



# El Rol del Conocimiento y el Capital Humano en los Modelos de Crecimiento Endógeno

**Alumno: Miguel Ángel Roldán Gutiérrez**  
**Matricula: 2143807212**  
**Asesor: Juan Manuel Corona Alcantar**



## ÍNDICE

1.-INTRODUCCIÓN. ....	3
2.- EL CONOCIMIENTO COMO LA PRINCIPAL FUENTE DE INNOVACIÓN Y CAMBIO TECNOLÓGICO.....	8
2.1 El conocimiento dentro de la economía clásica.....	9
2.2 El conocimiento en la Teoría Neoclásica y Schumperiana.....	13
2.3 De los mecanismos que hacen posible la emergencia de tecnologías...25	
3.- EL CONCEPTO DE CAPITAL HUMANO Y SU UTILIDAD ECONÓMICA...40	
3.1 El capital humano y su relación con el crecimiento económico.....	46
3.2 El capital humano y el problema de la inversión.....	52
a) Inversión en capital humano a través de la educación escolar.....	54
b) El adiestramiento en el trabajo como fuente de capital humano.....	59
4.- ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE CRECIMIENTO ENDÓGENO NEOCLÁSICOS.....	72
4.1 Aportes de los modelos de crecimiento endógeno.....	78
4.2 El conocimiento y el capital humano en los modelos de crecimiento endógeno neoclásicos.....	81
5.- LA INNOVACIÓN COMO MOTOR DE CRECIMIENTO, UN ENFOQUE SCHUMPETERIANO.....	106
5.1 Los mecanismos y efectos de la destrucción creativa como parte de la estructura de los modelos.....	111
5.2 Los modelos endógenos con I+D y su estructura formal.....	117
5.3 La decisión del intermediario monopolista en el modelo de destrucción creadora.....	122
5.4 Las implicaciones de un sector dedicado a la investigación.....	124
6.- Conclusiones.....	127
7.- UN RECORRIDO HACIA NUEVOS HORIZONTES.....	130
Bibliografía.....	133

## 1.- INTRODUCCIÓN

Los estudios del crecimiento económico han tenido diversas vertientes y han orientado sus esfuerzos en diferentes ámbitos, desde aquellos enfocados a descubrir y demostrar cuáles son sus determinantes a través de modelos, hasta aquellos que utilizan las estadísticas nacionales para comprobar la pertinencia de tales modelos bajo circunstancias específicas. Por otro lado, estos modelos de crecimiento endógeno también pueden ser clasificados como modelos spillover y modelos lineales. En el apartado correspondiente a modelos endógenos neoclásicos, se expondrán brevemente las características y enfoques que enmarcan a dichos modelos en una u otra categoría.

El pionero en el estudio formal del crecimiento económico Robert Solow (1957) planteo algunos modelos en los cuales destacó la importancia del cambio tecnológico como la principal fuente del crecimiento en Estados Unidos. Sin embargo, sus estudios, basados en una función de producción neoclásica explican el crecimiento con la idea subyacente de que el capital (físico) es acumulativo y cada capital nuevo es mejor y más productivo que el anterior, lo que condujo a la noción de cambio tecnológico exógeno; la cuestión es que sus modelos no permiten una explicación clara sobre las fuentes y el surgimiento del cambio tecnológico y sus implicaciones para la generación de riqueza de los países. Es decir, bajo esos modelos el cambio tecnológico no es resultado de las decisiones de agentes individuales; además estos modelos se ocuparon de explicar el crecimiento bajo el supuesto de competencia perfecta, por lo que las funciones de producción que presenta son homogéneas de grado uno, con remuneraciones a los factores basadas en la productividad marginal y rendimientos constantes a escala. El ajustarse a estos supuestos condujo a desarrollar una explicación incompleta de la estrecha relación entre el cambio tecnológico y el crecimiento económico.

Posteriormente los teóricos del crecimiento tuvieron en cuenta que el crecimiento económico puede ser explicado principalmente por la capacidad del sistema para desarrollar o adaptar cambios tecnológicos e innovaciones, los estudios se orientaron a intentar explicar la naturaleza de estos cambios como algo que se reproduce dentro del sistema, dando como resultado los

llamados modelos de crecimiento endógeno, cuyo énfasis es la explicación del crecimiento a través del cambio tecnológico o las innovaciones (en el caso de los modelos schumpeterianos), teniendo en cuenta que dichas fuentes se reproducen dentro del sistema utilizando los insumos disponibles y bajo la premisa de que están sujetos a las decisiones de los agentes individuales.

Estos modelos<sup>1</sup> se desarrollaron con mayor fuerza a partir de los trabajos de Paul Romer (1986) y (1990a), en dichos modelos el cambio tecnológico constituye la variable endógena y es resultado de la acumulación de capital humano y el stock de conocimiento; sin embargo, estos modelos se caracterizan por la introducción del cambio tecnológico en una función de producción tipo Cobb-Douglas pero intentando resolver el modelo considerando rendimientos crecientes o constantes para esa función, así como el efecto de los *spillovers* del conocimiento.

Por otro lado, las teorías del crecimiento también han sido de interés para los teóricos de la escuela schumpeteriana, por lo que, al igual que en la escuela neoclásica, han desarrollado diversos modelos para incorporar la innovación como fuente del crecimiento económico, considerando que dichas innovaciones tienen su origen dada la presencia de capital humano y conocimiento dentro del sistema. En este tipo de modelos se ha considerado que la economía presenta ciclos y no es factible obtener equilibrios estables, puesto que se toma en cuenta la presencia de innovaciones capaces de romper con las estructuras actuales y dar paso a otras nuevas y “mejoradas”, en pocas palabras la presencia de la destrucción creadora en el análisis económico.

Entonces, si el cambio tecnológico y la innovación son resultado del conocimiento y el capital humano, porqué ninguna de estas variables es directamente introducida como la variable endógena del modelo.

Precisamente de ahí surge la preocupación de este texto, en el cual se considera que si el capital humano y el conocimiento son los insumos principales en la emergencia del cambio tecnológico y la innovación, y por lo

---

<sup>1</sup> Cabe mencionar que el trabajo pionero fue realizado por Kenneth Arrow (1962), en el cual intenta modelar los efectos del aprendizaje para el crecimiento económico, introduciéndolo como un resultado de las inversiones en bienes de capital nuevo o mejorado.

tanto del crecimiento, los modelos de esta naturaleza deberían tomar en cuenta como se reproducen estos dos insumos dentro del sistema; se supone que esto implica ir un nivel más atrás en la estructura jerárquica de los determinantes del crecimiento. Además, se considera que tales insumos pueden ser reproducidos dentro del sistema y su reproducción está sujeta a las decisiones de los agentes.

Considerando que los determinantes para la emergencia de cambios tecnológicos e innovaciones, y por lo tanto del crecimiento, pueden ser “resumidos” en el capital humano, se propone un análisis de este concepto que permita entender sus fuentes y la estrecha relación que mantiene con la generación, el uso y la difusión de conocimiento, además del rol que este ha tomado en los modelos de crecimiento endógeno. El objetivo es sentar las bases conceptuales que permitan o hagan posible la generación de supuestos pertinentes referentes al capital humano en un sentido agregado, de tal manera que a partir de ahí este pueda ser dispuesto como variable endógena en un modelo de crecimiento. Se sostiene que esto se puede lograr únicamente a través de la mayor comprensión del concepto de capital humano mediante el análisis de sus fuentes y las implicaciones que de ellas pueden surgir, el análisis de las características que permiten considerarlo como un insumo productivo y analizando el rol que ha jugado en los modelos de crecimiento endógeno.

Este trabajo comienza con una discusión sobre la relación que sostiene el conocimiento con la emergencia de cambios tecnológicos e innovaciones. Se plantea tal discusión contrastando los enfoques neoclásicos y evolutivos, dado que en ambos enfoques las funciones y mecanismos de análisis son principalmente modificaciones y adaptaciones de las funciones tipo Cobb-Douglas, lo que permite una comparación pertinente; además, se considera que en este último enfoque el carácter acumulativo del conocimiento y la forma estructural en que hace posible la emergencia de tecnologías o innovaciones, representa uno de los mayores avances en materia de crecimiento endógeno. Así mismo, este apartado es un intento de hacer explícito, que el conocimiento es el determinante de las tecnologías, pero siempre y cuando pueda ser decodificado y empleado por los seres humanos. Por lo tanto, se establece una

relación entre conocimiento y capital humano, en el sentido de que el capital humano es, en tanto que constituye conocimiento incorporado en las personas, pero en la cual, el conocimiento también puede considerarse como un ente aislado y externo a ellas.

La segunda parte, que comprende el capítulo tres, se enfoca en la revisión del concepto de capital humano, sus determinantes, aplicaciones y utilidad económica, aquí se discute como es que se puede fortalecer el argumento de que el capital humano es fundamentalmente conocimiento embebido en las personas. También se presenta el análisis de algunos modelos en los que se demuestra que el capital humano puede emerger de las decisiones económicas de los agentes a través de inversiones, ya sean privadas o públicas.

El capítulo cuatro presenta el análisis de algunos modelos de crecimiento endógeno que se enmarcan en los fundamentos de la escuela neoclásica. El análisis de tales modelos se enfoca en revelar el rol que juega el capital humano en la emergencia de cambios tecnológicos y el subsecuente crecimiento económico. Se analizan algunos modelos, teniendo en cuenta que sus desarrollos constituyen un avance a los modelos de Romer (1990a) y Lucas (1988) y (1993). Así el primer modelo, es considerado como el pionero en introducir el cambio tecnológico y tomarlo como un insumo producido con conocimiento y capital humano; y el segundo, pone de manifiesto que el crecimiento económico es fundamentalmente inducido por la acumulación de capital humano proveniente del "learning by doing". Se hacen algunas observaciones de otros modelos puesto que finalmente han tomado como referencia los postulados de estos últimos y constituyen un avance respecto a los postulados de los dos modelos mencionados.

El quinto capítulo analiza, a partir de dos modelos schumpeterianos el de Aghion y Howitt (1992) y Howitt (1999), el rol que juega el capital humano en la generación de crecimiento a través de la innovación. Es evidente que en estos modelos el capital humano no aparece de forma explícita, pero hemos considerado que los gastos en investigación y desarrollo (I+D) propuestos implican también inversiones en personal calificado (capital humano).

El análisis de estos modelos, independientemente de la línea de pensamiento en que se enmarquen, responde a una premisa principal, la cual se plantea de la siguiente forma: si el capital humano es el insumo fundamental en la emergencia de cambios tecnológicos e innovaciones y este a su vez repercute de manera indirecta en otros factores productivos como el capital y el trabajo, y beneficia con la presencia de spillovers a todos los agentes de un sistema económico, ¿Por qué no ponerlo en el centro de los modelos de crecimiento endógeno?

Así mismo, al final de estos capítulos se presenta un cuadro resumen donde aparecen los principales modelos analizados, con la finalidad de tener una mayor comprensión y acercamiento rápido a los postulados y avances de tales modelos. Este cuadro presenta sigue un ordenamiento temporal, con la finalidad de tener más presentes los avances que se han logrado y el nivel de acumulación de conocimiento que se ha desarrollado en términos de crecimiento endógeno.

Por último, se presentan las conclusiones en las cuales se intenta dar una respuesta a la premisa con que se analizan los modelos, para demostrar, al menos teóricamente, que las limitaciones para introducir al capital humano como variable endógena en los modelos de crecimiento no solo responde a las dificultades técnicas que presenta la modelación de dicho concepto, ni a las dificultades que la abstracción del mismo concepto conllevan respecto a las estadísticas de cuentas nacionales.

Para alcanzar tales objetivos se revisarán los modelos mencionados arriba, y se contrastarán los supuestos que realizan sobre el capital humano considerando otros artículos; ya sea, aquellos que han realizado alguna crítica o avance a los modelos, como aquellos que han evaluado la pertinencia de tales modelos por medio de la evidencia empírica.

Por otra parte, el análisis de la sección dos y tres, se utilizará como referencia conceptual atendiendo las dificultades tanto del conocimiento como del capital humano, en cuanto a la factibilidad de abstraerlos en una variable que puede ser manejada por medio de ecuaciones matemáticas, como en aquellas referentes a la factibilidad de ser medidos estadísticamente. Al mismo tiempo,

en estas secciones se demostrará la estrecha relación que sostiene el conocimiento con el capital humano, en el sentido de que este último constituye la acumulación de conocimiento embebido en las personas; sin embargo, se hará explícita la diferencia sustancial con la que ambos conceptos se manejan en este trabajo. Esta sección también proporcionará una idea sobre la posibilidad de modelar el capital humano como una inversión que puede ser realizada tanto por el sector privado como por el sector público y de la cual es posible obtener rendimientos. En este caso, se seguirán los modelos de Mincer (1981) y Schultz (1961) y se retomarán algunos de los supuestos básicos de estos modelos para poder proponer un modelo de crecimiento que integre las ideas de estos autores.

Cabe señalar que este trabajo constituye la base teórica para un desarrollo posterior, en el cual se plantea una nueva forma de ver y modelar el crecimiento basado en una economía del conocimiento; es decir, un sistema económico en el que la variable determinante de su crecimiento sea el capital humano. Es decir, donde los esfuerzos clave de dicho sistema sean aquellos que promuevan la incorporación y acumulación de conocimiento en las personas y sea este proceso el que explique los niveles de crecimiento. Así mismo, se intentará llegar a los supuestos básicos que serán el punto de partida para el desarrollo de un modelo matemático donde la variable endógena sea el capital humano y no el conocimiento como han hecho ya varios modelos.

## **2.- EL CONOCIMIENTO COMO LA PRINCIPAL FUENTE DE INNOVACIÓN Y CAMBIO TECNOLÓGICO**

En este apartado se explica porque el conocimiento es considerado el determinante principal de innovaciones y cambios tecnológicos, se toman en cuenta las características esenciales del conocimiento, poniendo énfasis en las dificultades que representan algunas de ellas para tener una completa comprensión de los mecanismos con los cuales funciona y hace posible la emergencia de innovaciones y cambios tecnológicos.

Los tres primeros subapartados exponen la importancia que el conocimiento ha tomado en el pensamiento económico, principalmente dentro de la escuela

clásica, neoclásica y schumpeteriana, en tanto que, muchos especialistas han intentado encontrar las fuentes de la innovación y el cambio tecnológico; se verá cómo, aunque no sea de manera explícita, muchos de ellos han llegado al consenso de que es el conocimiento el principal insumo de estas innovaciones y cambios tecnológicos y por lo tanto del crecimiento de las naciones. Así pues, se muestra como los factores de crecimiento que ellos consideran no son más que formas, de la gran diversidad de ellas, que el concepto de conocimiento puede abarcar. Por otro lado, estos apartados proporcionan un primer acercamiento a la forma en que el conocimiento es incorporado y tratado en el cuerpo de estas escuelas de pensamiento económico.

