovechar mejor dicha tecnología. Así es como comenzaba a formarse el círculo virtuoso de la externalidad vertical mencionada por Bresnahan y Trajtenberg (1992).

Como describieron Brynjolfsson y McAfee (2014), el motor a vapor no fue solamente una herramienta de producción sino que, característico de una TPG, revolucionó otros sectores como el del transporte. Con la introducción del ferrocarril y el barco a vapor a principios del siglo XIX, comenzó una etapa de difusión de la tecnología, poniendo en ruedo el círculo virtuoso de las externalidades horizontales mencionadas en el marco teórico. A medida que había más usuarios de la tecnología, los incentivos para mejorar la calidad de la TPG aumentaban y por lo tanto, como mencionan Grossman y Helpman (1994), la inversión en I+D aumentaba, dado que los beneficios económicos eran mayores. Esta adopción, difusión y puesta en marcha de los círculos virtuosos fomentó la última característica de las TPG, el dinamismo tecnológico. Es decir, la mejora continua de la eficiencia del motor a vapor logrando una caída continua del ratio precio/productividad sostenida por años tal como presenta Romer (1986).

Justamente, toda esta dinámica de progreso tecnológico según la teoría de Romer (1986) es lo que en un plazo de alrededor de 100 años fomentó un crecimiento económico sin precedente, aumentando la productividad per cápita sin un límite aparente. La acumulación de conocimiento, generada por las mejoras continuas en la eficiencia, podría

Universidad de San Andrés

haber llevado a un incremento marginal en la productividad. Este proceso comenzó a visualizar su final dados los retornos decrecientes en la producción de nuevos conocimientos destacada en el modelo de Romer (1986), ya que según la teoría, a medida que el motor a vapor se sofisticaba, se requería de mayor esfuerzo e inversión para continuar con la tendencia. Por lo tanto, como destacan Bresnahan y Trajtenberg (1992), el tiempo y los retornos decrecientes de la TPG, abrieron el paso para el surgimiento de la nueva TPG para el próximo período de crecimiento económico sostenido.

2. Electrificación y crecimiento económico

La introducción de la electricidad y los consecuentes motores eléctricos remplazaron la TPG anterior a fines del siglo XIX. Si bien se produjo un desplazamiento paulatino, Brynjolfsson y McAfee (2014) citando a Paul David, cuentan como el impulso al crecimiento económico no fue tan evidente en un principio. El historiador económico Paul David examinó los registros de las fábricas americanas de cuando se introdujo la electricidad. Según sus estudios, en su mayoría las fábricas mantuvieron un despliegue de maquinaria, y organización en general, muy similar a los esquemas compactos de los motores a vapor. Esto sucedía incluso con las nuevas fábricas que se construían, teniendo la oportunidad de rediseñar su organización. En consecuencia, dicen Brynjolfsson y McAfee (2014), no es casualidad que los registros de productividad no hayan mejorado en estos tiempos.

De hecho, como la historia había demostrado con los motores a vapor, la introducción de una nueva TPG normalmente demora en generar impacto en las estadísticas de productividad. Este *lag,* como explicado anteriormente, puede deberse a diversas razones de incertidumbre o resistencia del sector productivo, pero por sobre todo, como dicen Bresnahan y Trajtenberg (1992) por la demora en el desarrollo de los complementos de innovación. Con la introducción del motor eléctrico los incentivos para su utilización eran la primera razón evidente para su adpoción. De hecho en las primeras tres

décadas del XX, según dicen Bresnahan y Trajtenberg (1992), se vio una continua caída de los precios de la energía eléctrica, como también mejoras continuas en la eficiencia de los motores eléctricos. Los autores estiman que alrededor del año 1900 en los EEUU, los motores eléctricos representaban el 5% de los caballos de fuerza instalados en las fábricas, y que para el año 1930 subió a un 80%. Ellos dicen que se asume que el incremento de la productividad registrado para este período se debe en gran parte al proceso de electrificación de las fábricas. Sin embargo, las consecuencias de la introducción de esta nueva tecnología representaban un cambio mucho más significativo traído por los complementos de innovación.

Con las próximas generaciones de trabajadores, dicen Bresnahan y Trajtenberg (1992), comenzaron a realizarse cambios en la disposición de las maquinarias, aprovechando la flexibilidad que los motores eléctricos permitían. Para explicar en detalle este concepto los autores citan la comparación con la disposición de los motores a vapor que explica Rosenberg:

> "El motor a vapor requería de las técnicas de ejes y bandas molestas, para la transmisión de la energía dentro de la fábrica. Estos métodos imponían serias restricciones en la organización y el flujo de trabajo, que tenían que agruparse, de acuerdo a sus requerimientos energéticos, cercanos a la fuente de energía. Con la introducción de la energía "fraccionada", posible gracias al motor eléctrico y la electricidad, era posible proveer energía en unidades más pequeñas y menos costosas…[esta] flexibilidad…hizo posible la entera reorganización del trabajo, y de esta manera, realizo una contribución penetrante en el crecimiento de la productividad de la manufactura…Las máquinas y las herramientas ahora podían colocarse donde eran más eficientes, y no donde los mecanismos de transmisión eran fácilmente accesibles."[21]

[21] *"the steam engine required clumsy belting and shafting techniques for the transmission of power within the plant. These methods.. .imposed serious constraints upon the organization and flow of work, which had to be grouped, according to their power requirements, close to the energy source With the advent of 'fractionalized' power made possible by electricity and the electric motor, it now became possible to provide power in very small, less costly units ... [this] flexibility ... made possible a wholesale reorganization of work arrangements and, in this way, made a wide and pervasive contribution to productivity growth throughout manufacturing. .. . Machines and tools could now be put anywhere efficiency dictated, not where belts and shafts could most easily reach them."* Rosenberg 1982, en Bresnahan y Trajtenberg (1992)

Entonces, dicen Brynjolfsson y McAfee (2014) que las fábricas comenzaron a parecerse a las que conocemos hoy en día, un solo piso desplegado en un enorme terreno. Los autores agregan,

> "En vez de tener un motor de gran tamaño, cada máquina tenía su pequeño motor eléctrico. En vez de poner las máquinas de mayor consumo cerca del la fuente de energía, la disposición se basaba en un nuevo principio simple y poderoso: el flujo natural de trabajo de los materiales."[22]

Los autores señalan que luego de este evento, la productividad se duplicó o incluso en algunos casos se triplicó. A través de los años, y gracias a estos cambios, comenzaron a surgir otros complementos de innovación que continuaron impulsando la productividad. Algunos de estos son los distintos sistemas de producción conocidos como, *lean manufacturing, total quality management* y *six sigma*.

Como se puede notar, el proceso de electrificación, como uso de la TPG del momento a través de la red de electricidad y los motores eléctricos tuvo dinámicas de progreso tecnológico y crecimiento económico similares al período del motor a vapor. Utilizando la visión de "innovación como fruta" de Gordon (2012) y Cowen (2011), podemos pensar que durante el proceso de mejora de eficiencia del motor a vapor se generó una mejora sin precedentes de la productividad plasmada también en el crecimiento económico. Se cosecharon los beneficios económicos hasta que "la fruta", es decir, la TPG del momento fue totalmente agotada. Con esta misma visión, la electricidad fue la siguiente "fruta" que pasó a cosecharse para continuar con este proceso de crecimiento económico impulsado por mejoras en la productividad. Sin embargo, resulta interesante poner estos hechos en la perspectiva de Romer, la innovación a través de la recombinación de lo existente, como la citan Brynjolfsson y McAfee (2014). Tomando esta visión, se puede suponer que a medida que se volvió más compleja la generación de nuevos conocimientos para mejorar la eficiencia del motor a vapor surgieron

Universidad de San Andrés

---

22 *"Instead of a single massive engine, each piece of equipment had its own small electric motor. Instead of putting the machines needing the most power closest to the power source, the layout was based on a simple and powerful new principle: the natural workflow of materials."* Brynjolfsson y McAfee (2014)

nuevas ideas. La electricidad ya había sido inventada para fines del siglo XIX y a través de la innovación recombinativa se utilizó para generar un motor más eficiente para cada trabajo puntual, el motor eléctrico, dando un impulso significativo al progreso tecnológico y en consecuencia a la productividad y el crecimiento económico.

Como dicen Bresnahan y Trajtenberg (1992), es obvio que el desarrollo de las TPG tienen una linealidad temporal, es decir el motor eléctrico no podría haber surgido tan fácilmente si no se hubiese basado en la invención del motor a vapor. Con la misma linealidad temporal de las TPG, los microprocesadores no podrían haber surgido sin el previo surgimiento de la electricidad. Los microprocesadores no vienen a reemplazar al motor eléctrico dado que cumplen funciones genéricas muy distintas. Sin embargo, como veremos en la sección 4 a través de la innovación recombinativa, en la era de la tecnología de la información, los beneficios para la productividad y el crecimiento económico son significativos y podriamos estar viviendo solamente sus principios con efectos retrasados.

QUAERERE VERUM
Universidad de
SanAndrés

SECCIÓN 4

TECNOLOGÍA Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN LA ACTUALIDAD

Universidad de San Andrés

4. PROGRESO TECNOLÓGICO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO EN LA ACTUALIDAD

Brynjolfsson y McAfee (2014) dicen que varios economistas concuerdan en la distinción de ciertas innovaciones como TPG. Ellos dicen que estas son importantes porque son económicamente significativas, dado que interrumpen y aceleran el progreso económico normal esperado. Incluso, Gordon (2012) y Cowen (2011), remarcan la importancia del motor a vapor y la electricidad en el crecimiento económico. Sin embargo, disienten en que la tecnología de la información califique como TPG. Por el contrario, Brynjolfsson y McAfee (2014), creen que si lo es. De hecho, en línea con la definición de TPG de Bresnahan y Trajtenberg, (1992), creen que la TI aplica a las tres características principales, que sea penetrante, que mejore en el tiempo y que sea capaz de generar innovaciones adicionales. Incluso dicen que en una lista de clasificación elaborada por Alexander Field, la TI fue la segunda más votada en conjunto con la electricidad. Solamente el motor a vapor es mayormente reconocido como TPG.

Según Brynjolfsson y McAfee (2014), la próxima gran meta idea, como Romer la define, ya es una realidad en el presente. Los autores fundamentan que los microprocesadores, como la TPG del presente y a través de la digitalización de las TI, han radicalizado la forma en que se combinan y recombinan las ideas. Como ejemplo, presentan a los autos autónomos de Google, que son resultado de la recombinación del motor de combustión interna, computadoras rápidas, miles de sensores y una enorme cantidad de información digitalizada. Brynjolfsson y McAfee (2014) dicen que la innovación digital es una innovación de recombinación en su forma más pura. Hacen hincapié en las grandes empresas digitales, que siendo relativamente jóvenes, han crecido en valor económico a tasas altísimas. Desde esta perspectiva de innovación como recombinación presentada anteriormente, el progreso tecnológico no se acaba, sino que se acumula en forma de conocimiento e incrementa las oportunidades para futuras recombinaciones.

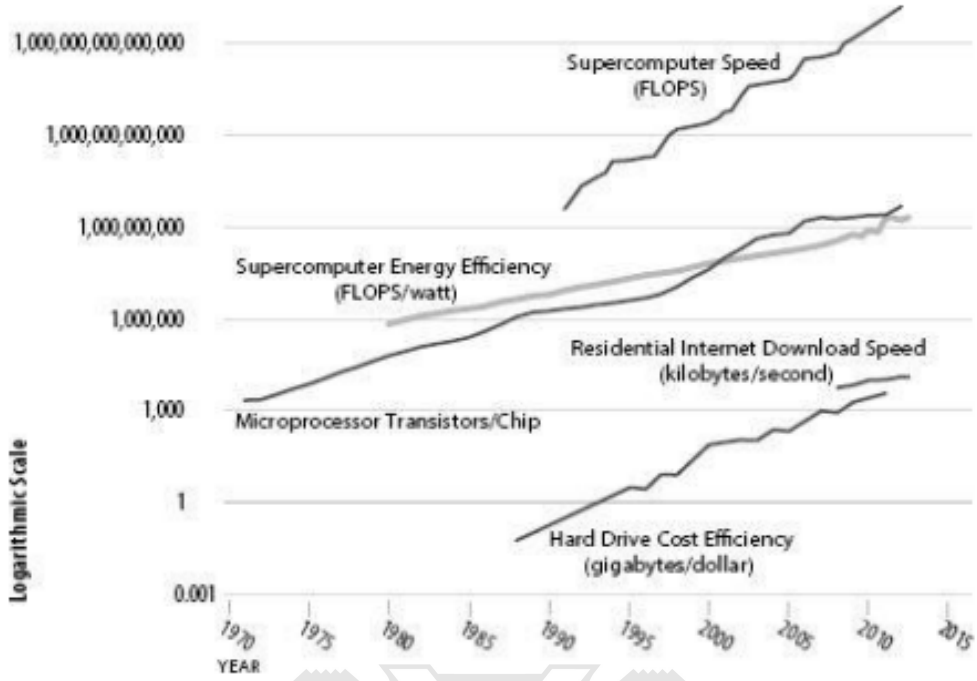
QUAERERE VERUM
Universidad de San Andrés

1. Microprocesadores

Hoy en día, nos encontramos en una segunda era de máquinas, llamada por Brynjolfsson y McAfee (2014), donde las computadoras y otros avances digitales remplazan la fuerza de la mente, tal y como en ese entonces las máquinas reemplazaron a la fuerza física. A pesar de que los microprocesadores fueron introducidos hace tiempo, al igual que las anteriores TPG, ha llevado todos estos años el perfeccionamiento para lograr entrar en esta segunda era en donde no solo se superarán los alcances de las eras anteriores, sino que se logrará incrementar tanto la variedad como el volumen de la demanda de millones de rubros y bienes. Los autores aclaran que los bienes físicos no dejan de ser importantes, pero que gracias a la digitalización, se mejoran las experiencias en el mundo físico, y se logran ofrecer bienes digitales en extrema abundancia.

Según los autores, el impulso de la Ley de Moore, mencionada en el marco teórico, ha llevado a una difusión del uso de microprocesadores a distintos rubros donde normalmente se utilizaban otras técnicas. A través de los microprocesadores, y dada su capacidad creciente de procesamiento al mismo precio, se han digitalizado muchas funciones que anteriormente trabajaban con otras técnicas. En distintas industrias se ha cambiado la manera en que funcionan sus productos, alternando un funcionamiento analógico por uno digital. Un claro ejemplo es en las cámaras de foto, en 1975 Eastman Kodak creó la primer cámara digital. Aunque al principio costosa y aparatosa, rápidamente ha remplazado a la cámara analógica.

Universidad de San Andrés



Curva del progreso tecnológico de los microprocesadores. Brynjolfsson y McAfee (2014)

Otro ejemplo que dan los autores del progreso tecnológico de esta TPG es el cambio en un año que se logró con la supercomputadora del Gobierno de los EEUU introducida en 1996. Costó U$ 55 millones en desarrollar, y ocupaba el 80% de una cancha de tenis, se utilizaba por ejemplo para simular pruebas nucleares. Fue la primera en tener una capacidad de procesamiento por arriba de 1 teraflop (*one trillion floating point operations per second).* Para 1997, lograron llevarlo a 1.8 teraflops. Nueve años después, en el 2006, este poder de procesamiento venía instalado en la PlayStation 3 con un costo de U$ 500, en el tamaño que todos conocemos y un consumo eléctrico considerablemente menor.

Entre otros ejemplos que dan los autores, dicen que estos ilustran el primer elemento del porque nos encontramos en una segunda era de las máquinas (título de su libro "*The Second Machine Age").* El primer elemento es:

> "…la mejora (progreso tecnológico) exponencial sostenida nos ha traído a la segunda mitad del tablero de ajedrez – …lo que vimos previamente no es una guía confiable de lo que pasará después."[23]

Por lo tanto, es innegable decir que los microprocesadores no cumplen con al menos la segunda característica que plantean Bresnahan y Trajtenberg (1992) en su modelo de tecnologías de propósito general, el dinamismo tecnológico. Esta característica radica en que haya un esfuerzo continuo de innovación respecto de la tecnología; que mejore la eficiencia de la misma al reducir el ratio precio/productividad. Lógicamente el esfuerzo continuo para optimizar la tecnología viene incentivado por los beneficios económicos de un mercado digital que ha profundizado y difundido la utilización de la TPG. Estos incentivos económicos se encuentran en línea con lo establecido por Grossman y Helpman (1994) en el marco teórico, e incluso, como veremos más adelante, por un sector de I + D competitivo como lo plantean Aghion y Howitt (1992).