El tercer subapartado expresa como la emergencia de tecnologías tiene su origen en el conocimiento; ya sea, al ponerlo en práctica en el proceso productivo o aquel que se enfoca en el desarrollo de nuevos conocimientos, ambos en combinación generan el ambiente propicio para el surgimiento de nuevas tecnologías.

Aquí se considera principalmente la noción de que las tecnologías emergen mediante la combinación y recombinación de conocimientos estructurados de acuerdo a jerarquías cuyo orden se presenta en diversos niveles. Y se plantea la diferencia que existe entre el conocimiento asilado y aquel que es incorporado en las personas, poniendo énfasis en que estas combinaciones y recombinaciones son esencialmente un producto de la actividad humana, es por ello que se destaca brevemente la importancia del ámbito científico en la generación, uso y difusión del conocimiento.

Para finalizar este apartado se introduce una última sección en la que se expone la relación que sostiene el conocimiento con el crecimiento económico, con la finalidad de hacer evidente la importancia que el conocimiento sostiene en relación a las posibilidades de crecimiento de una nación.

## **2.1 El conocimiento dentro de la economía clásica**

Es importante destacar que la noción de que el conocimiento incrustado en los seres humanos es la principal fuente de riqueza de las naciones no es nueva, muchos teóricos clásicos ya consideraban que el conocimiento que las

personas poseían era una fuente confiable en la explicación del crecimiento en los ingresos de las naciones. *Por ejemplo, fue William Petty el primero en hacer un serio esfuerzo para medir el valor social de una persona, y fue probablemente también el primer economista en emplear el término "capital" para referirse a los humanos, cuando llegó a la conclusión de que el "trabajo" era el "padre de la riqueza" (Corona, 2006)*

Esta idea de que el trabajo es el padre de la riqueza contrasta con los supuestos básicos de los teóricos pertenecientes al "mainstream" de la economía, quienes han desarrollado una gran diversidad de modelos, desde los microeconómicos hasta los de crecimiento y desarrollo, enfatizando la importancia del capital (físico) y demostrando que, tanto la maximización de ganancias individuales como la determinación de las tasas de crecimiento del producto está influenciada de manera importante por las decisiones de inversión en este factor, más que en aquellas relativas al trabajo.

La idea subyacente en este texto, es encontrar una posibilidad para cambiar dicho enfoque; es decir, para hacer evidente y encontrar las bases teóricas que sustenten y apoyen una demostración en la que el trabajo mejorado a través de los incrementos en la cantidad y calidad de capital humano sea el factor determinante de la generación de ganancias en cualquier nivel de análisis.

Algunos de los teóricos clásicos que ya ponían de manifiesto, aunque explícitamente, la importancia del conocimiento en la generación de riqueza fueron Adam Smith (1776) cuando menciona que: *Todas las mejoras en maquinaria, sin embargo, no han sido de ninguna manera las invenciones de aquellos quienes tuvieron la oportunidad de usarlas. Muchas mejoras han sido hechas por el ingenio de los fabricantes de máquinas, cuando al hacerlas se convirtieron en el negocio de un comercio peculiar; y algo por la de aquellos que son llamados filósofos y hombres de especulación, cuyo negocio no es hacer algo, sino observar todo; y quienes, en esa cuenta, son a menudo capaces de combinar juntos los poderes de los objetos más distantes y disimiles... Cada individuo se hace más experto en su propia rama peculiar, más trabajo es hecho sobre el todo, y la cantidad de ciencia esta considerablemente aumentada por eso. (Smith, 1776)*

Cabe destacar que, en el párrafo anterior, Adam Smith habla implícitamente de dos formas distintas pero entrelazadas del conocimiento; por un lado, menciona los inventores de maquinaria quienes en la actualidad podrían ser identificados como los ingenieros; pero también, pone énfasis en los hombres de negocio quienes podrían identificarse como los emprendedores o empresarios, puesto que son aquellos, quienes cuentan con algún conocimiento sobre la estructura de los mercados o son capaces de identificar oportunidades en este ámbito; además, cuentan con dinero suficiente como para poder convertirlo en capital de riesgo que apoye a los inventores. Por otro lado, también hace evidente una característica inherente al conocimiento y por la cual sostenemos, este tiene relevancia en el crecimiento de la riqueza, y es que puede ser adquirido y aumentado a través de la experiencia.

En el apartado 2.3 se explica brevemente como el conocimiento puede ser clasificado en diferentes categorías, como se relacionan con los diferentes ámbitos científicos y como estas categorías pueden estar sujetas o adaptarse a tales conocimientos. Además se muestra como a partir de estas categorías el conocimiento puede ser utilizado para cumplir diferentes fines; en este sentido las dos categorías de conocimiento identificadas en la cita de Smith (1776) tendrán una mejor explicación sobre su relación entre sí y con la emergencia de nuevas tecnologías.

A este respecto, Schumpeter (1934) consideraba que los empresarios, siendo uno de los elementos para analizar el desarrollo (desenvolvimiento) económico, serían aquellos individuos encargados de dirigir la realización de nuevas combinaciones; en este sentido, aquí se considera que para llevar a cabo esta actividad es completamente necesario poseer algún grado de conocimiento tanto del entorno como de aquellos elementos que se quiere o necesita combinar. De esta manera el empresario solo es empresario cuando lleva a cabo las combinaciones, al momento de que el negocio comienza a explotarse pierde este carácter; por otro lado, este empresario debe enfrentar ciertas dificultades para romper con la estructura económica actual, aquí solo se menciona la siguiente por su estrecha relación con el conocimiento: *El individuo carece de los datos necesarios para adoptar sus decisiones y de las normas de*

*conducta que conoce con gran exactitud dentro de ellos. Debe naturalmente prever y estimar basándose en su experiencia.* (Schumpeter, 1934)

De este modo, también aquí se identifican dos formas de conocimiento, una referente a las ingenierías, que hasta ahora se pueden definir como el conocimiento de los fenómenos físicos, a tal grado que estos puedan ser codificados y decodificados para su manejo a través de dispositivos; es decir, conocimiento explícito, y el conocimiento de los mercados, el cual está estrechamente relacionado con los empresarios, que bajo esta perspectiva se puede afirmar que es afín al conocimiento tácito. Como se puede apreciar, ambos tipos de conocimiento han sido por sí solos motivo de una gran cantidad de investigaciones en el campo de la economía de la innovación.

John Stuart Mill (1848) fue otro de los autores clásicos que ya consideraban en alguna medida la importancia del conocimiento como fuente de riqueza, él consideraba dicha importancia relativa en la aparición de innovaciones. Sin embargo, para él no era tan relevante cuál era la fuente de esas innovaciones sino los efectos que estas podrían tener en las relaciones económicas y sociales, esta cuestión sigue presente hasta nuestros días; por ejemplo, en los estudios sobre cómo las innovaciones son capaces de generar un proceso de destrucción creadora en la estructura económica, así como la presencia de ciclos.

Otra cuestión de importancia para este trabajo, es que el capital humano está siempre detrás de la emergencia de innovaciones y cambios tecnológicos, por lo que se analiza, en alguna medida, el efecto que la acumulación de este capital tiene sobre los ingresos reales tanto de las personas como a nivel agregado. De esta manera, la idea de Mill (1848) fue que la aparición de innovaciones siempre trae consigo riqueza pero esta riqueza nunca es distribuida de igual forma; en otras palabras, no todos los habitantes tienen las mismas posibilidades de obtener beneficios cuando una innovación o nueva tecnología emerge, como lo deja claro en el siguiente párrafo: *Hasta ahora es cuestionable si todas las invenciones mecánicas hechas aun han aligerado el día de trabajo de cualquier ser humano.* (Mill, 1848)

Karl Marx (1959) también puso un énfasis relativo en las innovaciones y cambios tecnológicos como fuente del desarrollo económico; sin embargo, al igual que Mill, para él estas innovaciones tienen efectos importantes en las relaciones económicas y sociales, en términos de Marx: *...la burguesía no puede existir sin revolucionar constantemente los instrumentos de producción, y por lo tanto las relaciones de producción, y con ello todas las relaciones de la sociedad.* (Marx, 1959) En este caso, se puede argumentar que aquellos cambios en los instrumentos de producción, son los que se presentan por mejoras en el capital físico y los referentes a las relaciones de producción aquellos que tienen que ver con la organización y administración de la empresa. En los apartados posteriores se expondrá como en ambas situaciones esos cambios requieren un mínimo de conocimientos y la creatividad de los seres humanos para poder ser realizados.

Hasta aquí se ha mostrado brevemente como la idea de que el conocimiento puede tener efectos positivos e importantes en el crecimiento económico no es nueva. Quizá una cuestión que debe considerarse, es que los teóricos clásicos aún no se ocupaban por completo en demostrar la importancia que el conocimiento tiene para la emergencia de cambios tecnológicos e innovaciones y la generación de riqueza; y tampoco se ocupaban de demostrar sus teorías o postulados mediante argumentos matemáticos.

En este sentido la teoría económica también ha logrado avances importantes. Esto se verá reflejado en el siguiente apartado, donde se presentan los argumentos de la escuela neoclásica relativos al conocimiento, en cuyos análisis, este puede adquirir algunas de las características elementales de cualquier otro bien económico, como un precio y las categorías de rivalidad y exclusión, mismas que plantean serias dificultades al realizar los análisis.

## **2.2 El conocimiento en la Teoría Neoclásica y Schumperiana**

Este subapartado se enfoca en revelar brevemente como han estudiado los teóricos neoclásicos y evolutivos el conocimiento, en términos de las características que posee y las dificultades que pueden presentar tales características, el papel que juega dentro de sus teorías de acuerdo a los

supuestos adoptados, y el grado en que a partir de tales supuestos puede ser enmarcado en una variable matemática.

Una de las principales cuestiones es, cómo debe ser considerado el conocimiento en términos económicos; es decir, aquí se ha mencionado que constituye un insumo para la generación y emergencia de nuevas tecnologías e innovaciones, pero el problema es si las características inherentes a este, permiten tratarlo como cualquiera de los otros insumos; por ejemplo, ¿tiene características físicas o no? ¿Cuáles son los costos de su producción u obtención y quién debe asumirlos o los asume?; si es solo un insumo, ¿cuál es el mecanismo por el cual se convierte en una pieza de los productos terminados? Todas estas cuestiones han sido abordadas por algunos teóricos de diferentes escuelas de pensamiento; sin embargo, dada su naturaleza ha sido difícil plantear soluciones concretas.

Por otro lado, algunos economistas neoclásicos (sobre todo a partir de los años 60) han desarrollado sus teorías sin considerar explícitamente el conocimiento y el capital humano como una fuente del crecimiento económico. En adelante, se verá como esta relación no ha sido presentada de manera directa en tales estudios, sino que el conocimiento y capital humano aparecen como el insumo fundamental en la producción de cambios tecnológicos, al menos en los modelos de Romer (1986) y (1990a); o bien, aparece implícitamente en la forma de gastos en I+D como en los modelos de Aghion y Howitt (1992) y Howitt (1999).

Así pues, es necesario mencionar que el objeto de estudio de dichos autores no ha sido el conocimiento o el capital humano en sí mismo, sino la innovación o en el caso de la escuela neoclásica el cambio técnico.

En este texto se afirma que este hecho responde principalmente a las posibilidades técnicas al desarrollar sus teorías, pues ambos, el cambio técnico y la innovación al ser resultado de un proceso arduo de acumulación y difusión de conocimiento, adquieren atributos difíciles de incorporar en formulaciones matemáticas y difíciles de cuantificar. Sin embargo, este texto sostiene también que las innovaciones y cambios tecnológicos, así como los nuevos conocimientos en cualquiera de las ciencias, constituyen un avance en la

cantidad y calidad de conocimientos acumulados, los cuales se han logrado incorporar en las mentes de las personas o en algún dispositivo. *Cada invención e innovación, cada teoría científica y cada técnica es una síntesis del progreso humano en la comprensión. Un artefacto no es el conocimiento en sí mismo, sino que es su expresión concreta. Un libro es una representación simbólica de como muchos humanos han llegado a conocer, y como han conocido.* (Corona, 2006)

Así pues, una premisa fundamental en este trabajo es que el conocimiento tiene su origen en los procesos mentales y puede ser construido y desarrollado únicamente por los seres humanos; si bien existen, hoy en día diferentes formas en las que este puede ser almacenado o expresado, estas constituyen únicamente una forma aislada de conocimiento. Sostenemos que conocimiento no es únicamente información, dado que la información existe ahí disponible para todos mientras que el conocimiento bajo cualquiera de sus formas de expresión requiere un proceso de codificación y decodificación por parte de los seres humanos para poder utilizarlo, ya sea para desarrollar un avance en el conocimiento mismo o para idear nuevas formas de aplicarlo.

Por su parte, capital humano será únicamente aquel conocimiento que ya ha sido absorbido por algún ser humano y que tiene o se utiliza, de algún modo, en el proceso productivo, en este caso, la persona poseedora de tal conocimiento será considerada una especie de capital.

La cuestión ha sido demostrar que ambos, conocimiento y capital humano sostienen una relación causal, primero con las innovaciones y cambios tecnológicos y después y como consecuencia de ello con el crecimiento económico; pero no solo en ese sentido, sino que también ayudan por otros medios tanto al desarrollo como al crecimiento. Así, esa relación es bidireccional; el conocimiento y el capital humano constituyen los motores del crecimiento pero, al mismo tiempo, cuanto mayor riqueza se tiene es más factible desarrollar conocimientos nuevos, pues se cuenta con la capacidad monetaria y financiera para realizar inversiones que favorezcan tanto la creación como la difusión de tales conocimientos. Además, bajo esta situación es posible que los recursos sean reasignados; es decir, un sistema económico

que ha generado cierto nivel de riqueza, no solo tendrá los medios financieros para desarrollar nuevos cambios tecnológicos, sino que al mismo tiempo podrá asignar una mayor cantidad de personas a la producción de conocimiento o tecnologías.

Este hecho se debe principalmente al carácter acumulativo del conocimiento, el cual hace del capital humano un “factor” productivo con la capacidad de ser acumulado y reproducido. *La creación de conocimiento es un proceso que sucede dentro de una mente humana. De este proceso el individuo que adquiere o genera nuevo conocimiento mejora su conocimiento y habilidades personales, y en ese acto y por el mismo proceso, el stock de capital humano acumulado en la sociedad como un todo también incrementa, por lo tanto, la creación de conocimiento mejoraría la formación de capital humano.* (Corona, 2006) Como se verá más adelante, estas afirmaciones tienen fuertes implicaciones en el análisis del crecimiento económico; por ejemplo, si se acepta que la creación de conocimiento ocurre únicamente en la mente humana y que una economía puede reasignar sus recursos; en este caso, conceder más personal a la producción de conocimiento, el crecimiento económico no estará sujeto a la tasa de crecimiento de la población como algunos autores neoclásicos han sugerido (entre ellos Solow, (1957) y Romer (1990a)).