El segundo elemento planteado por Brynjolfsson y McAfee (2014) es el de la digitalización como sector de aplicación de los microprocesadores. Los autores utilizan la definición de Shapiro y Varian (Libro *Information Rules (1998))* que dicen que la digitalización es codificar información como una corriente de bits. Brynjolfsson y McAfee (2014) utilizan el ejemplo de la aplicación conocida como Waze. Esta, se ha vuelto posible en gran parte gracias al progreso tecnológico de la TPG. Lo que quieren remarcar es como la información digital tiene ciertas cualidades económicas muy interesantes. En primer lugar hablan del efecto de la red, en donde el valor del recurso (en este caso Waze) para cada usuario se incrementa con cada usuario adicional que se incorpora. En segundo lugar, la no rivalidad del bien, no se gasta al utilizarse. En tercer lugar, que tiene un costo marginal de reproducción muy cercano a cero, dado que es muy barato realizar una copia.

Sobre el bajo costo marginal de reproducción, Brynjolfsson y McAfee (2014) dicen que hace falta aclarar que la información digital sigue siendo

---

[23] "*…steady exponential improvement has brought us into the second half of the chessboard—…what's come before is no longer a particularly reliable guide to what will happen next."* Brynjolfsson y McAfee (2014)

costosa de producir. Sin embargo, remarcan un efecto analizado en las últimas dos décadas que es que una gran parte de los usuarios están dispuestos a producir información sin siquiera buscar un rédito económico a cambio. Justamente explican que esto lleva a un mejor entendimiento de las dinámicas sociales, naturales, económicas, etc; dado que proveen las bases de donde se nutre la ciencia.

Estas cualidades y efectos llevan a los autores a diagramar dos conclusiones sobre el surgimiento de la digitalización:

1) Hay nuevas formas de adquirir conocimiento o de hacer ciencia.
2) Las tasas de innovación son más altas.

Los autores dicen que en el pasado, la ignorancia protegía a los vendedores de productos y/o servicios ineficientes o de baja calidad. Páginas como Yelp, en gran parte ayudan a la eficiencia del mercado. De hecho, según citan los autores, Michael Luca en su investigación encontró que este aumento de la transparencia del mercado ayuda a los negocios independientes a competir con las grandes cadenas, reduciendo la dependencia en las costosas campañas de marketing.

Universidad de San Andrés

Como el ejemplo de Yelp, existen muchos otros activos digitales intangibles, los cuales, Brynjolfsson y McAfee (2014), clasifican en 4 categorías: propiedad intelectual, capital organizacional, contenido generado por los usuarios y capital humano. En la era de la TI, según los autores, la producción se ha vuelto cada vez más dependiente de estos activos y menos en el equipamiento físico.

Propiedad intelectual: En esta categoría los autores incluyen lo registrado en patentes y derechos de copia. Ellos mencionan que la tasa de patentamiento se ha acelerado considerablemente desde la década de los 80. Sin embargo, su punto está en que hay mucha I+D que se realiza, la cual no se formaliza en estos instrumentos y por lo tanto no queda registrada en las estadísticas a pesar de ser valiosa, dado que como dicen Aghion y Howitt (1992), el conocimiento generado es acumulativo.

Capital organizacional: Esto se refiere a las nuevas formas de utilizar la TI para los procesos de negocio, técnica de producción, y organización y modelos de negocio o como lo llaman Bresnahan y Trajtenberg (1992), los complementos de innovación. Brynjolfsson y McAfee (2014), dicen que la inversión en el rediseño de los procesos cuesta entre 3 y 5 veces la inversión en el hardware y software. Los autores estiman que estas inversiones que normalmente no son consideradas como capital, agregarían alrededor de U$ 2 trillones a la estadística oficial de activos de capital de la economía de los EEUU.

Contenido generado por usuarios: Bajo esta categoría se encuentran las plataformas como Facebook, Youtube, Yelp, TripAdvisor entre otras. Su valor se encuentra en gran parte en el óseo y la eficiencia de los mercados. Si bien su valor es menor, está creciendo rápidamente. Los usuarios crean inmensas cantidad de contenidos gratuitamente y es por esto que algunos investigadores como Luis von Ahn y Carnegie Mellon están trabajando en motivar y organizar a millones de personas para elaborar proyectos colectivos en la internet.

Capital humano: En esta categoría los autores se refieren al valor agregado de los años de estudio en escuelas, aprendiendo habilidades particulares, e incluso el aprendizaje en el trabajo y por nuestra cuenta. Todo esta superación humana nos hace más productivos, y por lo tanto es una contribución al stock capital nacional. Los autores citan el estudio de Dale Jorgenson y Barbara Fraumeni, indicando que el valor del capital humano en los EEUU es de cinco a diez veces mayor al valor del capital físico del mismo país.

Dicen los autores que el gran impedimento de poder aprovechar la TI para impulsar el crecimiento económico ha sido la poca efectividad que en lo reciente ha tenido gran parte de la población para acceder a esta interconexión global. Los autores citan un estudio del economista Robert Jensen realizado durante 1997 y 2001, sobre la introducción de los teléfonos móviles. Él documentó información previa y posterior a la introducción de esta tecnología en un pueblo pesquero de India. Los resultados indicaban que el

Universidad de San Andrés QUAERERE VERUM

precio del pescado se estabilizó inmediatamente con el cambio, y a pesar de que los precios en promedio bajaron, los pescadores lograban hacer más rentable su actividad evitando las ineficiencias del mercado. Previamente solía ocurrir que los pescadores llevaban su frutos de trabajo del día a mercados donde la oferta ya era suficiente, produciendo desperdicios. Este efecto al día de hoy no solamente se ha profundizado sino que se ha difundido. El Banco mundial estimó para el 2014 que un 75% de los habitantes del mundo tenía acceso a lo teléfonos móviles inteligentes. Tanto ha bajado su costo, gracias al dinamismo tecnológico de los microprocesadores, que en algunos países la telefonía móvil inteligente es más común que las cloacas.

Brynjolfsson y McAfee (2014) remarcan dos puntos sobre la actualidad de los micrprocesadores y sus sectores de aplicación, diciendo que podrían ser la innovación más importante desde la Revolución Industrial. El primer punto es el ejemplificado anteriormente, la interconexión del mundo entero a través de una red digital. El segundo es la inteligencia artificial, que como complemento de innovación podría tener el potencial de ser la próxima TPG con enormes impactos en el crecimiento económico. Por separado, estos eventos deberían impulsar un crecimiento económico importante. Juntos, cambiarían para siempre la manera de realizar el trabajo intelectual. La inteligencia artificial hoy en día ha comenzado a mejorar sola contínuamente a través de la enorme cantidad de datos, esto es comúnmente denominado como *machine learning*. Algunos cambios sustanciales que están en proceso de introducirse en nuestras economías son la habilidad de manejar autos, guiar robots en depósitos, y hacer más eficiente el mercado laboral emparejando posibles empleados con empleadores, entre miles de otras aplicaciones

Universidad de San Andrés

1.1. Crecimiento económico en la era de la tecnología informática

Muchos autores, como Brynjolfsson, McAfee (2014) y Mokyr según lo citan en su libro Teulings y Baldwin (2014), creen que los beneficios de la era

digital no están siendo comprendidos dentro de las estadísticas del PBI y de la productividad. Como dice, Joe Stiglitz citado por Brynjolfsson y McAfee (2014),

> "El hecho de que el PBI pueda ser una mala medida de nuestro bienestar, o incluso de la actividad económica, ha sido, por supuesto, reconocido hace tiempo. Sin embargo, los cambios en la sociedad y en la economía podrían haber profundizado estos problemas, al mismo tiempo que los avances en las técnicas económicas y estadísticas podrían proveer la oportunidad de mejorar nuestras métricas"[24]

Específicamente Teulings y Baldwin (2014) en complemento con una cita a Mokyr dicen que estas medidas están diseñadas para las economías de trigo y acero. Es decir, que funcionan solamente cuando las cantidades importan, y no para medir los beneficios de la revolución de la TI. Brynjolfsson y McAfee (2014) cuentan que el presidente Hoover en los EEUU al intentar comprender la Gran Depresión, cuando no existía la medida comprensiva del PBI, recibía distintos datos aislados de los precios de los *commodities,* de las acciones y de las cargas de bienes realizadas en los carros. En 1937 Simon Kuznets presenta su método para medir las cuentas nacionales, el PBI. Esta medida, remarcan los autores, ayudó por años a proveer información de las fluctuaciones económicas del siglo XX.

Sin embargo, Brynjolfsson y McAfee (2014) dicen,

> "Como la economía ha cambiado, también tienen que hacerlo nuestras métricas. Cada vez más, lo que nos importa en la segunda era de la máquinas son las ideas y no las cosas…La gran ironía de esta era de la información es que, en gran medida, sabemos menos de la fuente de valor de nuestra economía que hace cincuenta años…Hay una enorme capa de la economía que no aparece en las métricas de la economía"[25]

---

[24] *The fact that GDP may be a poor measure of well-being, or even of market activity, has, of course, long been recognized. But changes in society and the economy may have heightened the problems, at the same time that advances in economics and statistical techniques may have provided opportunities to improve our metrics.* Joe Stiglitz en Brynjolfsson y McAfee (2014)

[25] *But as the economy has changed so, too, must our metrics. More and more what we care about in the second machine age are ideas, not things…The great irony of this information age is that, in many ways, we actually know less about the sources of value in the economy than we did fifty years ago…There's a huge layer of the economy unseen in the official data*

Al contemplar esto, dicen, aparecen ciertas tendencias en las estadísticas oficiales que nos muestran, por un lado, como se subestima el incremento en el bienestar, y por el otro, que estas estadísticas en la era de la TI se han vuelto cada vez más engañosas.

Brynjolfsson y McAfee (2014) creen que estamos frente una oportunidad de capitalizar los frutos de la era de la TI, y las enormes cantidades de información para mejorar las mediciones y entender en mayor medida las dinámicas de la economía, tal como ha sucedido en las áreas del marketing, producción, finanzas, retail, entre otras.

El primer ejemplo que presentan es en la industria de la música. Las ventas de las copias físicas de la música registran una caída desde 800 millones de unidades en 2004 a 400 millones de unidades en el 2008. Sin embargo, remarcan, que en el mismo período la venta total de música aumentó, mostrando un aceleración en la venta de copias digitales. Es cierto por otra parte que los ingresos de las ventas en el período mencionado cayeron de U$ 12.3 billones a U$ 7.4 billones. El punto de los autores es que el valor de la música no ha caído, solamente su precio y los costos de reproducción. La misma dinámica sucede con los diarios y revistas, entre muchos otros bienes digitalizados. Al mismo tiempo, en la era de la TI, surgen nuevos bienes y servicios digitalizados que aumentan nuestro bienestar y no eran posibles de obtener a ningún precio ni para las personas más adineradas del mundo. Para poner en perspectiva, hoy en día un niño con un teléfono móvil tiene acceso a más información en tiempo real que el presidente de los EEUU hace solamente 20 años.

Por lo tanto, Brynjolfsson y McAfee (2014), dicen que dado que los bienes y servicios digitales tienen precio cero, son virtualmente invisibles en las estadísticas oficiales. Es decir, aumentan el bienestar y/o la productividad de la economía, pero no agregan "…dólares al PBI", y por lo tanto, como la estadística de la productividad está basada en las métricas del PBI, los bienes y servicios digitales no se registran tampoco como un aumento de productividad. Incluso, remarcan los autores, que ante esta caída de los precios de estos bienes y servicios (que tienen valor para la economía),

QUAERERE VERUM
Universidad de San Andrés

irónicamente, el PBI tendería a bajar. El *US Bureau of Economic Analyisis* define la contribución del sector de la TI, como la suma de las ventas de software, publicaciones, películas, grabaciones de sonido, radio, telecomunicaciones, y servicios de procesamiento de información. Según sus estadísticas oficiales, la porción del PBI de los EEUU que representa este sector es del 4% del PBI (al día 2014), la misma porción que a fines de la década de los 80, antes de la creación del internet. La intuición nos lleva a pensar que las estadísticas oficiales no están capturando el valor agregado de los bienes y servicios de la era de la tecnología informática.

Brynjolfsson y McAfee (2014) citan los estudios de Erik Brynjolfsson y Joo Hee Oh, en donde utilizaron como medida de valor la unidad de tiempo en vez de dinero. Su estimación les indicó que la internet generaba alrededor de U$ 2 600 de valor por usuario cada año. Si estas cifras hubiesen sido tomadas en cuenta en el crecimiento del PBI, y por lo tanto en el crecimiento de la productividad, entonces el crecimiento anual hubiese sido un 0.3% mayor elevando el 1.2 reportado para el 2012 a un 1.5%.

Además, como se mencionó anteriormente, en la era de la TI se ha aumentado el rango de bienes y servicios disponibles a través de la utilización de los microprocesadores tanto en procesos como en distintos productos en si. Brynjolfsson y McAfee (2014) dicen que 77% de las empresas de software reportaron nuevos productos todos los años. Aun más, el retail por internet ha logrado ampliar la selección de bienes disponibles para los consumidores. Hoy en día en la página web de Amazon se pueden encontrar alrededor de 2 millones de libros, mientras que la tienda más grande de Barnes & Noble tiene 250 mil libros. Brynjolfsson, McAfee (2014), dicen que cada vez que se introduce un nuevo producto se aumenta el excedente del consumidor dado que se “baja el precio” a un punto considerable que previo a su existencia sería imposible comprarlo. Por lo tanto, los autores dicen que Gordon se estima que la medida del PBI que se pierde, es alrededor de un 0.4% adicional de crecimiento anual, al no tomar en cuenta el valor de los nuevos bienes y servicios introducidos en una economía.

Por lo tanto, tomando en cuenta que el crecimiento anual de PBI ha rondado el 2% durante todo el siglo XX, si sumamos las medidas estimadas del 0.3% y del 0.4%, el aumento en la tasa de productividad anual para el 2012 sería de alrededor del 1.9%.

2. Análisis comparativo del crecimiento económico en los distintos hitos tecnológicos

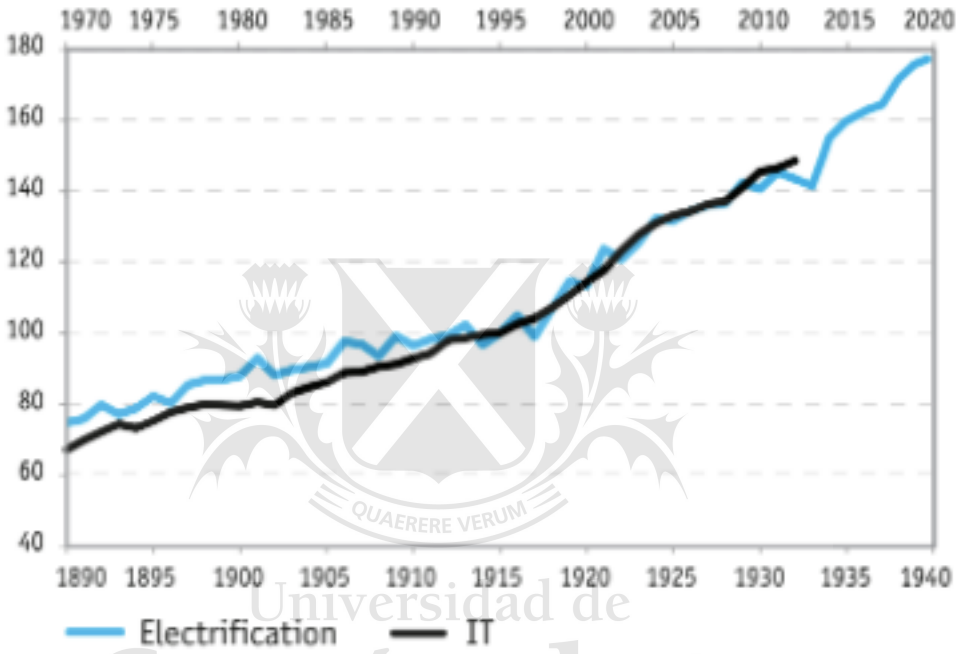
Como podemos notar, en el desarrollo de la sección 3 y principio de la 4, se presentan épocas completamente distintas, que en conjunto forman lo que Brynjolfsson y McAfee (2014) llaman la "vida moderna" del ser humano. A pesar de ser tiempos sustancialmente distintos desde lo económico, social, y otros aspectos, se pueden distinguir dinámicas similiares en lo que respecta al progreso tecnológico y el crecimiento económico.