Es posible apreciar que en la escuela neoclásica el conocimiento no había tenido relevancia para sus análisis, pues hasta antes de la década de 1980 constituía su objeto de estudio. Sin embargo, cuando comenzó ser relevante la cuestión fue determinar sus atributos y cómo debía ser empleado en el análisis económico; es decir, si sus atributos esenciales eran tales que podía ser utilizado como cualquier otro insumo o manejarlo con un trato especial y ver qué efectos analíticos tendría este trato. Como se verá más adelante, son precisamente los atributos del conocimiento los que han ocasionado ciertas dificultades en la estructura formal de los modelos matemáticos propuestos por los teóricos del crecimiento.

Al final en esta línea de pensamiento, el conocimiento solo es considerado en tanto que es nuevo y se expresa en las mejoras de los bienes de capital, aquí

no importan las fuentes ni los mecanismos por los cuales se puede generar o desarrollar más conocimiento, es exógeno. Además, los métodos matemáticos utilizados para el análisis, como la estática comparativa, que implican la observación de los cambios mediante la diferencia que puede resultar de dos puntos distintos en el tiempo, bloquean cualquier oportunidad de explicar el proceso mediante el cual emergen tanto el conocimiento, como sus expresiones en cambio tecnológico o innovaciones.

Incluso, basta revisar los libros de texto, tanto de microeconomía como de macroeconomía neoclásica, para notar que bajo esta lógica el conocimiento es un sinónimo de información, que los agentes no necesitan preocuparse por desarrollar o invertir en tecnologías porque estas ya están disponibles para todos por igual; sin pasar por alto que en los primeros estudios del crecimiento neoclásico la tecnología o la innovación y por lo tanto el conocimiento, no eran considerados un determinante.

En este sentido, los modelos de crecimiento endógeno han hecho un avance al poner el cambio tecnológico, no solo como el principal determinante sino también como un factor que puede generarse dentro del sistema y cuya presencia es determinada por la acumulación de conocimiento y capital humano. Esto también ha conducido a realizar avances en cuanto a los supuestos bajo los cuales se estructuran los modelos; por ejemplo, se ha intentado incorporar el capital humano como un factor productivo, introducir rendimientos crecientes en las funciones de producción, así como el efecto de los spillovers del conocimiento. ( (Pack, 1994); (McCallum, 1996); (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994); (Mankiw, G.; Romer, D. y Weil, D., 1992))

Como se ha mencionado anteriormente, muchas de las dificultades que los teóricos del crecimiento han enfrentado es referente a los atributos inherentes al conocimiento, la escuela neoclásica se ha ocupado de definir cuáles atributos y en qué medida el conocimiento puede adquirir las propiedades con que se analizan los bienes económicos; es decir, en qué medida constituye un bien rival y hasta qué punto es posible su exclusión. Así, *la distinción entre insumos rivales y no rivales, y la distinción entre bienes excluibles y no*

*excluíbles, es de absolutamente fundamental importancia en la modelación y la formulación de políticas. (Romer, 1994)*

La rivalidad se presenta cuando un bien, por sus características, no puede ser utilizado por dos personas en el mismo momento y la exclusión cuando el uso de un bien puede ser negado a otras personas a través de ciertos mecanismos, como el precio o los derechos de propiedad. (Nelson, R. y Romer, P., 1996)

En este sentido, los teóricos del crecimiento endógeno y algunos otros como Kenneth Arrow (1962), sostienen que al conocimiento no se le pueden asignar estos atributos, al menos no completamente, más adelante se verá cómo se aplican estos atributos al conocimiento y cuáles son sus implicaciones, cuando se construyen los modelos.

De esta manera para Arrow (1962) el conocimiento tiene características de algunos bienes especiales tratados en economía, las cuales son:

- Bien público: es no exclusivo y no rival.
- Es intangible: puede ser usado como un sinónimo de información y este puede ser copiado, imitado y esparcido fácilmente.
- Presenta spillovers: el conocimiento generado por una compañía puede ser usado por otras.
- Es difícil su comercialización: conocer el valor del conocimiento implica conocer ese conocimiento. Pero cuando ese conocimiento es revelado, hay incentivos para evitar pagar por él. (Arrow, 1962)

Cabe señalar que, en algunos modelos estos atributos no se consideran de manera estricta; por ejemplo, en el modelo de Romer (1990), el conocimiento adopta una forma especial en la que es considerado un bien no rival pero parcialmente excluible. Además, en dicho modelo el conocimiento es considerado en dos formas y adopta características diferentes, por un lado es no rival y no excluible si se utiliza en el sector de producción de conocimiento, pero cuando es utilizado en el sector de producción de bienes intermedios o bienes finales, pierde en alguna medida tales atributos. En este caso, se puede afirmar que el conocimiento que se utiliza en la producción de conocimiento es conocimiento puro y por lo tanto es no rival, esto quiere decir que el uso del

conocimiento por una persona no reduce la habilidad de otros para usarlo. (Parker, 2012)

El análisis económico sugiere que estos atributos del conocimiento conducen a cierta ineficiencia; puesto que, si se considera que el conocimiento es no rival y no excluible puede ser considerado como un bien público, en tal situación los incentivos para la producción de conocimiento por parte del sector privado pueden verse reducidos o incluso ser nulos, dado que, gracias a estos atributos no hay garantía de obtener un rendimiento por tal producción. Por otra parte, si el sector privado asumiera los costos por la producción de conocimiento, la rentabilidad que ellos podrían adquirir no es completa, ya que la producción de conocimiento implica la presencia de spillovers.

Sin embargo, al mismo tiempo, *una idea no rival puede ser copiada y comunicada, así su valor incrementa en proporción al tamaño del mercado en el cual puede ser usada.* (Romer, 1996) El valor incrementado a que se refiere Romer (1996) se debe al carácter acumulativo y a los beneficios que la difusión del conocimiento aporta a la emergencia de nuevas tecnologías e innovaciones; incluso si este se utiliza únicamente para la producción de más conocimiento, como en el caso de las ciencias básicas. Más adelante se presentan algunos argumentos en favor de la producción de conocimiento; en los cuales se sostiene que aun cuando los incentivos no sean suficientes y los spillovers no permitan una captura completa de la rentabilidad de tales inversiones, es necesario realizar dicho esfuerzo, para beneficio de la economía en su conjunto.

Como se mencionó anteriormente los nuevos conocimientos derivan del desarrollo de experimentos y actividades de ensayo y error, lo que supone inversiones bastante costosas con un alto riesgo para los inversionistas, pues nunca se sabe con exactitud cuáles serán los resultados de dichos experimentos. Así, la percepción de riesgos elevados puede provocar aversión en los actores e incentivar la desinversión o mejor dicho la no inversión en actividades que promuevan la generación de conocimiento.

Otra y no menos importante característica del conocimiento en este enfoque, es que puede conducir a daño moral, porque debido a los spillovers, el

conocimiento puede hacerse disponible para los competidores, quienes no estarían asumiendo ningún costo en la producción de nuevas tecnologías o innovaciones. En tal caso, los procesos de producción de tecnología e innovación no pueden ser asegurados y será muy complicado eliminar los riesgos.

Una vez que se ha llegado al consenso de que algunas formas de conocimiento, sus características o sus usos presentan los atributos de no rivalidad y no exclusión; los economistas también están de acuerdo en que los problemas derivados de estos atributos pueden ser minimizados o incluso eliminados a través de la correcta asignación de derechos de propiedad. Entre los más comunes tenemos las patentes y los derechos de propiedad intelectual. La presencia de estos derechos puede garantizar una rentabilidad positiva para aquellos quienes inviertan en conocimiento, aun cuando el riesgo de tales inversiones no sea eliminado.

Si atendemos a las consideraciones que Romer (1990) hace en su modelo sobre el conocimiento, podemos apreciar que, los derechos mencionados arriba pueden muy bien ser asignados a las dos formas de conocimiento que expone; es decir, cuando el conocimiento es utilizado en el sector de investigación para la producción de más conocimiento, se puede garantizar a los inversionistas una rentabilidad a través de los derechos de propiedad intelectual, en este caso, aun cuando no sean asignados tales derechos, el sistema tendrá un beneficio derivado de la producción de más conocimiento, lo que implica un aumento en la acumulación. Por otro lado, cuando el conocimiento se utiliza en la producción de bienes intermedios, es más factible la protección por patentes. Esto es a lo que Romer (1990) se refiere, cuando afirma que el conocimiento debe ser analizado como un bien no rival y parcialmente excluible.

Para Parker (2012), la asignación de los derechos de propiedad puede conducir a cierta ineficiencia puesto que, para él, si el conocimiento es catalogado como un bien público, los gobiernos tendrán una tendencia a subsidiar las investigaciones en ramas donde la no exclusividad es resuelta de manera incompleta o incluso inefectiva por medio de patentes, y donde la

difusión de los resultados de esas investigaciones sea especialmente importante. (Parker, 2012) Entonces, *cuando las leyes de propiedad intelectual funcionan como era la intención, ayudan a resolver un problema al alentar la inversión en conocimiento pero al mismo tiempo crean otro al desalentar su uso.* (Parker, 2012) Como se mostró anteriormente, los supuestos de no rivalidad y exclusión parcial del conocimiento, en el modelo de Romer (1990), son un intento por resolver este problema, en cual se alienta la inversión y uso para la producción de más conocimiento, pero se permite desalentar su uso si es en la producción de bienes intermedios, con la finalidad de garantizar una rentabilidad a los productores de conocimiento. El mismo Romer (1996) en un artículo posterior sostiene que, *si la gente puede establecer algunas veces, derechos de propiedad sobre unos bienes no rivales como un sistema operativo o una receta las diferencias en la escala cambiaran las recompensas por producir nuevas ideas. Quizá solo así los derechos de propiedad se convierten en un incentivo para producir nuevas ideas e incrementar la escala de producción de conocimiento.* (Romer, 1996)

Como se ha podido apreciar, los atributos del conocimiento tienen fuertes implicaciones en el análisis económico del crecimiento endógeno; empero, hasta este momento, la resolución propuesta por Romer (1990, 1994, 1996) parece ser la que modela el conocimiento y reduce las dificultades inherentes a dichos atributos de manera más eficiente.

En el análisis de la economía de mercado, donde la competencia perfecta es considerada como el entorno más favorable y se considera la maximización de precios, Parker (2012) sostiene que los derechos de propiedad conducen a una cierta ineficiencia al provocar monopolios temporales. El argumento es que, por un lado, el atributo no rival del conocimiento permite a este ser utilizado por cualquier persona con un costo marginal, si no nulo prácticamente nulo; pero debido a las condiciones de maximización dichas personas deberán consumir conocimiento hasta el punto en que su beneficio marginal también sea cero, lo que necesariamente implica que el precio del conocimiento sea igualmente cero. La cuestión es que si el conocimiento se distribuye a un precio nulo no hay incentivos de mercado para su producción. Por el otro lado, bajo una economía con estas características es evidente la necesidad de la asignación

de derechos de propiedad para incentivar la producción de conocimiento; sin embargo, esto conduce a cierta ineficiencia, puesto que tales derechos de propiedad cargarán un precio positivo por el uso del conocimiento el cual constituye el rendimiento que obtendrán los productores de dicho conocimiento, pero al mismo tiempo provocará monopolios temporales; conduciendo por esta vía a la ineficiencia del sistema económico. (Parker, 2012)

Sin embargo, los economistas de la escuela Schumpeteriana sostienen, que la presencia de innovaciones en el análisis económico requiere necesariamente cierta ineficiencia; para ellos los mercados son imperfectos dado que, para que las empresas logren obtener una rentabilidad por sus inversiones, en este caso en I+D, deben tener la garantía de proteger los resultados de esas inversiones a través de patentes o derechos de propiedad intelectual, como se vio anteriormente esto conduciría a la presencia de monopolios. El supuesto clave es que los productores de innovaciones se engancharan en una competencia de precios, tipo Bertrand. Así las rentas monopólicas que obtendría una firma continuarán hasta que una firma rival descubra y perfeccione una versión aún mejor del mismo producto. (Grossman, G. y Helpman, E., 1994)

Cabe mencionar que uno de los problemas con el enfoque más ortodoxo, es el hecho de que el conocimiento sea tratado tan solo como información, pues de esta manera deja fuera muchos otros elementos que deben ser considerados cuando se quiere exponer este como una fuente de innovaciones. Además, se ha expuesto anteriormente que información y conocimiento no son sinónimos y en este trabajo se consideran por separado, en efecto, la cuestión que prevalece en la diferencia propuesta en este trabajo es que la información puede almacenarse y estar presente en una gran diversidad de formas, incluso aquellas inanimadas, pero el conocimiento implica necesariamente la presencia de seres humanos, quienes además de guardar información son capaces de transformarla y utilizarla.

En este sentido, es posible afirmar que ningún conocimiento surge de manera espontánea como suponen los teóricos de la escuela neoclásica; sino que, los nuevos conocimientos son resultado o emergen tanto de la combinación de conocimientos previos (incluso de la combinación de conocimientos entre

diferentes áreas) como de lo que se puede considerar accidentes. La cuestión es que esos accidentes pueden ser de alguna manera inducidos; es decir, son accidentes en tanto que se llega a resultados inesperados, pero devienen de una acción previamente determinada (la investigación) la cual es llevada a cabo cuando se buscan respuestas a problemas planteados previamente.

De esta forma es posible definir el conocimiento como la capacidad que tienen los seres humanos para observar, concientizar y preguntarse por qué y cómo funcionan los fenómenos naturales y sociales, para posteriormente buscar soluciones a esas interrogantes con la finalidad de utilizar dichos fenómenos para cumplir un propósito particular.

Entonces, el problema de considerar el conocimiento como información ha conducido a la escuela neoclásica a desarrollar los mecanismos de intervención mencionados arriba para proteger dicha información como un bien privado, esto deviene principalmente, del hecho de que en esta teoría el conocimiento solo puede ser resultado de la inversión en investigación y desarrollo llevado a cabo por las empresas; de ahí que, el conocimiento tenga que ser protegido como un bien privado y tal protección elimine el problema de la no exclusión, aunque, como ya se analizó anteriormente, estos mecanismos también conducen a cierta ineficiencia.

Tal cuestión se hace aún más compleja cuando se toma en cuenta que, ni siquiera con los mecanismos de apropiabilidad diseñados por la escuela neoclásica, los nuevos conocimientos dejaran de tener las derramas (spillovers) o, para ponerlo en términos neoclásicos, las externalidades derivadas de su emergencia.