Syverson (2013) realiza una comparación interesante respecto al crecimiento de la productividad laboral entre la era de la electrificación y la era de la tecnología de la información (TI). Respecto del crecimiento de la productividad en la era de la TI, según el gráfico que provee el autor, se puede observar un crecimiento lento a mediados de la década del los `70 hasta mediados de la década de los ´90. Entre los años 1995-2004 se nota un crecimiento de la productividad laboral más alto, y sostenido, con una tasa anual promedio del 3.1%, significativamente más alta que para período del 2004-2012, con un 1.6%. Brynjolfsson y McAfee (2014) dicen que el alto incremento de tasa que se vio en 1995 es atribuible a la tracción de la TI en la productividad. Incluso se podría argumentar que ante el surgimiento del complemento de innovación conocido como internet en 1989, se produjo el impulso productivo tan esperado desde la creación de los microprocesadores en el año 1971.

Universidad de San Andrés

Labour Productivity Growth During the Electrification Era (1890-1940) and the IT Era (1970-2012) in the United States

(1915 = 100 and 1995 = 100)



Source: Kendrick (1961); Byrne, Oliner, and Sichel (2013).

Universidad de San Andrés

El autor luego utiliza estas estadísticas en comparación a la TPG anterior, la electricidad. Remarca, como visto en el gráfico, la similitud de patrones entre las dos eras. En la era de la electrificación también se nota un período inicial de alrededor de 25 años, con crecimiento de la productividad laboral relativamente lento. Luego, una aceleración de la tasa, por un período de 10 años, para luego desacelerar durante 8 años aproximadamente. De hecho Mokyr (2002) desde la métrica del crecimiento económico, resalta la incidencia tardía del motor a vapor en la economía en el período conocido como la revolución industrial. Como se mencionó anteriormente, esto es consecuente con el modelo de tecnologías de propósito general de

Bresnahan y Trajtenberg (1992). Justamente, en la invención de una nueva TPG, ésta no nace optimizada y costo-eficiente, sino que, en línea con las definiciones de innovación de Schumpeter (1934) y Schumpeter (1939) presentadas por Ruttan (1959), las primeras adopciones parten de usuarios (o sectores de aplicación) con liderazgo y visión de lo que la TPG puede significar. Luego, podría influir la externalidad positiva según menciona Romer (1986) en su modelo al haber un derrame de conocimiento que difunde en el sector privado el aumento de la productividad generada por un pequeño sector al aplicar la TI. Con esta difusión y penetración de la TPG en distintos SA se ponen en ruedo los dos círculos virtuosos (externalidad vertical y horizontal) que describen Bresnahan y Trajtenberg (1992). Bajo condiciones de incertidumbre, esto lleva su tiempo y por consecuencia se genera este *lag* hasta que los SA comienzan a adaptar su organización industrial a la nueva forma de producir bienes y servicios, tal como indica Arrow (1962). Además, según el autor que acuñó el concepto de *learning by doing*, la experiencia directa trabajando con los microprocesadores puede haber disminuido el efecto de productividad marginal decreciente de los trabajadores.

Para la última sección del gráfico, Syverson (2013) destaca la nueva aceleración de la tasa de productividad laboral de la era de la electrificación. Aclara que no intenta realizar una proyección comparativa, pero si destacar la similitud de tendencias, remarcando que para la era de electrificación se volvió a ver un incremento de la tasa de productividad laboral. Él dice que:

> "La historia demuestra que el crecimiento de la productividad impulsado por tecnologías de propósito general puede venir en múltiples olas; no necesita simplemente llegar, dar lo que tiene, y desvanecer para siempre."[26]

Brynjolfsson y McAfee (2014) resaltan una diferencia importante respecto de la era de la electrificación dado que los complementos de innovación de esta era están creándose más rápido. En 10 años desde la invención del internet en 1989, ya se estaban creando empresas tan importantes y con tanto valor como Google. Incluso en un nivel menos visible,

---

26 *"History shows that productivity growth driven by general purpose technologies can arrive in multiple waves; it need not simply arrive, give what it has, and fade away forever thereafter."* Syverson (2013)

los sistemas de TI que las empresas comenzaron a utilizar en la década de los 90 tuvieron un gran impacto en la productividad. Por ejemplo, a través del rediseño de los procesos del negocio, Walmart logró incrementar sus ventas de U$ 1 billón por semana en 1993 a U$ 1 billón cada 36 horas en 2001. Incluso ayudó a impulsar incrementos sustanciales en las industrias de retail y distribución del los EEUU, lo cual según los autores representa gran parte del incremento adicional de la productividad de este mismo país en este período. Es decir, utilizando el modelo de Romer, se podría decir que la era de la TI tiene una tasa de aumento del conocimiento mayor a la de la era de la electrificación.

Sin embargo, esto no quita que esta TPG tenga dinámicas similares a las previamente analizadas. Erik Brynjolsfsson cita sus propios estudios en Brynjolfsson y McAfee (2014). En sus estudios, él en colaboración con Hitt, descubrieron que en promedio los beneficios productivos de la inversión de la empresa en TI demoraban alrededor de 5 y 7 años en coronarse. Este tiempo y esfuerzo es el que se requiere para realizar las inversiones complementarias necesarias para el cambio de procesos. De hecho los autores de este estudio estimaron que por cada dólar invertido en hardware, las empresas precisaban de otros U$ 9 adicionales en software y rediseño de procesos del negocio. De hecho, según indica Romer en su modelo sería normal esperar una tasa de inversión mayor a medida que se incrementa el stock de capital, justamente por esperarse retornos crecientes al capital.

Universidad de San Andrés

SECCIÓN 5

CONCLUSIÓN Y ANÁLISIS A FUTURO

Universidad de SanAndrés

5. PROGRESO TECNOLÓGICO Y CRECIMIENTO ECONÓMICO A FUTURO

1. Progreso tecnológico: ¿aceleración o alentamiento?

Brynjolfsson y McAfee (2014), citan parte del estudio del crecimiento económico de fines del siglo XX de Jorgenson y Stiroh realizado en *New York Federal Reserve Bank.* En este estudio dicen que gran parte de la aceleración del crecimiento económico hacia el final del siglo XX puede ser trazado a los sectores de la economía que producen tecnología de la información o que la utilizan intensamente. Incluso dicen que Jorgenson y Stiroh, por separado, encontraron que las industrias capital intensivas en TI tendieron a aumentar la tasa de crecimiento de la productividad total de los factores en la década de los 90, mientras que en los sectores de la economía que no utilizaba la TI esta tasa cayó levemente. Por lo tanto, en contexto del estancamiento secular Brynjolfsson y McAfee (2014) adjudican la caída de la tasa de crecimiento económico a los efectos posteriores de la gran recesión del 2008 y no a un estancamiento de las tasa de progreso tecnológico.

El economista Robert Gordon (2012), presenta una visión alternativa respecto de la TPG del presente. Él se sorprende del inmenso aumento productivo que integró en la economía la creación y mejoras del motor a vapor. De hecho enfatiza su importancia diciendo que fue el evento económico más significante en la historia del mundo. El mantenimiento por 200 años de las altas tasas de crecimiento económico remarcado por el autor, dice que fue también gracias a una segunda revolución industrial. Ésta fue introducida gracias al motor eléctrico y el proceso de electrificación que remplazaron al motor a vapor y el sistema industrial construido alrededor de esta tecnología. Sin embargo, luego de tomar alrededor de 100 años para rendir sus efectos totales, Gordon (2012) dice que el crecimiento económico comenzó a frenarse e incluso caer. De hecho, dice que existe la posibilidad de que el progreso tecnológico y su consecuente crecimiento económico que vivimos en los últimos 250 años sea un episodio único en la historia del ser humano.