Por otro lado, en el enfoque de la economía evolutiva esos mecanismos de apropiabilidad pueden convertirse en un obstáculo para el desarrollo de nuevas tecnologías e innovaciones, pues en este enfoque la difusión de conocimiento siempre será positiva, en tanto que se considera que la emergencia de nuevas tecnologías depende de la combinación de conocimientos y esta combinación puede surgir únicamente cuando el cúmulo de conocimientos previos está disponible para todos. Siguiendo a Nelson: *Los efectos de derrama garantizan una rápida difusión del nuevo conocimiento. Los efectos benéficos de la*

*innovación pueden propagarse por toda la economía y la ineficiencia de la doble invención es prevenida.* (Nelson, 1959) En el siguiente apartado, se profundizará en estas cuestiones, para poner en claro, porque se considera aquí que los conocimientos previos son la base de los nuevos conocimientos y a su vez de las nuevas tecnologías e innovaciones.

Como se puede observar, aun cuando no existan mecanismos de apropiación el conocimiento libre puede resultar benéfico en términos económicos. Este es un punto de divergencia importante entre estas dos corrientes de pensamiento, pues tiene diferentes implicaciones tanto en el análisis económico y las consecuentes decisiones de política, como para el desarrollo de nuevos y mejores avances en materia de tecnología e innovación.

En este caso es posible afirmar que mientras la escuela neoclásica se rige por el concepto de competencia perfecta, para la escuela evolutiva la innovación comprende su razón de ser. Así, el concepto de competencia perfecta engloba la presencia de equilibrios estáticos dentro y fuera de las empresas, esta estática impide que dichas empresas compitan a través de mejoras en los productos o procesos y la única vía de competencia sea la maximización de beneficios o reducción de costos reflejados en el nivel de precios. Se podría objetar, que en esta maximización del beneficio o reducción de costos está implícita la innovación o el cambio tecnológico, pero esto necesariamente conlleva a una inconsistencia si se piensa que uno de los supuestos básicos para que las empresas puedan establecer dichos equilibrios es la existencia de información perfecta así como el carácter exógeno de tales innovaciones y cambios tecnológicos; por lo tanto, la innovación o el cambio tecnológico no tienen razón de ser en este enfoque, en tanto que, no dependen de las acciones o decisiones de inversión de la empresa.

En cambio, en la economía evolutiva los procesos de innovación de las empresas y cómo evolucionan estos, es la pieza fundamental de sus análisis y la competencia toma formas distintas a la competencia vía precios. En este marco, la competencia está basada en los esfuerzos que realizan las empresas para innovar e introducir cambios tecnológicos en tanto que estos garantizan la supervivencia de la firma. Dichos esfuerzos pueden ser expresados como

inversiones en actividades estrechamente relacionadas con estos objetivos como la I+D, pero que al final implican desarrollar conocimientos para generar capacidades de competencia, un ejemplo de ello son los esfuerzos de aprendizaje dentro de las empresas.

La cuestión es que este no es un esfuerzo que pueda ser medido explícitamente en términos monetarios. Esta estructura de competencia parece ser más coherente con la dinámica que se percibe en la realidad, pues los esfuerzos de innovación y la forma en que estos se aplican, determinan el grado de éxito de las empresas y más que maximizar sus beneficios ellas ganan con la permanencia en el mercado o con el dominio de los mismos. Además, en este enfoque la emergencia de innovaciones o cambios tecnológicos resulta necesariamente en una mejora de la eficiencia productiva, la cual puede traducirse en una mejora de los precios de los productos.

Es importante aclarar que, aquí se considera que sin importar quien asuma los costos (monetarios y cualitativos<sup>2</sup>) para desarrollar conocimiento, parece haber consenso en que las empresas son las principales beneficiarias de tal desarrollo y en los países más desarrollados son ellas quienes asumen los principales costos de la investigación y la inversión en procesos de innovación; pues estas pueden contratar trabajadores con mayores cualidades y por lo tanto más productivos.

Por último, cabe mencionar que los argumentos expuestos sobre la economía evolutiva no implican que los procesos económicos sean benevolentes, que se elimine la competencia, o que los actores sean caritativos unos con otros; es decir, cuando se argumenta que para esta escuela la transferencia de conocimiento y la cooperación son importantes para el desarrollo económico, no necesariamente implica la percepción de los procesos económicos de manera altruista, de hecho, sí se considera que el término innovación implica que los conocimientos deben estar aplicados en el mercado y tener un éxito comercial, entonces estas estarán motivadas por intereses individuales aunque no necesariamente maximizadores.

---

<sup>2</sup> Posteriormente se expondrá cuáles son las características cualitativas que están involucradas en la generación de conocimiento.

En resumen, se ha mostrado que los dos principales atributos económicos del conocimiento son la no rivalidad y la no exclusión; se argumentaron las dificultades teóricas que estos acarrearán al realizar un análisis económico en la escuela neoclásica. De esta manera, resulta evidente que la consideración de estos atributos nos remite a los derechos de propiedad, los cuales pueden de algún modo conducir a cierta ineficiencia dentro de un contexto de competencia perfecta por la presencia de monopolios, pero que es necesario si se quiere analizar la economía desde una perspectiva donde las innovaciones son el motor del crecimiento. También se mostró, que al intentar modelar el conocimiento la principal dificultad es que dichos atributos afectarán el comportamiento de las funciones, como se mostró con el ejemplo del costo marginal nulo.

Por otro lado, se mostró que si esos incentivos no existieran no habría incentivos para la producción de conocimiento y por lo tanto la emergencia de innovaciones o cambios tecnológicos no podría presentarse.

En el siguiente apartado se expone como es que el conocimiento sostiene una estrecha relación con el capital humano, y como estos hacen posible la emergencia de tecnologías, al ser combinados y recombinados en la búsqueda de servir a un propósito.

### **2.3 De los mecanismos que hacen posible la emergencia de tecnologías**

En esta sección, se expone la evolución de las tecnologías, a partir de los conocimientos acumulados y las combinaciones o relaciones que se establecen entre ellos. En este caso el conocimiento puede verse como el componente principal de las tecnologías, considerando que este conocimiento es resultado de un esfuerzo en el que está involucrada la creatividad del ser humano a través de la actividad científica. La cuestión es que las tecnologías no surgen por azar del destino, sino que son resultado de los esfuerzos de grupos o de individuos que tienen ciertos conocimientos básicos, de tal forma que sea factible su aplicación para resolver problemas concretos. De esta forma, es posible afirmar que la emergencia de las tecnologías tal y como las conocemos, son resultado de los esfuerzos humanos por resolver problemas de la vida cotidiana.

Este apartado aborda la relación entre el conocimiento y las tecnologías, en un intento por hacer evidente que gran parte de las innovaciones y avances tecnológicos no habrían podido surgir sin el conocimiento adquirido, transmitido y aplicado por los seres humanos. Aquí se destaca la importancia de los desarrollos científicos y las capacidades ingenieriles como elementos coordinados y constitutivos para la emergencia de la tecnología.

Ahora bien, si se considera que las tecnologías son resultado de los esfuerzos de grupos o individuos que tienen conocimientos o saberes, entonces resulta interesante saber cómo se obtienen esos conocimientos, qué los genera y cómo estos pueden relacionarse para convertirse en lo que llamamos tecnología. Esto puede ser expresado en dos ámbitos: uno es el que corresponde a la creatividad humana para desarrollar conocimiento y su capacidad para retenerlo y compartirlo; el segundo, que deviene del entorno económico, corresponde a quien o quienes asumen los costos de difusión y generación de dicho conocimiento.

Por lo pronto, se podría afirmar que las tecnologías son el resultado de las aplicaciones de la actividad científica que ha logrado la creatividad del ser humano, tanto en sus intentos por explicar los procesos físicos del mundo en el que vivimos, como en aquellos que se orientan a resolver problemas concretos para facilitar la vida del ser humano. Entonces, la cuestión subyacente es ¿cómo se producen esos resultados? Bajo esta premisa llegamos a la noción de combinaciones y recombinaciones, planteada ya en la década de 1930 por Schumpeter (1934); es decir, las combinaciones y recombinaciones se producen cuando un conjunto de conocimientos o saberes son relacionados de tal forma que se puedan utilizar de manera práctica. Esta idea parte de la concepción de Kuhn (2006) sobre la estructura de la ciencia: *Si la ciencia es la constelación de hechos, teorías y métodos recogidos en los textos al uso, entonces los científicos son las personas que, con éxito o sin él, han intentado aportar un elemento y otro de esa constelación concreta. El desarrollo científico se convierte así en el proceso gradual mediante el cual esos elementos se han sumado, uno a uno y en “combinación”, al acervo siempre creciente que constituye la técnica y el conocimiento científicos.* (Kuhn, 2006)

Un elemento esencial para el análisis posterior surge del hecho que se ha intentado hacer evidente hasta este punto, y es que el conocimiento solo puede ser inherente a los seres humanos, que son ellos los únicos capaces de aprovecharlo y desarrollarlo; al mismo tiempo este argumento apoya el postulado que propone que las teorías del crecimiento son limitadas en tanto que sus desarrollos enfatizan los resultados de los conocimientos aplicados más que la forma en la cual los seres humanos realizan estos desarrollos.

Siguiendo a Corona (2006), se presenta una ambivalencia al analizar el conocimiento, por un lado, los seres humanos son los únicos capaces de desarrollar conocimiento, almacenarlo en sus cerebros y al mismo tiempo difundirlo y adquirir conocimientos provenientes del exterior; pero también, han sido los únicos capaces de desarrollar, lo que él llama, memorias externas, para almacenarlo, difundirlo y acumularlo. *Las creaciones humanas sobreviven a sus creadores. Este es el fundamento de la evolución humana y el progreso, porque las nuevas generaciones pueden aprender del pasado, de las decisiones sabias y los errores, de la sabiduría de sus ancestros.* (Corona, 2006) Pero destaca la importancia que tiene para la evolución el que los seres humanos puedan adquirir o hacer uso de esos conocimientos; es decir, las memorias externas son un importante recurso para la acumulación de conocimiento pero no es útil si este no puede ser descifrado y embebido por las personas, de ahí la importancia de establecer mecanismos para que las personas se interesen y puedan adquirir dichos conocimientos, lo que en nuestro ámbito conduce al concepto de capital humano.

En un entorno evolucionista, cuando hablamos de tecnologías, la fuente de las combinaciones y su consecuente emergencia son los principios, dichos principios están basados en el conocimiento de los hechos o fenómenos naturales, así pues el conocimiento acumulado se convierte en principios que constituyen la parte esencial de la tecnología (aquello que al ser comprendido puede explicar su funcionamiento); una vez que estos pueden ser manejables por el ser humano; tal y como Arthur (2009) plantea: *[...] podemos ver más la estructura si observamos que una tecnología es siempre organizada alrededor de un concepto central o principio: “el método de las cosas” o la idea esencial*

*que permite a estas trabajar.* (Arthur, 2009) Estos principios podrían ser la respuesta a la pregunta formulada por Dawkins (1987) sobre la máquina de vapor; es decir, *aquello que explica como las partes de una máquina de vapor, por ejemplo, interactúan una con otra para producir el comportamiento de la maquina en su conjunto* (Dawkins, 1986); entonces, aquí se considera que la respuesta sería el conocimiento sobre las interacciones que los seres humanos tienen de los fenómenos naturales y las partes físicas de la máquina.

Ahora bien, es posible observar una estrecha relación entre las teorías y métodos de Kuhn y los principios de Arthur, de tal forma que los principios necesitan de las teorías y métodos para codificarse de forma más simple y poder ser utilizados o expresados en la forma de componentes físicos; a su vez, estos necesitan de la ciencia experimental, la ingeniería y la técnica como disciplinas de apoyo. Y este proceso necesariamente requiere de las memorias externas así como del desarrollo de las personas para poder asimilar el conocimiento depositado en ellas. Es decir, la concepción sobre el origen de las tecnologías comprende dos niveles; uno científico, que a su vez se compone de dos categorías: ciencia experimental y ciencia aplicada. Y otro tecnológico, que comprende la articulación de los principios conocidos en dispositivos y métodos que los ponen al alcance y disposición del ser humano. Estos dos niveles nos remiten al concepto de capital humano.

Es importante aclarar que, cuando se habla de la emergencia de la tecnología, hay un componente que no se explica por los fenómenos conocidos y codificados, sino que en términos de Arthur (2009) surgen de forma accidental. Sin embargo, aquí se sostiene que aunque algunos resultados surjan de manera accidental, tales accidentes son inducidos, tal y como expresa Romer (1994) *algunas invenciones parecerán ser un evento exógeno en el sentido de que fuerzas fuera de mi control parecen determinar si tendré éxito. Pero la tasa agregada de descubrimientos es endógena. Cuanta más gente comienza la prospección de oro o la experimentación con una bacteria, descubrimientos más valiosos serán encontrados. Esto será verdad incluso si los descubrimientos son efectos secundarios accidentales de alguna otra actividad o si los incentivos de mercado no juegan un rol alentando la actividad. La tasa*

*agregada de descubrimientos es determinada por cosas que hace la gente.*  
(Romer, 1994)

Por lo tanto, lo que importa es la cualidad para reproducir los fenómenos y pareciera que el argumento de este trabajo reduce toda la explicación de la emergencia de las tecnologías a solo aquello que se puede codificar, sin tomar en cuenta las cosas que no pueden ser explicadas completamente o codificar correctamente y que surgen aun cuando los científicos no tengan plena conciencia de todo lo que sucede en los procesos experimentales. Esta percepción nos remite a las capacidades humanas relacionadas con el conocimiento tácito, conocimientos que no pueden ser codificados pero que las personas poseen y utilizan para desarrollar innovaciones y cambios tecnológicos.

Por otro lado, este trabajo cuestiona hasta qué punto es válido ese argumento, pues, se considera que esa parte no es estrictamente accidental<sup>3</sup>, en la medida en que surge de trabajos previos en los que los resultados no son exactamente lo que se esperaba, pero que surgen de la búsqueda de “algo”. Este punto se aclarará con más detalle en el cuerpo de este texto. Por otro lado, cuando se habla de la cualidad para reproducir los fenómenos, se habla de la capacidad creadora del ser humano para poder manejarlos y ponerlos a su disposición, este es un punto elemental en este trabajo puesto que se afirma que el conocimiento una vez que ha sido codificado y compartido con otros miembros provocará necesariamente inquietudes sobre la validez de lo que se ha encontrado y esta curiosidad es la que promoverá la búsqueda de nuevos desarrollos tanto en el conocimiento científico como en aquel que tiene aplicaciones productivas.