El no es el único en seguir esta línea de pensamiento, Tyler Cowen (2012) presenta su libro *The Great Stagnation* que habla sobre los problemas de crecimiento económico de EEUU, fundamentando que las innovaciones tecnológicas son hoy en día más complicadas. Al igual que Gordon, Cowen mantiene la visión de innovación como fruta y que ya se han agotado las frutas que cuelgan bajo.

Mokyr (2014), Brynjolfsson y McAfee (2014), entre otro autores, no piensan que el estancamiento secular sea un problema frente al progreso tecnológico. De hecho, desde la visión de la innovación recombinativa, hoy en día, contamos con muchas más herramientas para detectar oportunidades de progreso tecnológico e implementarlo rápidamente en los sectores productivos. Los autores, no creen que las bajas tasas de crecimiento tengan que ver con una baja tasa de progreso tecnológico, sino con la inhabilidad de los seres humanos de procesar nuevas ideas lo suficientemente rápido. Están convencidos de que la interconexión global de las TI ayuda en este sentido aumentando la cantidad de personas que puede probar nuevas combinaciones de ideas, a través del bajo costo de acceso a una cantidad inmensa de información y poder de procesamiento. Esto de alguna manera amplía el espectro de potenciales SA de la TPG de nuestra era. Por ejemplo la NASA, entre otros, ya pudo comprobar estos efectos al intentar resolver un problema, predecir las erupciones solares. Esto era necesario para prevenir daños de radiación en las personas y equipos espaciales. Después de 35 años de investigación de distintos métodos, la NASA reconoció que no sabía como resolver el problema. La agencia espacial, decidió publicar los datos y descripción del desafío. Este fue resuelto por Bruce Cragin, un ingeniero de radio frecuencias retirado, proveyendo la teoría para predecir las erupciones solares 8 horas antes con un 85% de precisión y 24 horas antes con un 75% de precisión.

Comparando con su análisis de la Revolución industrial, Mokyr (2002) resalta las enormes bajas del costo de acceso marginal contemporáneas, de lo que él llama “la revolución de tecnologías de información y

Universidad de San Andrés

comunicación"[27]. Según el autor, esta aceleración en la caída de barreras, ha abierto las puertas a un proceso de progreso tecnológico en nuestra era. Contrario a Mokyr, Gordon (2012) dice que el climax de la era de los microprocesadores fue a fines del siglo XX y que el impacto en la productividad de estas innovaciones ha desaparecido lentamente durante la primer década del siglo XXI. En comparación con la era de la electrificación, los impactos en la productividad han sido mucho más fugazes. Igual que lo hicieron la revolución científica y la iluminación industrial para el surgimiento de la revolución industrial. Brynjolfsson y McAfee (2014) están de acuerdo con Mokyr (2002) al hacer énfasis en la caída en los costos de búsqueda y transacción de la información, en donde se aumenta la eficiencia y conveniencia para los consumidores y las empresas. Estas tendencias y efectos, son visibles para todo el sector privado, y por lo tanto se podría asumir, que ante una continuación en la caída del ratio precio/productividad de los microprocesadores, se logrará una mayor profundización y difusión de la TI en las economías mundiales. Para Gordon (2012) esta caída del ratio precio/productividad, solamente se ha enfocado en la industria del entretenimiento y comunicación, sin cambiar la productividad laboral o mejorar los estándares de vida como lo han hecho las otras TPG.

En línea con el pensamiento de Gordon (2012) y Cowen (2011), en el presente, nos encontramos en un punto donde los mecanismos de la tecnología se han vuelto complejos de comprender a simple vista y poniendo en perspectiva el primer motor a vapor, se trata de un mecanismo mucho más simple que un microprocesador. De hecho, es cierto como remarca Gordon, que después del año 1970, se ha visto una caída en la tasa de crecimiento de la productividad. Sin embargo, se podría pensar que las herramientas con las que contamos hoy facilitan el entendimiento de este incremento de dificultad. Además, en lo reciente hemos comenzando a ver un establecimiento de las ciencias de la computación. El cambio de paradigma hacia un plano virtual ha sido tal que se podría asumir un lag, como indican Bresnahan y Trajtenberg (1992), para notar los impactos en la productividad. Gordon (2012) argumenta que las mejoras en la productividad de la era de

[27] *"information and communications technology revolution"* Mokyr (2002)

los microprocesadores se han generado en mayor parte previo al año 1970 remarcado por el autor. Por ejemplo, la impresión de los estados de cuenta bancarios y pólizas de seguros (para su documentación), las tarjetas de crédito, los sistemas de reserva de aerolíneas. En el presente, la tecnología blockchain y la automatización de procesos a través del software promete automatizar procesos burocráticos que si bien tienen sus virtudes, también generan ineficiencias en el mercado. Incluso en el futuro, a través de la inteligencia artificial se podría comprender, recombinar y crear nuevas ideas de manera sustancialmente más eficiente. De alguna manera, como creen Mokyr (2002), Brynjolfsson y McAffee (2014), Kurzweil (2005), solamente se han establecido las bases para el cambio de paradigma.

A través del relato de su experiencia con los vehículos autónomos de Google, Brynjolfsson y McAfee (2014) resaltan el vertiginoso progreso tecnológico del siglo XXI. Basándose en la literatura de Levy y Murnane "*The New Division of Labor",* donde se distinguen las virtudes del humano y de la computadora. Ellos creían que la computadora era buena para seguir reglas (ejecutar algoritmos), pero no así para reconocer patrones. Cuentan que en el año 2004, DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) formó un concurso que desafiaba a construir un vehículo completamente autónomo que recorriera 150 millas por el desierto. Quedaron defraudados al ver que el ganador cubrió menos de un 5% del recorrido total. Sin embargo, cuentan como en el año 2012, subieron a un vehículo autónomo de Google y recorrieron una autopista con tráfico en California, donde la habilidad de reconocer patrones es vital. Ellos dicen que este ejemplo, es uno entre muchos para traer conciencia de lo repentino de los resultados del progreso tecnológico en esta era.

Los autores también remarcan el progreso tecnológico exponencial de los microprocesadores, tal como lo indica la Ley de Moore. Ellos dicen que la máquina de vapor en la Revolución Industrial también tuvo un progreso tecnológico exponencial a partir de las innovaciones de Watt y experimentación adicional por al menos 200 años. Sin embargo, existe una diferencia respecto a la TPG del presente. Los exponentes fueron

relativamente pequeños, tal que se duplicó la eficiencia solamente 3 o 4 veces en ese período. En la era de los microprocesadores, la duplicación de eficiencia es mucho más rápida y el crecimiento exponencial es sobresaliente. Tal es la diferencia, dicen los autores, que nos encontramos en la segunda mitad del tablero de ajedrez[28], explicando de alguna manera el vertiginoso progreso de las tecnologías digitales,

> "…el progreso en algunos de los más viejos y difíciles desafíos con las computadoras, robots, y otros aparatos digitales fue gradual por mucho tiempo. Luego, en los últimos años se ha vuelto repentino…".[29]

De hecho, los autores luego de su investigación para el libro "*The Second Machine Age*" han conocido distintas innovaciones como, el vehículo autónomo, supercomputadoras que ganan a los mejores humanos en el famoso juego *Jeopardy,* entre otras, que interactúan fuera de un entorno controlado. Esto, dicen, da la impresión de que nos encontramos en un punto de inflexión, similar al que se vivió en la Revolución Industrial.

Syverson (2013) en sus comentarios, presenta la visión del escrito de Byrne, Oliner, Sichel (2013) respecto al crecimiento futuro de la TPG de nuestra era, los semiconductores y la consecuente tecnología de la información. Él dice que los autores tienen una visión optimista del sector, dado su análisis del progreso tecnológico en la manufactura de los semiconductores. Una de las características más importantes en este proceso de producción es el tamaño de los transistores, dado que esto determina la cantidad que pueden introducirse en un microchip. En consecuencia, a mayor cantidad de transistores se obtienen mayores operaciones por unidad de tiempo, traducido en mayor poder de procesamiento. Los autores cuentan que entonces un factor clave, comprendido en la ley de Moore, es que cuanto más rápido se desarrolle el capital necesario para la fabricación de los semiconductores, más rápido aumentará la capacidad de procesamiento.

---

[28] Término acuñado por Ray Kurzweil, referido a la parte del tablero donde los números comienzan a ser realmente grandes, si en un tablero de ajedrez que contiene 64 cuadrantes arrancamos con un 1 en el primero y duplicamos el número a medida que se avanza por cuadrante.