Ahora bien, las tecnologías pueden explicarse de la siguiente manera, primero se considera que estas se componen por diversos elementos particulares. Así, se puede afirmar que los efectos producidos por los fenómenos naturales comprenden la esencia de su existencia, ya sea que puedan ser codificados o no, pero si estructurados en conocimientos y esto permita descubrir sus

---

<sup>3</sup> Aquí se utiliza el término accidental como algo que sucede o surge de manera inesperada, algo que no forma parte de lo natural o esencial de la cosa en cuestión.

principios. *Tales efectos proporcionan toda la información sobre la naturaleza de la tecnología. Los fenómenos son la fuente necesaria de donde surgen todas las tecnologías, pues a lo largo de la historia han inducido a los seres humanos a preguntarse cosas sobre su naturaleza y a buscar una explicación lógica para su existencia, una vez que se logra obtener una respuesta esta puede ser revestida en conocimiento que con ayuda de la creatividad puede servir para resolver algún problema, transformándose en una tecnología. Así pues, todas las tecnologías, no importa cuán simple o sofisticadas sean, son versiones revestidas del uso de algún efecto o, más generalmente, de varios efectos.* (Arthur, 2009) En este sentido, se puede afirmar que lo que se combina para que una tecnología pueda emerger son los efectos de los fenómenos naturales, en tanto que constituyen el mecanismo por el cual funcionan, esto es lo que en este trabajo se conoce como principios de base.

De esta forma, llegamos al punto en el que el elemento esencial dependerá de la categoría analítica en que nos encontremos para usar determinado término, en esencia se puede argumentar que son equivalentes; así para explicar la naturaleza nos referimos a los efectos; en la ciencia son las teorías y métodos; en la tecnología los principios; y cuando lo vemos como un sistema complejo serán mecanismos; todos ellos requieren de un grado de codificación o comprensión, lo que al final se convierte en conocimiento y al ser embebidos en las personas constituyen la pieza fundamental del concepto de capital humano. Cabe mencionar, que los efectos (los que están presentes en la naturaleza) presentan una dualidad, pues estos pueden dar origen a un fenómeno pero a su vez pueden surgir como resultado de los fenómenos.

Sin embargo, hay algunas cuestiones que se deben de aclarar para comprender totalmente dicho argumento. En primer lugar, se debe reconocer que las combinaciones cambian a través del tiempo y se hacen más complejas, por lo que, un conocimiento en la edad de piedra no es igual al que conocemos hoy en día, de tal forma que se puede decir que en la antigüedad se observaban fenómenos que producían efectos simples; por ejemplo, la fricción de algunos trozos de madera que producía chispas y estas se podían convertir en una llamarada, mientras que en la actualidad los efectos son mucho más

complejos y difíciles de entender y manipular. *Hay una realimentación permanente entre el conocimiento en nuestros cerebros y el conocimiento situado en memorias externas. La creación y acumulación de conocimiento son procesos independientes. Los humanos modernos tienen más conocimiento que en el pasado, no porque seamos más sabios sino porque hemos acumulado y usado más conocimiento del que fue posible antes. La sociedad moderna está construida sobre el legado de conocimiento de las generaciones humanas previas.* (Corona, 2006)

Esta percepción está relacionada con la esencia de las tecnologías, con el conjunto de conocimientos y saberes, principios y mecanismos; es decir, con la percepción de la tecnología como un constructo social y meramente humano, en el sentido de que los fenómenos naturales observados por el ser humano sirven para dar origen a instrumentos, dispositivos, relaciones causales y nuevos descubrimientos, una vez que estos efectos son comprendidos, estudiados, descifrados y concientizados<sup>4</sup>, se logra manipularlos con el objeto de satisfacer algún propósito.

Ha llegado el momento de aclarar la disyuntiva entre los fenómenos conocidos y aquellos que están presentes en la emergencia de la tecnología y no son precisamente conocidos. En realidad la cuestión es el origen; es decir, lo que se argumenta es que la presencia de esas “cosas” que no son plenamente conscientes para los científicos, no son accidentes en el sentido de que emergieron de la nada; sino que como se expresó anteriormente son resultado o emergen de un trabajo previo, en el que los científicos buscan respuestas a determinadas cuestiones y sin embargo encuentran anomalías y estas dan origen a nuevas formulaciones y nuevas respuestas, esta idea también está presente en la noción de la construcción de la ciencia a través de paradigmas de Kuhn: *En ocasiones, un problema normal, esto es, un problema que habría de resolverse mediante reglas y procedimientos conocidos, resiste el reiterado asalto de los miembros más capaces del grupo bajo cuya responsabilidad cae. En otras ocasiones, un equipo experimental diseñado y construido para la investigación normal deja de funcionar del modo esperado, revelando una*

---

<sup>4</sup> El término concientizados se utiliza para referir el conocimiento derivado de los efectos de los fenómenos que ha sido decodificado, articulado y almacenado de alguna forma, la más común en la antigüedad y en nuestra era es la escritura.

*anomalía que, a pesar de los repetidos esfuerzos, no se puede ajustar a las expectativas profesionales. De esta y otras maneras, la ciencia normal se extravía una y otra vez, y cuando ello ocurre, esto es, cuando la profesión ya no puede hurtarse durante más tiempo a las anomalías que subvierten la tradición corriente de la práctica científica, entonces comienzan las investigaciones extraordinarias, que finalmente llevan a la profesión a un conjunto de compromisos, a una nueva base sobre la cual practicar la ciencia.* (Kuhn, 2006)

Sin embargo, sucede lo mismo con las tecnologías, una vez que un grupo de científicos y colaboradores (investigadores, técnicos y empresarios); trabajan en conjunto para articular algún efecto en determinados dispositivos y cumplir un fin, la búsqueda de soluciones a problemas concretos puede llevarlos a encontrar nuevos problemas o resultados inesperados (anomalías) y por lo tanto a articular nuevas soluciones para ellos, situación que no estaba prevista. Por lo tanto, esas “cosas” que no son conscientes, no emergen de la nada, son accidentes que surgen de los esfuerzos constantes por encontrar soluciones coherentes a problemas concretos; a través de un esfuerzo articulado de ciencia experimental, ciencia aplicada, desarrollos tecnológicos y técnicos, plenamente interrelacionados. En efecto, de la utilización de conocimientos dispuestos en capital humano en diferentes áreas para buscar las soluciones a ciertos problemas o cumplir un propósito humano.

Una vez entendido esto, se puede definir la tecnología como el conjunto de fenómenos interrelacionados por la combinación y recombinación de sus efectos interpretados como principios científicos, y puestos a disposición del ser humano a través de dispositivos e instrumentos para cumplir un determinado propósito. Todo ello, al final está constituido por el conocimiento acumulado, combinado y transferido a otras generaciones a través de la historia, lo que constituye el fundamento del concepto de capital humano.

Como se puede apreciar, la noción de los efectos y su combinación tiene implicaciones más profundas para su análisis, esto es, porque no basta con observar los fenómenos y manipularlos, sino que tiene que presentarse un ambiente propicio que permita una adecuada codificación de los efectos para

que estos puedan ser estudiados con mayor amplitud, además este entorno debe favorecer el acceso a más personas para su estudio. Este ambiente solo es posible cuando la sociedad en cuestión está comprometida en incrementar su capital humano disponible. *Sin embargo, a pesar de la importancia fundamental del conocimiento acumulado en libros y artefactos, el conocimiento acumulado embebido en los seres humanos permanece como el tipo más importante de conocimiento. La cantidad de conocimiento codificado en las memorias externas es un stock dado, y este es inerte en el sentido de que no puede ser reproducido por sí mismo. La creación y difusión de conocimiento puede emanar solo de la externalización del conocimiento embebido en las personas. Los humanos son los únicos capaces de generar y transmitir conocimiento. Ellos en efecto saben cómo administrar el conocimiento para transformarlo en nuevas cosas, recombinarlo y desarrollar nuevas teorías, nuevas visiones y nuevo arte. Solo los humanos pueden usar el conocimiento almacenado en las memorias no humanas para incrementarlo.* (Corona, 2006)

En este caso, lo que se puede combinar es ese conjunto de conocimientos y principios científicos que han sido codificados y estructurados como un todo coherente, tomando en cuenta que, en la medida en que esta empresa se va realizando, pueden surgir y combinarse efectos desconocidos o que no habían sido previstos por el grupo de personas que realizaban los trabajos previos; o bien, puede suceder que dentro de ese grupo se encuentre una mente brillante y cambie por completo el paradigma que se venía siguiendo, como un producto de su creatividad. En este sentido, hay una gran diferencia con la idea de combinación presente en el trabajo de Schumpeter (1934) y los que siguen su línea de pensamiento; pues para ellos, la combinación se refiere prácticamente a materiales, métodos de producción y tecnologías (en un sentido simple del término) existentes, la crítica más relevante es que en esa literatura nunca se explica cómo se lleva a cabo esta combinación, ni se pone énfasis en la importancia del conocimiento acumulado en las personas para lograr tales combinaciones.

Por otra parte, Arthur (2009) argumenta que, antes de que los fenómenos puedan ser utilizados para una tecnología, deben ser aprovechados y configurados para funcionar correctamente. *Los fenómenos rara vez pueden ser utilizados en forma cruda. Es posible que tengan que ser persuadidos y sintonizados para funcionar de manera satisfactoria, y que sólo puedan trabajar en un estrecho rango de condiciones. Así que la combinación adecuada del conjunto de medios de apoyo para el propósito, debe ser encontrada.* (Arthur, 2009).

Es en este punto, donde la ciencia toma su rol más importante, pues es su estructura y construcción lo que va a permitir que los efectos se sintonicen en teorías y después en métodos que establezcan las condiciones pertinentes para su funcionamiento. *Los efectos más profundamente ocultos han sido descubiertos por los primeros adeptos, pero todo su descubrimiento requiere investigación sistemática. Requieren una acumulación de conocimientos y técnicas modernas para revelarse. Requieren métodos modernos de descubrimiento y recuperación que requieren, en otras palabras, la ciencia moderna.* (Arthur, 2009).

Este argumento requiere una aclaración, y es que, a lo que Arthur en realidad se refiere cuando habla de la sintonización de los fenómenos es a los efectos que estos generan o por los cuales se producen. Es decir, la correcta y coherente combinación de los efectos en forma de conocimiento acumulado, es lo que propicia la emergencia de las tecnologías, una vez que se ha descubierto la forma y los medios que los puedan articular, en el sentido de que, estos efectos corresponden a los mecanismos que hacen que los fenómenos sean de tal o cual forma; es decir, los mecanismos son aquellas “entidades abstractas” que hacen funcionar y permiten la presencia de los fenómenos, para que estos puedan ser comprendidos por lo seres humanos y convertirse en tecnologías a su disposición.

Un ejemplo servirá para aclarar aún más este punto. Pensando en un rayo, se puede ver que el rayo como tal es un fenómeno, pero está compuesto por diversos fenómenos naturales cuyos efectos son distintos. Los fenómenos en cuestión son: la luz producida, la electricidad estática contenida en él, el trueno.

Estos fenómenos perceptibles por el ser humano comprenden el fenómeno del rayo. Sin embargo, estos tienen efectos inherentes como son: el pulso electromagnético, el paso de la corriente eléctrica que ioniza las moléculas de aire, la onda de choque y la corriente eléctrica que calienta y expande rápidamente el aire.

En el caso del rayo, se logró descubrir que hay ciertos materiales que pueden conducir la corriente eléctrica, sin correr riesgos, al transferir iones del ambiente al material en cuestión; también se descubrió que esta corriente puede variar, lo que posteriormente se conoció como voltaje y se descubrió que tenía ciertos efectos que podían ser aprovechados en ciertos dispositivos o instrumentos y que estos podían satisfacer algunos propósitos. Según la historia del electromagnetismo estos fenómenos eran conocidos desde muy temprano en la historia de la humanidad, pero no fue hasta que se logró codificar sus efectos que se pudo trabajar más profundamente con ellos y lograr aplicaciones, dichas aplicaciones aparecen hoy en día en otra forma de conocimiento y son bastante utilizadas, por ejemplo, en el sector de eléctrico-electrónica.

Por lo tanto, lo que el ser humano logra codificar y hacer explícito a través de la ciencia es la utilidad que posiblemente puedan tener estos efectos. La combinación surge cuando se encuentran materiales y dispositivos, así como principios científicos codificados que permitan utilizarlos. *Los fenómenos son simplemente efectos naturales, y como tal existen independientemente de los humanos y de la tecnología... Un principio por el contrario es la idea del uso de un fenómeno con algún propósito y existe en el mundo de los humanos y por su uso.* (Arthur, 2009).

Cabe mencionar que en este ejemplo se presentan las diferentes formas en las que el conocimiento puede ser acumulado, estos tipos provienen de dos escuelas filosóficas principalmente, la empirista y la racionalista: *La tradición empirista sostiene esencialmente que todo conocimiento es derivado de la observación y la experiencia, que es, de las experiencias sensoriales humanas y la introspección. La tradición empirista también argumenta en favor del punto de vista en que la información solo se convierte en conocimiento una vez que*

*ha sido interiorizado por los individuos. La tradición racionalista afirma que hay una parte sustantiva de conocimiento humano absolutamente independiente de la observación. Conocimiento, dicen los racionalistas, puede ser obtenido por el puro razonamiento y por lo tanto la razón sería considerada como una fuente de nuevo conocimiento. Es obvio, en esta visión que el conocimiento producido por el razonamiento no necesariamente tiene que ser justificado por las experiencias sensoriales; mejor dicho, este puede ser justificado solo por razonamiento racional bien fundado en axiomas. (Corona, 2006)*

La idea de la combinación implica la transferencia y manipulación de conocimientos embebidos y utilizados por las personas, tanto en un mismo sistema como hacia otros subsistemas; por lo tanto, las tecnologías en su esencia son la interacción coherente de los efectos naturales, en forma de saberes y conocimientos científicos puestos a disposición del ser humano en algún dispositivo; siguiendo a Corona (2006) ya sea en memorias externas o internas, en tanto que ayudan al ser humano a comprender los mecanismos por los cuales las cosas (tecnologías) son y funcionan de determinada manera.

Es decir, nuestra concepción de tecnología comprende dos niveles; uno científico, que a su vez se compone de dos categorías: ciencia experimental y ciencia aplicada. Y otro tecnológico, que comprende la articulación de los principios conocidos en dispositivos y métodos que los ponen al alcance y disposición del ser humano.

Tomando en cuenta que las tecnologías emergen por la combinación y recombinación de los efectos que se han logrado codificar, a tal grado que puedan ser incorporados en dispositivos para el cumplimiento de algún propósito; analizaremos cuáles son las fuentes y entornos que propician y favorecen esta combinación.