[29] "*Progress on some of the oldest and toughest challenges associated with computers, robots, and other digital gear was gradual for a long time. Then in the past few years it became sudden*"

Syverson (2013), también resalta el trabajo de Pillai, que estudia la economía de la producción de semiconductores y su relación al progreso tecnológico de esta industria. En este análisis Pillai convalida la visión de Byrne, Oliner, Sichel, respecto al crecimiento de la tasa de cantidad de transistores en un microchip. A su vez, Pillai evidencia que se ha desacelerado el poder de procesamiento desde el año 2001. Si bien los diseñadores de chip han tenido cada vez más transistores por chip, no han logrado extraer proporcionalmente la misma cantidad de operaciones que antes. En resumen, la causa ha sido que el aumento de la densidad de transistores por chip ha llevado a un aumento de la temperatura producida en áreas muy pequeñas. Para evitar el sobrecalentamiento, las tasas de procesamiento son bajadas intencionalmente.

Sin embargo, este puede ser un impasse momentáneo, como indican Brynjolfsson y McAfee (2014) citando a Mike Marberry, un ejecutivo de Intel,

> "Si uno utiliza solamente la misma tecnología, entonces por principio uno se encuentra con limitaciones. La verdad es que nosotros estuvimos cambiando la tecnología cada cinco o siete años por 40 años, y no hay un final en vista para poder realizar eso"[30]

Universidad de San Andrés

Por otro lado, Syverson (2013) cita los estudios de Byrne, Oliner, Sichel, los cuales resaltan que la información reciente en este sector, no indica una caída en la tasa de crecimiento del poder de procesamiento de los microprocesadores. Incluso critican al *Bureau of Labor Statistics,* quien produce los índices de precio de los microprocesadores, alegando problemas en sus mediciones que indicaban un alentamiento de la industria, que no condice con la Ley de Moore. De hecho, según indica el artículo de *The Economist*[31] se ha producido un cambio importante en las porciones del mercado de los microprocesadores. Distinto a un alentamiento, han entrado nuevos actores al sector competitivo de I+D, tal como lo indican Aghion y Howitt (1992) en su modelo de crecimiento económico impulsado por la

---

30 *"If you're only using the same technology, then in principle you run into limits. The truth is we've been modifying the technology every five or seven years for 40 years, and there's no end in sight for being able to do that."* Brynjolfsson y McAfee (2014)

31 "The Rise of Artificial Intelligence is creating new variety in the chip market, and trouble for Intel" The Economist. Londres, 25 de Febrero del 2017. Disponible en https://www.economist.com/news/business/21717430-success-nvidia-and-its-new-computing-chip-signals-rapid-change-it-architecture

destrucción creativa. La empresa Nvidia, anteriormente conocida por sus microprocesadores orientados a videojuegos, conocidos como GPUs, hoy en día comienzan a tener mayor demanda que los CPUs de Intel, entre otros. La tecnología de los microprocesadores ha generado tales complementos de innovación como la inteligencia artificial, que a través de la innovación recombinativa se ha descubierto que los GPUs sirven más para procesar las inmensa cantidad de información utilizada en la inteligencia artificial o incluso para la tecnología *blockchain*.

Incluso respecto del posible alentamiento de la Ley de Moore Brynjolfsson y McAfee (2014) dicen que si la tasa de incremento del poder de procesamiento de los microprocesadores fuera igual a cero el día de hoy, podríamos continuar esperando décadas de innovaciones complementarias que continuarían incrementando la productividad. De todas formas, ellos aseguran que el progreso tecnológico de esta TPG no tiene precedente y crean cada vez más oportunidades de innovaciones complementarias.

QUAERERE VERUM
Universidad de San Andrés

2. Hipótesis a futuro

Si bien las tecnologías de propósito general tienen el potencial de elevar la tasa de crecimiento económico por décadas, resulta fundamental prestar atención al rol de las instituciones para prevenir las posibles amenazas al mal funcionamiento de la externalidad vertical y horizontal según la plantean Bresnahan y Trajtenberg (1992). Respecto de la externalidad vertical, el productor de los microprocesadores (TPG) tiene que tener los mecanismos suficientes, puestos en lugar por las instituciones, para apropiarse de los beneficios generados por la inversión creciente en I + D. Es intuitivo pensar que si esto no pasa, el productor no tendrá los incentivos suficientes para invertir de manera óptima a fin de lograr un progreso tecnológico considerable. Aún menos los SA si notasen un alentamiento de la optimización de la TPG. Por lo tanto el rol de las instituciones es proveer unas reglas de juego claras, con herramientas como las patentes que se

vuelven cada vez más fundamentales a la hora de premiar la inversión hacía el progreso tecnológico. Respecto de la amenaza de los free riders en la externalidad vertical, serviría la intervención de las instituciones tomando un rol más activo en el progreso tecnológico como un factor fundamental del desarrollo económico para llevar al mercado a operar en un punto de equilibrio que acelere los círculos virtuosos del progreso tecnológico.

Como plantean Bresnahan y Trajtenberg (1992) es complejo lograr en una economía descentralizada, dado que las instituciones necesitan tomar un rol más activo en el progreso tecnológico. La previsibilidad del próximo desarrollo técnico lograría una mejor eficiencia en la inversión en investigación y desarrollo. Los SA, a través de las instituciones necesitan conocer las próximas optimizaciones de los productores de la TPG, justamente para lograr una mayor tracción preparando su terreno para las nuevas implementaciones. Así se lograría evitar ineficiencias en las inversiones, denominadas *too little too late* por los autores.

Como menciona Mokyr (2002) y Brynjolfsson y McAfee (2014), las bajas barreras de entrada al conocimiento hoy en día en conjunto con la interconexión global, son activos importantes en el progreso tecnológico. En la era de los microprocesadores y la TI nunca antes se ha logrado que tantas personas en el mundo tengan acceso a inmensas cantidades de información para potencialmente innovar. De hecho, el desarrollo de comunidades, empresas y productos de código abierto son grandes ejemplos de esta invitación a aportar al progreso tecnológico. Como mencionan Freeman y Soete (enero 2007) al día de hoy todavía se realizan aportes al progreso tecnológico con métodos “caseros”, no se trata enteramente de un desarrollo científico de laboratorios profesionales.

Brynjolfsson y McAfee (2014) indican que estaríamos entrando en la segunda parte del tablero de ajedrez, es decir una parte más pronunciada de la curva exponencial, respecto de la que veniamos transitando. El principio del siglo XXI, según los autores, ha preparado el terreno para un nuevo impulso tecnológico, parecido al de la era de la electrificación, en donde la robótica, la naciente industria del internet de las cosas y una profundización

de la digitalización dictarán el curso hacia una segunda era de las máquinas. Además, las enormes cantidades de información que se generan hoy en día nos dará un mayor impulso para comprender mejor distintas dinámicas y generar nuevas ideas. Brynjolfsson y McAfee (2014), ponen en perspectiva estas cantidades al indicar que cuantificando toda la información en bytes eventualmente en el corto plazo llegaremos a superar el prefijo más alto del sistema métrico (yotta, 10^{24}), hoy en día nos encontramos en el anterior (zetta, 10^{21}). Si el humano encontrase un límite para comprender o utilizar esta enorme cantidad de información, según los autores, no sería un problema dada la inminente llegada de la inteligencia artificial y el machine learning.

Raymond Kurzweil (2005), director de ingenieria de google, dice que a medida que la tecnología se vuelve más efectiva, atrae mayor atención del público general y de inversores que detectan una oportunidad de negocios. Normalmente esto suele resultar en un aumento de presupuesto de I+D para continuar con una mejora de la tecnología. Es esto que según Kurzweil impulsa una segundo nivel de progreso tecnológico exponencial. En este caso Kurzweil hace referencia a la inteligencia artificial (IA), que según cuenta esta lejos de ser el emblema apocalíptico que se suele ver en las películas. De hecho, argumenta que normalmente se presenta una IA maligna cuando la realidad es que en el presente ya existen billones de inteligencias artificiales aprendiendo y mejorandose. Según indica el autor, para el año 2029 la IA como sector va aprobar el test de Turing[32]. Para el año 2045 remarca el evento que él llama una singularidad, en donde los se logrará fusionar las IA en formato nube con los seres humanos. Esta podría ser la próxima TPG fundada sobre los conocimientos adquiridos gracias a los microprocesadores.