En primer lugar, se considera que las tecnologías son el resultado de los esfuerzos y relaciones humanas; en tanto que son los seres humanos la única especie capaz de codificar y manipular los efectos de los fenómenos naturales y en tanto que estos se combinan para cumplir propósitos que satisfagan las necesidades humanas. En segundo lugar, veremos que hay obstáculos para

que la combinación y recombinación sea llevada a cabo, y estos obstáculos están determinados por las relaciones humanas en términos económicos, políticos y culturales. Es decir, hay factores exógenos a las tecnologías y estos están determinados por los rasgos socioculturales y económicos donde estas se desenvuelven.

Como ya se ha afirmado, el proceso por el cual se han logrado manipular e incorporar los efectos en las tecnologías que se conocen actualmente, es resultado de esfuerzos individuales o de grupos de personas dedicados a esta tarea. En este sentido, la ciencia ha sido fundamental para el éxito de este proceso, tanto en la codificación como cuando esta codificación no ha sido posible. Esto es porque las dos esferas de la ciencia, experimental y aplicada, se complementan entre si y apoyan otras esferas del proceso, como los conocimientos relacionados con la ingeniería. Sobre este punto hay una dicotomía entre, si la ciencia aplicada es ingeniería o no; sin embargo, esta dicotomía no será el foco de interés aquí, pero es importante aclarar que, por el momento, se consideran como dos esferas diferentes.

La ciencia experimental es fundamental para el conocimiento de los fenómenos, pues a partir de ella se pueden codificar y poner a disposición de la ciencia aplicada o los ingenieros, para los procesos de desarrollo. Pero también, es importante porque en la medida en que se va realizando se han logrado descubrimientos que no eran conocidos por los científicos o que no estaban previstos. De esta forma, la ciencia experimental ha dado pie a la aparición de descubrimientos novedosos y en algunos casos a efectos que no habían sido conocidos previamente. Cabe mencionar que la ciencia también se construye por medio de las combinaciones y recombinaciones de teorías, paradigmas y leyes. En el sentido de Kuhn, estas combinaciones se refieren a los refinamientos de los paradigmas y en la medida en que estos se van transformando cambian la forma en que se aborda, se piensa y se resuelve un problema determinado. Es importante tomar en cuenta el argumento anterior, ya que, dado que la ciencia proporciona los elementos y capacidades para entender y explicar los efectos, en la medida que esta avance, avanzara el

conocimiento sobre estos efectos y la posibilidad de utilizarlos más eficientemente.

Por su parte, la ciencia aplicada es vital para saber cómo es posible utilizar los efectos, cuyos mecanismos de acción se han logrado comprender. En la medida en que se busca una utilidad para las teorías y paradigmas científicos estos van mejorando en la resolución de los problemas planteados inicialmente, y también surgen modificaciones y descubrimientos al realizar esta actividad. La ciencia aplicada está estrechamente relacionada con la ingeniería, aquí se considera que la ciencia aplicada trabaja con las teorías y el conocimiento que se tiene de los efectos; mientras que la ingeniería se enfoca en el estudio de los materiales, instrumentos y dispositivos que hacen posible la utilización y manipulación de los efectos. De esta forma, ciencia aplicada e ingeniería son dos esferas del conocimiento formal que están estrechamente interrelacionadas y se retroalimentan.

Por lo tanto, cuando se habla de la emergencia de las tecnologías a través de la combinación; se tiene que considerar el rol que la ciencia y la ingeniería asumen, en tanto que el grado de las relaciones que se logren establecer entre estas, determinaran el nivel y complejidad de las tecnologías que surjan a partir su correlación.

Como se afirmó anteriormente existen factores exógenos que afectan, ya sea negativa o positivamente, el avance de los desarrollos científicos y la vinculación que pueda existir entre las distintas áreas del conocimiento. Estos factores exógenos son, el marco institucional, cultural y político en el que se desenvuelve la ciencia.

Comenzaremos analizando la esfera económica, aquí la importancia radica en hasta que medida las instituciones económicas y las relaciones de mercado que se establecen permiten el avance científico a partir de la combinación y recombinación.

Comenzaremos diciendo que hay dos dimensiones esenciales, una que corresponde a la presencia de los agentes (personas que han logrado cierto nivel de capital humano) que pueden realizar las combinaciones y; la otra que

corresponde a los mecanismos, generados por la política económica, por medio de los cuales los agentes interactúan para hacer factibles las combinaciones.

Cuando hablamos de la presencia de agentes, nos referimos estrictamente a que el sistema económico sea capaz de generar agentes con capacidades para hacer posible la combinación; es decir, que el sistema económico cuente con la capacidad para incrementar suficientemente sus stocks de capital humano. Considerando que, quizá la fuente más importante en la generación de capital humano es la escolaridad, el sistema tendrá que ocuparse de la formación de las personas que lo componen; es decir, en la medida en que la política económica se ocupe más por el establecimiento de un sistema educativo orientado a las ciencias e ingenierías, será posible que esa sociedad pueda utilizar la ciencia para construir nuevas tecnologías.

La otra dimensión corresponde a los mecanismos de interacción, esto es, a las reglas, leyes e incentivos del entorno ya que la emergencia de las tecnologías se ha explicado como un proceso sistémico y complejo. Entonces en la medida en que las leyes, reglas e incentivos de las instituciones sean accesibles para todos los agentes y en la medida en que estas propicien un ambiente favorable para la generación de capacidades y la interacción, crearan un sistema que se ocupe de la generación y aplicación del conocimiento.

El entorno sociocultural también es importante para la emergencia de las tecnologías, la cuestión es que las costumbres, creencias y rasgos culturales de las sociedades determinan en alguna forma sus objetivos; así, si una sociedad no se ocupa ni se preocupa por la generación de conocimiento, difícilmente avanzara en términos de innovación tecnológica y crecimiento económico.

Otro punto importante, es que estos rasgos socioculturales modifican la estructura política y económica y viceversa. Lo que se argumenta es que los mecanismos (reglas, leyes) pueden modificar el comportamiento de los agentes, pero también los agentes modifican estos mecanismos.

Como se puede apreciar, los argumentos planteados anteriormente tienen fuertes implicaciones de política, de los cuales podemos mencionar tres principales: a) la política económica debe orientarse a la creación de una economía basada en el conocimiento; b) las instituciones deben ser capaces de generar y establecer mecanismos de interacción coherentes; c) la política debe orientarse a cambiar el comportamiento de los agentes y hacer posible la acumulación de conocimiento y la factibilidad de los mecanismos que hacen posible la emergencia de las tecnologías.

En este apartado se ha expuesto brevemente como el conocimiento aporta el insumo esencial para la emergencia de tecnologías o innovaciones; cabe destacar que este conocimiento no puede, por sí solo, evocar tal emergencia, sino que, el mecanismo sugiere que tales conocimientos sean dispuestos y estén disponibles para que los seres humanos puedan procesarlos y utilizarlos para cumplir algún propósito; esto nos remite, a la presencia de un proceso creativo. En este sentido, el más claro ejemplo de la incorporación de conocimientos en el ser humano y el desarrollo posterior de los mismos a través del proceso creativo, es otorgado por la actividad científica.

También fueron expuestas las diferencias que existen entre las diversas ciencias y como cada una se enfoca en el desarrollo y utiliza conocimientos específicos. Pero también se intentó hacer evidente, que aun cuando las ciencias sean distintas y utilicen conocimientos distintos el ser humano ha sido capaz de utilizarlos, casi todos ellos, en procesos combinados que han dado como resultado la gran gama de tecnologías disponibles en la actualidad.

### **3.- EL CONCEPTO DE CAPITAL HUMANO Y SU UTILIDAD ECONÓMICA**

Como se ha visto en el apartado anterior el conocimiento ha sido fundamental en la emergencia de innovaciones y cambios tecnológicos; sin embargo, también es importante destacar que el conocimiento puede incrementarse y acumularse, pero aun cuando esta sea una posibilidad, la verdadera utilidad del conocimiento radica en que los seres humanos puedan disponer de él para cumplir algún propósito.

Así se llegó a la conclusión de que el conocimiento exhibe una ambivalencia pues este puede presentarse dentro y fuera del ser humano; es decir, el conocimiento puede ser acumulado en memorias internas, dentro de los seres humanos o; en memorias externas, como libros y actualmente dispositivos electrónicos. Al mismo tiempo, se dejó claro que las personas son los únicos seres vivos que pueden desarrollar conocimiento y desincorporarlo, en el sentido de que son ellos mismos quienes lo distribuyen y facilitan su disponibilidad en memorias externas.

Bajo esta premisa, este capítulo se concentra en describir las fuentes del capital humano y cuales son algunas de las dificultades teóricas que se presentan cuando este se considera como un insumo productivo en el cual se debe invertir. Se exponen algunos de los modelos propuestos por los pioneros del capital humano (Schultz, 1961; Becker, 1962; Mincer, 1981), en los cuales se demuestra que el análisis de la inversión en capital humano ofrece diferentes resultados en función de las fuentes de conocimiento que se consideren y de quien asuma los costos de financiamiento de esa inversión.

De esta manera, cuando el conocimiento es embebido en las personas y se utiliza con fines productivos es posible hablar de capital humano. El concepto de capital humano es de importancia en este trabajo; puesto que, se ha podido observar que aun cuando no constituye la variable endógena en los modelos de crecimiento, ha sido utilizado junto con el conocimiento como el insumo primordial en la producción de cambios tecnológicos, los cuales si constituyen la variable endógena de tales modelos. Nuestro argumento es que, siguiendo la noción de que los modelos de crecimiento endógeno hacen un intento por explicar el crecimiento por medio de la producción de sus insumos dentro del sistema mismo, consideramos que la variable endógena debería ser el capital humano, pues al ser él, el insumo para la emergencia de los cambios tecnológicos y las innovaciones; su producción debería formar parte de las decisiones de los agentes del sistema. Se ha visto que además de ser el insumo fundamental en la emergencia de nuevas tecnologías e innovaciones tiene efectos importantes en la productividad, tanto del capital como del trabajo

y de los factores en conjunto; así como, beneficios que se derivan de los spillovers que genera.

El concepto de capital humano ha sido utilizado por muchos teóricos del crecimiento para describir aquel factor del crecimiento que no se refiere únicamente al capital físico pero que tampoco es trabajo simple, como se utilizaba en los modelos de crecimiento neoclásicos. Teniendo en cuenta esto, se trata de esclarecer el concepto de capital humano y cuáles son las dificultades técnicas y teóricas para utilizarlo como una variable dentro del análisis económico.

Si bien no existe una única definición, el capital humano puede describirse en función de sus fuentes y su utilidad; así para Mincer (1981) *los análisis sobre el capital humano tratan con las capacidades adquiridas, las cuales son desarrolladas a través de la educación formal e informal en la escuela y en casa, y a través del entrenamiento, la experiencia y la movilidad en el trabajo.* (Mincer, 1981). Algunos teóricos, por ejemplo Becker (1962) ponen énfasis en solo una de estas fuentes para realizar el análisis económico del capital humano; es decir, para tratar de modelarlo, pues estas actividades afectan los ingresos reales futuros a través de los recursos embebidos en la gente.

Por otro lado, hay quienes (Schultz, 1961) consideran que el capital humano debe ser visto como algo más que inversiones derivadas de los gastos en cualquiera de las fuentes ya mencionadas. Así, Schultz (1961) considera además, que la inversión en capital humano es la más importante; puesto que exhibe efectos adicionales para el desarrollo de la economía y no únicamente mejora los ingresos salariales de los trabajadores a través de las mejoras en la productividad.

Becker (1962) agrega a las formas de inversión ya mencionadas la adquisición de información sobre el sistema económico. Para él, los tipos de inversión difieren en los efectos relativos sobre las ganancias y el consumo, en la cantidad de recursos típicamente invertidos, el tamaño de los rendimientos, y en la medida en la cual es percibida la conexión entre inversión y rendimiento. (Becker, 1962) Al mismo tiempo, considera que todos estos tipos de inversión

mejoran las habilidades físicas y mentales y de este modo aumentan las perspectivas de ingresos reales.

Cabe destacar que, para Schultz (1961) hay una gran diversidad de problemas derivados de cuestiones morales y filosóficas cuando se habla de capital humano, esto se debe principalmente a los argumentos de aquellos quienes consideran que poner recursos en las personas y tratar de obtener de ellas algún rendimiento, implica necesariamente una forma de esclavitud o cosificación del ser humano.

Sin embargo, Becker (1962) parece presentar un carácter más “objetivo” pues en su análisis no considera, en ningún caso, elementos que puedan estar relacionados con cuestiones morales, de hecho su principal preocupación es lograr incorporar cabalmente la noción de los rendimientos presentes a futuro en las inversiones realizadas en las personas, si bien es evidente que el entrenamiento en el trabajo tiene efectos en la productividad laboral, su preocupación es que estos efectos no han sido formalizados, ni incorporados en el análisis económico y mucho menos resueltas sus implicaciones. De esta manera los modelos que presenta Becker (1962) constituyen un esfuerzo para determinar quién y de qué manera se podrían distribuir los rendimientos derivados de las inversiones en capital humano; en este sentido, se puede considerar que su trabajo, aunque no toma en cuenta explícitamente las externalidades, si plantea una forma de internalizar los efectos de estas externalidades.

Existe una gran discrepancia al abordar teóricamente el capital humano, por un lado, Becker (1962) está considerando dichas inversiones tal y como si fueran inversiones en capital físico o financiero; sin embargo, hace algunas observaciones sobre la naturaleza diferente de la inversión en capital humano, pero la cuestión es que el capital humano es y solo es, en tanto que forma parte del ser humano. Siguiendo a Schultz (1961) esta forma en que se trata la inversión en capital humano, en realidad estaría haciendo de las personas objetos que pueden apropiarse e intercambiarse; sin embargo, si las personas invierten en sí mismas ellas se estarían convirtiendo en las dueñas de su propio capital y por ese hecho es aún más difícil considerar que tales

inversiones constituyen una forma de explotación. Además, se hace evidente la necesidad de considerar que en un contexto económico de cambios constantes, mientras más capital humano posea una persona tendrá más y mejores oportunidades de integrarse en tal sistema.

Por otro lado, como se ha mencionado antes, es evidente que el capital humano es un atributo inherente a las personas y al ser parte única y esencial de este, las posibilidades de ser apropiado o intercambiado serán limitadas, e incluso es posible afirmar que dependerán única y exclusivamente de sus propias decisiones, lo que al final tiene implicaciones sobre el análisis económico. Una de esas implicaciones es que ha permitido a los economistas tratar el trabajo como si fuera único y completamente separable de las otras formas de capital. Además, *[...] todo esto ha sido también conveniente en el análisis de la productividad marginal para tratar el trabajo como si este fuera solo un manojito de habilidades innatas que están completamente libres de capital.* (Schultz, 1961) Schultz (1961) considera que los valores y creencias de la sociedad también representan una limitante para considerar a los seres humanos como capital humano; es decir, con elementos que pueden convertirlos en una especie de bienes intercambiables. Por lo tanto; *[...] tratar a los seres humanos como riqueza que puede ser aumentada por la inversión va en contra de valores profundamente arraigados. Esto parece reducir al hombre una vez más a meros componentes materiales, algo parecido a la propiedad (en la esclavitud) Y para el hombre que se ve a sí mismo como un bien de capital, incluso si esta noción no ha perjudicado su libertad, puede verse degradado.* (Schultz, 1961)

Sin embargo, la postura anterior puede analizarse desde otra perspectiva, puesto que al invertir en sí mismos los seres humanos podrían ampliar su gama de posibilidades de elección, lo que de alguna forma podría mejorar su bienestar. La cuestión es, tomando en cuenta esta objeción, que los seres humanos no se perciben necesariamente como mercancías, pero al final son elementos que sirven, en términos marxistas, únicamente a la reproducción del capital, tal y como en el proceso de alienación.

En el modelo de crecimiento endógeno de Romer (1990), la acumulación de capital humano es medida a través de su productividad marginal; no obstante, esta forma de resolver el modelo, deja fuera del análisis los efectos que una mayor cantidad de capital humano tiene sobre la productividad de otros factores como el capital físico. Al mismo tiempo, esta forma de analizar el crecimiento repercute en las magnitudes de inversión y las posibles ganancias derivadas de ellas.

Siguiendo la definición de Mincer (1981), el capital humano no aparece como un factor aislado de los otros factores; es decir, el capital humano debe estar coordinado con el capital físico y de acuerdo con sus fuentes puede cambiar la estructura previa de mano de obra y capital humano; en este sentido, Parker (2012) considera al capital humano como las características adquiridas que hacen a los trabajadores más productivos. (Parker, 2012) Como se puede apreciar el capital humano sostiene más que una estrecha relación con el factor trabajo, pues no solo impacta la productividad que se puede obtener de este, sino que el trabajo puede ser convertido en capital humano.

Así, una región que invierta en capital físico nuevo pero que no cuente con el capital humano ni la mano de obra necesaria para operarlo, difícilmente obtendrá todos los beneficios posibles que se derivan de dicha inversión. Podrá explotar plenamente esa inversión, una vez que haya logrado hacer compatibles dichos factores, lo que necesariamente implica un proceso de aprendizaje, en el cual quizá el mayor costo sea el tiempo que se necesita gastar en tal aprendizaje.

Históricamente, la construcción del concepto de capital humano necesitó tomar en cuenta dos cuestiones fundamentales: la primera, fue la noción del concepto de capital con sus diferentes acepciones, así pues, fue posible discernir entre capital físico y capital humano; el segundo y no menos importante, fue considerar que el trabajo no es homogéneo.

*La falla para tratar explícitamente los recursos humanos como una forma de capital, como un medio de producción producido, como el producto de la inversión, ha fomentado la retención de la noción clásica de trabajo como una*

*capacidad para hacer trabajo manual requiriendo pocos conocimientos y destrezas, una capacidad con la cual, de acuerdo a esta noción, los trabajadores están dotados igualmente.* (Schultz, 1961) Esta concepción, repercute en los análisis neoclásicos y justifica la idea de que el trabajo es el factor que menos aporta al desempeño de las firmas o en términos agregados, del crecimiento, en estas teorías el trabajo es homogéneo y permite suponer que es adecuadamente remunerado de acuerdo a su productividad marginal.

Por otro lado, según los argumentos anteriores se afirma que el capital humano y la mano de obra no son la misma cosa; sin embargo, como se verá más adelante y como se plantea en algunos de los modelos analizados, las magnitudes de estas dos variables pueden cambiar con el tiempo, en función de las actividades que se realicen para desarrollar las capacidades de las personas, y estos cambios tendrán efectos importantes en los resultados del análisis económico.

Como se había argumentado, la forma de abordar los fenómenos económicos, en cuanto a rasgos ideológicos determinaran el carácter de los resultados del análisis, en este caso, ambos autores tratan el problema del capital humano a través de las inversiones; sin embargo, uno (Becker) tiene una perspectiva meramente económica, mientras que el otro (Schultz), aun cuando trabaja con elementos económicos trata también de considerar aquellos elementos de índole filosófica.

### **3.1 El capital humano y su relación con el crecimiento económico**

Hasta ahora, se ha expuesto la relación que sostiene el conocimiento con la emergencia de tecnologías y la estrecha relación entre el conocimiento y el capital humano. Ahora bien, si consideramos que el capital humano comprende a todas aquellas personas que integran un sistema económico y que han realizado esfuerzos por incorporar y asimilar conocimiento, podemos decir que; primero, el capital humano es esencialmente conocimiento y, segundo este es el que hace posible la emergencia de tecnologías e innovaciones, y cuando estas emergen provocan cambios en el sistema económico, los cuales son expresados en incrementos de la riqueza de ese sistema.

En un principio, teniendo en cuenta que el capital humano es esencialmente conocimiento, este podrá afectar el crecimiento económico cuando a través de sus aplicaciones sea capaz de provocar nuevas tecnologías o formas de producir; esto implica, que la estructura productiva de tal sistema económico transite de la producción de bienes cuya constitución no es demasiado compleja a bienes en los que tal constitución sea lo suficientemente compleja como para generar una ventaja en los mercados. *El crecimiento económico emerge del descubrimiento de nuevas recetas y la transformación de las cosas de configuraciones de bajo valor a configuraciones de alto valor.* (Romer, 1996) La cuestión que importa en este argumento es que esas transformaciones ocurren únicamente por la actividad de la mente humana.

Entonces, el capital humano se convierte en una variable clave en la explicación del crecimiento económico; aquí se analiza brevemente como se establece la relación entre el capital humano y el crecimiento, exponiendo algunos de los mecanismos por los cuales esta relación puede ser valiosa.

Es importante señalar que existe una divergencia, sobre la relación que sostiene el capital humano con el crecimiento económico. En este contexto se han realizado diversos trabajos empíricos basados en los modelos, como algunas especificaciones del modelo de Solow (1957) y los modelos de crecimiento endógeno, con la finalidad de evaluar su pertinencia, así como para establecer la magnitud en la que el capital humano afecta al crecimiento económico. Sin embargo, aquí se considera que tal divergencia en los resultados empíricos no es resultado de errores de especificación de los modelos, sino de la calidad de los datos estadísticos y de los problemas inherentes a la forma en que se puede medir el capital humano en términos agregados.

Los estudios que se han realizado sobre el impacto del capital humano en el crecimiento, sugieren que este si concede una aportación positiva, pero no se presenta de manera directa. Es decir, cualquier impacto que el capital humano tiene sobre el crecimiento, se presenta por diferentes vías. Como se verá más adelante estas pueden ser; a) cuando el capital humano produce cambios tecnológicos o innovaciones y afecta lo que en los modelos se considera el

nivel de la tecnología; b) cuando el capital humano favorece la absorción de capital físico; c) y sus aportes a los incrementos en la productividad de los factores.

En términos de crecimiento económico Mincer (1981) considera que siempre habrá una relación positiva entre el capital humano y el capital físico, así, la contribución del capital humano al crecimiento económico será mayor mientras mayor sea el volumen de capital físico y viceversa. (Mincer, 1981) La cuestión es que mientras mayor es el volumen de capital físico, los trabajadores tendrán que capacitarse o involucrarse en un proceso de *"learning by doing"* para poder utilizar dicho capital; tal cosa implica necesariamente un incremento en su capital humano, además mientras más capacitado este un trabajador para adaptarse al capital físico mayor será la productividad que resulte de utilizar dicho capital. Por otro lado, mientras más capital humano haya en un sistema económico mayores serán los incentivos para acumular capital físico.

El capital humano puede alentar la acumulación de otros factores necesarios para el crecimiento, particularmente capital físico. Incluso hay quienes sostienen, como Lucas (1990), que la cantidad de capital humano con que cuenta un sistema económico podría explicar los rezagos en la transferencia de capital físico de los países ricos a los países pobres.

Para Schultz (1961) hay una discrepancia entre el crecimiento de los insumos, o factores productivos y el relativo crecimiento del ingreso; en un principio, argumenta que los ingresos se han incrementado más y más rápidamente que los factores productivos, y considera que esto puede deberse a que no se toma en cuenta el capital total sino solo la parte correspondiente al capital físico.

Para resolver este problema Schultz (1961) considera que es necesario incorporar el capital total teniendo en cuenta las aportaciones realizadas por el capital humano; en este sentido, serían los incrementos de capital humano los que expliquen en mayor medida los incrementos del ingreso. Considera que los elementos que han originado esta discrepancia son; la presencia de rendimientos a escala y las grandes mejoras que han ocurrido en la calidad de los insumos, las cuales han sido omitidas por sus propias estimaciones. Su

concepción; sin embargo, es que este defecto y la omisión de las economías a escala son fuentes menores de la discrepancia entre las tasas de crecimiento de los insumos y el producto comparado con las mejoras en la capacidad humana que ha sido omitida.

Para Benhabib y Spiegel (1994) el efecto del capital humano sobre la productividad total de los factores se presenta por dos vías; una es cuando el capital humano impacta en la tasa de innovaciones o cambios tecnológicos, y la segunda cuando es capaz de acelerar la adopción de tecnologías externas. (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994), (Nelson, R. y Phelps, E., 1966))

Es necesario agregar que, todas las mejoras en el capital físico realizadas y posibles, necesariamente derivan de incrementos en la cantidad y calidad del capital humano; por lo que se tiene que tener en cuenta, que el capital físico es y siempre será un bien producido, cuyo principal insumo es el conocimiento de ciertos fenómenos físicos y la capacidad para manipular e incrustar estos fenómenos en artefactos. Así mismo, *[...] el crecimiento observado en la productividad del trabajo por unidad de trabajo es simplemente una consecuencia de mantener esa unidad de trabajo constante sobre el tiempo, aunque, de hecho esa unidad de trabajo ha estado incrementando como un resultado de la cantidad continuamente creciente de capital humano por trabajador.* (Schultz, 1961)

Los estudios que afirman que un nivel mayor de capital humano favorece la absorción de tecnologías externas, son aquellos realizados para demostrar la importancia que tiene el capital humano en la explicación de la divergencia de ingresos entre países.

En este sentido, Grossman y Helpman (1994) sostienen que para que surja una relación positiva y significativa entre el crecimiento y el capital humano se deben cumplir ciertas condiciones. Para ellos el análisis debe considerar el tamaño de las economías y la capacidad que tiene para acumular capital humano, en lugar de enfocarse en el tamaño de la población, pues de esta capacidad dependerá la tasa de crecimiento. Sin embargo, sostienen que una economía podría obtener mucha ventaja si cuenta con una gran población y

esta es primordialmente calificada; ya que, podrá realizar una gran cantidad de investigación industrial, porque la producción de I+D usara este factor intensivamente. Para ellos el peor escenario, se presenta cuando la economía se caracteriza por ser grande, pero al mismo tiempo está constituida por individuos descalificados. (Grossman, G. y Helpman, E., 1994) *Un país pobre tiende a crecer más rápido que un país rico, pero únicamente para una cantidad dada de capital humano; es decir, únicamente si el capital humano del país pobre excede la cantidad que típicamente acompaña el bajo nivel de ingreso per cápita.* (Barro, 1991)

Por otro lado, en algunos estudios se ha incorporado el efecto que puede tener el crecimiento del capital humano dado un nivel de tecnología. Así, Bils y Klenow (2000) sostienen que mientras más cercano este un país a la frontera tecnológica mundial más lenta será su tasa de crecimiento. (Bils, M. y Klenow, P., 2000) *Nótese que un país con un nivel de tecnología A muy bajo puede tener una tasa de crecimiento mucho más elevada que el líder por el efecto catch-up, mientras otros que están cercanos al líder, tanto en su nivel de tecnología como en los logros educativos, pueden de hecho tener tasas de crecimiento menores que el líder porque el efecto catch-up puede ser insignificante en relación a la brecha educativa.* (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994)

Cuando el capital humano entra como un factor de la producción las regresiones del crecimiento implicarían que el capital humano será parte de la tasa de crecimiento, pero para Benhabib y Spiegel (1994) la evidencia empírica no cumple ese resultado, por lo tanto introducen dos canales por los cuales el capital humano puede jugar un rol en el crecimiento económico, al ser analizado: uno es como un motor para atraer capital físico y como un determinante de la magnitud del residuo de Solow de un país. (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994)

Para la teoría del crecimiento económico es importante considerar las inversiones netas en capital humano, pero es necesario tener en cuenta que las inversiones disminuyen con el tiempo, 1) los beneficios declinan conforme los periodos de pago se acortan y 2) los costos de oportunidad del tiempo, el

cual es un insumo en el proceso de aprendizaje, probablemente aumenten conforme a la vida laboral. *El rendimiento de algunos tipos de habilidad es mayor si la gente es también más capaz. En este contexto, los incrementos en la cantidad de capital humano por persona tienden a llevar a altas tasas de inversión en capital físico, y por lo tanto, mayor crecimiento per cápita. Una fuerza secundaria es que más capital humano por persona reduce las tasas de fertilidad, porque el capital humano es más productivo en la producción de bienes y capital humano adicional más bien que en más niños.* (Barro, 1991) Si la afirmación de Barro (1991) sobre la relación entre la tasa de inversión y la fertilidad; es verdadera, entonces resulta evidente que la tasa de crecimiento de la población no necesariamente tiene un efecto positivo en el crecimiento.

Las ganancias pueden verse también por medio de la llamada curva de aprendizaje, o una reflexión del crecimiento de las destrezas con la edad y la experiencia conocida como “learning by doing” (Mincer, 1981)

Por otro lado, las barreras a la elección de la ocupación y la movilidad en el trabajo reducen las oportunidades de inversión en capital humano. La eliminación de tales barreras incrementa el crecimiento económico individual y en general la eficiencia en la asignación de recursos en la economía, por lo tanto del producto. A este respecto Schultz (1961) considera que el crecimiento económico requiere de una mayor migración interna de trabajadores para ajustarse a los cambios en las oportunidades de trabajo. (Schultz, 1961) Esta migración, es aquella derivada de las capacidades que las personas pueden adquirir para adaptarse a diferentes entornos de trabajo, en específico aquellas capacidades que permiten a las personas pasar de un sector productivo a otro. Estos movimientos necesariamente implican inversiones en los seres humanos y podría suponerse que son principalmente realizadas por y para los jóvenes, pues al tener más años por delante que los trabajadores de edades avanzadas pueden proporcionar un mayor rendimiento.