Según Kurzweil (2005), la ley de Moore tiene todavía un margen para continuar con su desarrollo, también en línea con la teoría de innovación recombinativa, cree que es bueno que se visualize un final. La presión de investigación, para él, ha sido un gran impulsor de cambios de paradigma.

[32] El test de Turing es una prueba de la habilidad de una máquina en demostrar un comportamiento inteligente equivalente o indistinguible de un ser humano

Kurzweil (2005) dice que el crecimiento exponencial de la capacidad de procesamiento va a adquirir una tercera dimensión al cambiar la tecnología de fabricación y su funcionamiento. Según el autor, ya se han registrado avances en la investigación de circuitos tridimensionales de moleculas autoorganizables. Con estas herramientas dice Kurzweil se facilitará el desarrollo de la singularidad que presenta en su libro, en donde las posibilidades de innovación recombinativa son realmente enormes y por lo tanto sus implicacias en el crecimiento y bienestar económico también.

Como mencionado anteriormente en la denominación de Mokyr (2002), el siglo XXI se verá caracterizado por la innovación en lo pequeño. Gracias al crecimiento exponencial del poder de procesamiento hoy en día existen científicos desarrollando nanorobots. Kurzweil (2015) cuenta aunque parezca futurista, al día de hoy ya se han realizado pruebas en animales de la introducción de nano-dispositivos que actuan como células rojas que liberan insulina y por lo tanto han logrado curar la diabetes tipo 1 en estos animales. Además agrega, si un ser humano remplazase 10% de sus células rojas con las versiones robóticas, uno podría sentarse en el fondo de una pileta por 4 horas seguidas sin respirar.

Universidad de SanAndrés

El punto que quiere remarcar, es que la singularidad que presenta en el libro no es tan lejana dado que al día de hoy cotinua habiendo un progreso tecnológico paralelo exponencial de todas las tecnologías necesarias (tecnología de la información, nanorobótica, inteligencia artificial, microprocesadores, biotecnología) para la fusión de la biología humana con las virtudes de la tecnología a traves de la innovación recombinativa.

Basándonos en el modelo de Romer (1986) en donde existe una tasa máxima de crecimiento del conocimiento (humano) que limita la tasa máxima de crecimiento de productividad per cápita, se podría decir que las bajas barreras de acceso al conocimiento según denotan Mokyr (2002), Brynjolfsson y McAfee (2014) de alguna manera impulsan el crecimiento al conocimiento. Por lo tanto, sin el desarrollo de la inteligencia artificial como se

la espera, ya se lograría un aumento de la productividad. En el caso de que la inteligencia artificial logre superar al humano desde lo intelectual (como ya lo ha hecho en varios aspectos) podríamos ver una tasa plausible de crecimiento del conocimiento con un máximo mayor.

Por lo tanto los prospectos del progreso tecnológico no parecen demostrar un alentamiento si la ponemos en perspectiva histórica. En el contexto contemporáneo de estancamiento secular según indica Mokyr, Glaeser, Eichengreen, citados en el libro electrónico de Teulings y Baldwin, (2014) el problema no radica en un caída de la tasa del progreso tecnológico. Sin embargo, dada la posibilidad de un crecimiento acelerado del progreso tecnológico, sería prudente evitar un problema económico a futuro. La tecnología ya ha remplazado el trabajo físico en muchos aspectos y lo hará en mayor profundidad, el rol de las instituciones educativas y gubernamentales en esta transición será fundamental para acompañar un progreso tecnológico productivo para la economía.

QUAERERE VERUM
Universidad de
SanAndrés

BIBLIOGRAFÍA

QUAERERE VERUM
Universidad de
SanAndrés

BIBLIOGRAFÍA

- Acemoglu, Daron, (2009), *Introduction to Modern Economic Growth*, New Jersey, Princeton University Press
- Aghion, Philippe, P., Howitt (1992) "A Model of Growth Through Creative Destruction." Econometrica 60, no. 2: 323-351
- Arrow, Kenneth, J., (1962), "The Economic implications of Learning by Doing", *The Review of Economic Studies,* Vol. 29, No. 3, pp. 155-73
- Bell, Martin, (1994) "Approaches to science and technology policy in the 1990s: old models and new experiences" En: United Nations Economic and Social Commission for Western Asia, *Proceedings of the Workshop on the Integration of Science and Technology in the Development Planning and Management Process in the ESCWA Region*, United Nations, New York.
- Bresnahan, Timothy, y Manuel, Trajtenberg, (1992), *General purpose technologies 'Engines of growth'?*, Working paper 4148, NBER.
- Brynjolfsson, Erik, A., McAfee (2014), *The Second Machine Age,* W.W. Norton & Company, New York & London.
- Cowen, Tyler (2011), *The Great Stagnation: How America Ate All the Low-Hanging Fruit of Modern History, Got Sick, and Will (Eventually) Feel Better,* Dutton Adult, New York.
- Freeman, Christopher, y Luc, Soete (1997), *The Economics of Industrial Innovation,* 3era edición, MIT Press, Cambridge MA.
- Freeman, Christopher, y Luc, Soete, (2007), *Developing science, technology and innovation indicators: what we can learn from the past*, Working paper series #2007-001, UNU-MERIT
- Gordon, Robert J., (2012), *Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds,* Working paper 18315, NBER
- Grossman, Gene M., E., Helpman (1994) "Endogenous Innovation in the Theory of Growth", *Journal of Economic Perspectives,* Vol. 8, No. 1, pp.23-44
- Kurzweil, Raymond, (2005), *The Singularity is Near*, Duckworth Overlook, London.

Universidad de San Andrés

- Mokyr, Joel, (2002), *The gifts of athena: historical origins of knowledge economy,* Princeton, Princeton University Press.
- Mokyr, Joel, (2014), "Secular stagnation? Not in your life" artículo en libro online editado por Teulings, Coen, Richard, Baldwin, (2014), *Secular Stagnation: Facts, Causes, and Cures,* Londres, Centre for economic policy research (CEPR).
- Romer, Paul M., (1986), "Increasing returns and long-run growth", *The Journal of Political Economy,* Vol. 94, No. 5, pp. 1002-1037
- Ruttan Vernon W., (1959), "Usher and Schumpeter on Invention, Innovation, and Technological Change", *The Quarterly Journal of Economics,* Vol. 73, No. 4, pp. 596-606
- Schumpeter, Joseph A. (1934), *The Theory of Economic Development: An Inquiry Into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle,* Harvard, Harvard University Press.
- Schumpeter, Joseph A. (1939), *Business Cycles: A Theoretical, Historical, and Statistical Analysis of the Capitalist Process,* Mansfield Center, Martino Pub.
- Schumpeter, Joseph A. (1942), *Capitalism, Socialism and Democracy*, New York: Harper and Brothers.
- Solow, Robert M., (1957), "Technical change and the Aggregate Production Function", *The Review of Economics and Statistics,* Vol. 39, No. 3, pp. 312-320
- Solow, Robert M., (1994), "Perspectives on Growth Theory", *The Journal of Economic Perspectives,* Vol. 8, No. 1, p. 48
- Solow, Robert M., (2007), "The last 50 years in growth theory and the next 10", *Oxford Review of Economic Policy,* Vol. 23, No. 1, p. 14
- Syverson, Chad, (2013), "Will History Repeat Itself? Comments on "Is the Information Technology Revolution Over?", *International Productivity Monitor,* Vol. 25, pp. 37-40.
- Teulings, Coen, Richard, Baldwin, (2014), *Secular Stagnation: Facts, Causes, and Cures,* Londres, Centre for economic policy research (CEPR).
- Verspagen, Bart, (1993), *Growth rate differentials between interdependent economies*, Aldershot, re-publicado por Avebury

Universidad de San Andrés

- “The Rise of Artificial Intelligence is creating new variety in the chip market, and trouble for Intel”. The Economist. Londres, 25 de Febrero del 2017. Disponible en https://www.economist.com/news/business/21717430-success-nvidia-and-its-new-computing-chip-signals-rapid-change-it-architecture

QUAERERE VERUM
Universidad de
SanAndrés