Se afirma esto siguiendo uno de los postulados de este trabajo, que el conocimiento incorporado en las personas, es la principal fuente de cambios tecnológicos e innovaciones, y que esta es la forma en la que la generación de conocimientos nuevos impulsa el crecimiento económico. En Mincer (1981)

esta misma idea subyace dentro del concepto de capital humano, cabe mencionar que aquí este no solo es considerado un factor de producción, por lo que sus actividades no implican únicamente la transmisión y la encarnación del conocimiento disponible en la gente, sino también la producción de nuevo conocimiento como fuente de las innovaciones y cambios tecnológicos que impulsan a los demás factores de producción. En este trabajo se considera que el capital humano comprende el cúmulo de conocimientos científicos y técnicos embebidos en las personas, así como aquellos que se derivan de la creatividad; con la única condición de que serán parte de una de las formas de capital siempre y cuando sean utilizados en el proceso de producción.

Como se puede apreciar el cambio tecnológico y la innovación aparecen aquí como dos fenómenos que no se pueden explicar por sí mismos, sino que requieren de las acciones del capital humano y su coordinación con otros factores físicos como el capital físico. Es posible, establecer una relación estrecha entre este concepto de capital humano y la forma en que emergen las tecnologías, tal y como se ha explicado anteriormente. En este caso, el desarrollo de capital humano implica los esfuerzos por hacer que las personas sean capaces de comprender los fenómenos naturales codificarlos y decodificarlos, de tal manera que puedan ser utilizados con fines prácticos o para alcanzar algún propósito. Así, es posible afirmar que las personas son las encargadas de realizar las combinaciones y re combinaciones de las que se habló anteriormente y en la medida en que se empleen recursos para lograr que estas personas acumulen y creen nuevos conocimientos y los utilicen con fines productivos, es posible hablar de capital humano.

### **3.2 El capital humano y el problema de la inversión**

Es evidente que el concepto de capital humano es exclusivamente económico; sin embargo, dada su naturaleza cuenta con otros aspectos que podrían conducir a confusión si no se delimita con claridad. Como se apreció anteriormente, esos aspectos son de interés y pueden ser abordados desde la perspectiva de otras disciplinas, como los casos expuestos por Schultz (1961).

La cuestión es que, al separar aquellos aspectos de los que lo convierten en un concepto exclusivamente económico, es posible llevar a cabo los análisis pertinentes que ayuden a explicar el crecimiento económico a partir de este concepto.

Así, el problema del capital humano puede analizarse con fundamentos económicos, una vez que es considerado, como un fenómeno inherente a los agentes, ya sean empresas o las personas mismas, en tanto que invierten recursos con la finalidad de adquirir conocimientos y capacidades productivas.

De ahí que, el problema se reduzca a determinar quién y de qué manera es capaz de realizar tales inversiones y analizar los efectos que se derivan de ellas. En este sentido, los análisis pueden conducir a diferentes resultados puesto que estos dependerán de quien realice la inversión, como se apropie de los beneficios y algunos otros aspectos.

Para Schultz (1961) la gran dificultad al realizar la estimación de la magnitud de la inversión se deriva de las dificultades para discernir entre los gastos en consumo y los destinados a la inversión. Estas dificultades pueden presentarse en dos categorías una conceptual y otra técnica. Para encontrar una estimación pertinente distingue entre tres clases de gastos: los gastos que satisfacen las preferencias de consumo y de ninguna manera mejoran las capacidades en cuestión, estos representan el consumo puro; gastos que mejoran las capacidades y no satisfacen ninguna preferencia de consumo subyacente, esto es pura inversión; y gastos que tienen ambos efectos. Esta forma de obtener una estimación de la magnitud de la inversión supone que no todos los ingresos son consumidos, sino que hay una fracción que puede destinarse a inversiones, en este caso en capital humano. Una cuestión relevante es que quizá las inversiones en capital humano resultan menos costosas y tienen la posibilidad de realizarse mediante gastos diferidos, al contrario de las inversiones en capital físico, que pueden resultar muy costosas y con enormes gastos inmediatos; el supuesto subyacente a esta afirmación es que podría ser cierta si se supone de antemano que tal inversión es realizada por personas individuales, quienes están interesadas y motivadas para mejorar su formación.

Por otro lado, estos análisis también se ven afectados por el ámbito en que se realicen las inversiones; es decir, ya que estas inversiones buscan la formación de las personas, es evidente que esta formación puede ser adquirida en diferentes esferas, como la escolaridad o el adiestramiento en el trabajo, entre otras. De igual manera, las distintas esferas pueden afectar el carácter de los resultados; no obstante, como se mostrara más adelante, de estos resultados podrían derivarse conclusiones generales.

Para los efectos de este trabajo, se considera que las personas que adquieren las capacidades y el adiestramiento no lo reciben de una única fuente; es decir, se considera que una parte es asociada a los conocimientos generales y que estos son principalmente proporcionados en las escuelas o instituciones de enseñanza, mientras otros conocimientos más específicos son principalmente proporcionados a través del entrenamiento en el trabajo. Así mismo se considera que el entrenamiento en el trabajo y aquel relacionado a conocimientos específicos requiere un mínimo de conocimientos generales previos para tener éxito. De esta manera, tanto el entrenamiento en el trabajo como la escolaridad son elementos complementarios de la generación de capital humano.

#### **a) Inversión en capital humano a través de la educación escolar**

Como ya se había mencionado, uno de los principales factores influyentes en la formación de capital humano es la educación escolar o educación formal; pero, ¿qué implicaciones tiene esta en el análisis económico? A continuación se intenta esclarecer este punto, pues como ya se había mencionado la educación escolar no es la única actividad capaz de generar capital humano.

La escolaridad difiere de las firmas en que, estas últimas proporcionan entrenamiento en conjunción con la producción de bienes. (Becker, 1962) Sin embargo, gran parte de los conocimientos requieren una estrecha vinculación entre ellos, como se vio en el capítulo anterior. Al mismo tiempo, siguiendo a Becker (1962), algunos tipos de conocimiento pueden ser mejor dominados si se relacionan simultáneamente a un problema práctico, otros requieren una especialización prolongada. Esto es, hay complementariedades entre el

aprendizaje y el trabajo y entre el aprendizaje y el tiempo. (Becker, 1962) La distinción que hace Becker (1962) puede resultar más clara, si se considera que aquellos conocimientos que requieren ser dominados a través de la práctica, son los que comprenden las ingenierías o las ciencias médicas, mientras que aquellas que requieren tiempo o una especialización prolongada podrían ser aquellas como los estudios de leyes.

Uno de los principales problemas al tratar el capital humano es el referente a los costos de producción y las ganancias derivadas de este; así por ejemplo, si un gobierno invierte en educación esto implica una actividad de no mercado en la generación de capital humano, por lo que será difícil determinar quién gana y quien pierde, mejor dicho quién se queda con las ganancias. Esto es porque las inversiones en capital humano siempre tendrán presentes spillovers, por lo tanto, es posible decir que la sociedad gana en general pero no es posible determinar la magnitud de esa ganancia, ni quién se queda con las ganancias directas. Esta percepción rompe los esquemas de la economía neoclásica, no tanto porque invalide sus teorías como porque esta noción es ajena a sus fundamentos ontológicos. Es decir, la afirmación de que las inversiones en capital humano y sus resultados son benéficos para la sociedad en su conjunto es ajena a la noción de individualismo y maximización, así como a los fundamentos de la utilidad marginal que son esenciales en esta corriente de pensamiento; además no permitiría evaluar, en términos económicos, tales inversiones.

Un hecho interesante es que los costos de la educación, en un ambiente privado, pueden ser analizados como un costo de oportunidad, en lugar de tomar en cuenta los gastos directos. La cuestión es, cuál es el efecto que tiene para el análisis considerar estos costos de educación como una inversión pública. A este respecto, se asume que los costos de la educación básica podrían ser soportados por el sector público, en tanto que, esta comprende, por derecho humano, el mínimo de conocimientos que debe adquirir una persona, tales como leer y escribir. Sin embargo, esta perspectiva no permitiría deducir la magnitud de las ganancias derivadas de esta educación; ya sea porque, los gastos de gobierno no necesariamente buscan beneficios o por problemas

derivados a las capacidades de aprendizaje de cada persona. Por otro lado, esta educación básica puede devenir en externalidades positivas que conduzcan a un mayor bienestar general.

Cabe destacar que hay diferencias entre las tasas privadas y sociales de la inversión en educación. Esta problemática se asocia a la forma en que pueden ser medidas, así para las tasas privadas se ha visto que es suficiente deducir los costos y rendimientos de los estudiantes después de impuestos, y los costos de escolaridad sin incluir el financiamiento público. Los costos sociales están basados en las ganancias antes de impuestos y los costos de escolaridad son los costos totales del sistema educativo relevante, independientemente de sus fuentes de financiamiento. Es en este contexto que surge el problema de la medición de las externalidades. Entre las externalidades que plantea Mincer (1981) se encuentran, ciudadanos responsables e informados, destrezas para comunicarse, comportamiento legal y estándares de salud. (Mincer, 1981) La existencia de estas externalidades llama la atención para la intervención pública, si no en asumir todos los costos si en desarrollar actividades de estímulo a la educación, como incentivos a las personas y empresas para inducir a las personas a tener un mayor interés en la formación.

Según esta premisa la inversión en capital humano, dependerá de las decisiones individuales de los agentes económicos; por supuesto, esta noción tendrá fuertes implicaciones sobre el análisis de la teoría del crecimiento, pues como se verá afectará los postulados así como los resultados. Sin embargo; es posible objetar esta premisa argumentando que estas decisiones también pueden realizarse en otros ámbitos. Es decir, dado que las externalidades de la formación constituyen beneficios posibles para un gran número de agentes, no es necesario que un individuo asuma todos los costos de su formación, como se verá más adelante, estos pueden ser compartidos con las empresas o bien reducidos mediante la intervención pública, a través de subsidios, por ejemplo.

Se tiene una vez más que, el carácter ideológico latente en los análisis económicos determinará los resultados y las implicaciones que este tiene. En este caso, suponer que los individuos son quienes asumen los costos de la

educación responde a dos proposiciones fundamentales para el “mainstream” de la economía. El primero es, que resuelve el problema de la medición de los rendimientos de las inversiones en educación; el segundo y no menos importante, es que al considerar el conocimiento y su consecuente incorporación en las personas como una forma de capital, hecho que lo convierte en un proceso meramente económico, permite que sean factibles las ideas del liberalismo, donde se propone la no intervención del estado en los procesos económicos.

Por otro lado, los costos de educación de los individuos resultan de las ganancias o pérdidas que un estudiante podría haber obtenido si él hubiese gastado en la formación académica en lugar de ser retribuido por alguna actividad productiva, este es un costo de oportunidad entre los posibles beneficios de estudiar o trabajar. Becker (1962) considera que el costo de oportunidad puede ser tomado en cuenta a partir de las ganancias que un estudiante pudiera recibir por empleos temporales, pero estos son costos indirectos.

Pero, la matrícula, libros, cuotas, transportación inusual y gastos en alojamiento, son otros costos más directos. Las ganancias netas pueden ser definidas como la diferencia entre las ganancias actuales y los costos directos de la escuela, las ganancias actuales pueden ser tomadas como la productividad marginal actual. Si el producto marginal fuera aquel que podría haber sido recibido, y se considera la suma de los costos directos y no percibidos y donde las ganancias netas son la diferencia entre las ganancias potenciales y costos totales. (Becker, 1962) Así, para Becker (1962) una manera coherente de analizar los efectos de la inversión en la educación formal es a través de las ganancias netas de los estudiantes.

Dejando a un lado estas consideraciones, se tiene que otra manera de analizar los costos de la inversión en capital humano es haciendo un símil con las inversiones en capital financiero a través de la tasa de interés, en este caso, se tiene que cumplir la condición de que dicha tasa tienda a cero. Esta tasa es llamada la tasa interna de retorno sobre la inversión, adicionalmente la escolaridad es alentada si la tasa interna de rendimiento sobre la escolaridad

excede la tasa sobre inversiones alternativas. (Mincer, 1981) Esto es debido a que una caída en la tasa de interés aleja a los inversionistas de los mercados de capitales, y por ende, habría más recursos para inversión productiva, de lo cual se podría asumir que puesto que el capital humano deriva en grandes rendimientos, por las mejoras en la productividad estos inversionistas podrían orientar sus recursos a la formación de dicho capital.

Se ha identificado que, bajo la lógica que rige el mundo económico esta tasa puede ser poco funcional, pues hay que tener en cuenta que aun cuando los rendimientos de la inversión en educación sean mayores implican un proceso que toma largo tiempo, por lo que es factible que los inversionistas prefieran orientarse a otras formas de inversión aunque estas tengan menores rendimientos, pero cuya rentabilidad podría obtenerse en periodos de tiempo más cortos.

Uno de los beneficios directos de tener una educación mayor, es que en el ámbito laboral los trabajadores con mayor nivel educativo reciben generalmente mejores salarios, esto se debe al supuesto de que mientras mayor educación tienen los trabajadores mayores son sus destrezas y productividad. En este caso, cuando no existen barreras a la oferta, los salarios diferenciales se trasladan a una tasa de rendimiento comparable con aquellas sobre inversiones alternativas en humanos u otras. Los incrementos en la demanda que favorecen más a los trabajadores educados suben la tasa de rendimiento de la escolaridad, induciendo el crecimiento de la matrícula hasta que el rendimiento creciente sea reducido hasta el nivel de equilibrio. El crecimiento autónomo de la oferta, sin cambios en la demanda, reduce la tasa de rendimiento de la educación y se hace a si misma limitante. (Mincer, 1981)

Si existiesen barreras financieras y sociales a la educación más fuertes que en otros campos de la inversión, la tasa de rendimiento de la educación excederá la tasa de capital físico. (Mincer, 1981) Estas barreras pueden reducirse por el incremento de los ingresos familiares o por la política pública, este hecho puede resultar contradictorio, pues el crecimiento de los ingresos familiares generalmente depende del incremento del nivel de salarios y este responde a los incrementos en la productividad del trabajo que, en última instancia, están

asociados a una mayor acumulación de capital humano; de otro modo, estos ingresos crecerían únicamente por las acciones de la intervención pública a través de políticas de apoyo al ingreso familiar, como los subsidios.

Como se mencionó más arriba, las ganancias derivadas del capital humano pueden observarse en función del nivel de salarios ganados por aquellas personas que realizan inversiones en dichas actividades; así es posible decir, que existe una relación positiva entre las inversiones en capital humano y las ganancias derivadas de este. Pero al considerar únicamente estas ganancias, quedan fuera los incrementos en la productividad de otros factores estrechamente asociados al capital humano, tales como el capital físico; así como los efectos benéficos para la sociedad en su conjunto, las externalidades, que en términos más generales están estrechamente relacionados a las variables de desarrollo.

Cabe mencionar que no solo la acumulación de capital humano es importante para determinar el nivel de ganancias, sino que estas también dependerán de su utilización. Es importante recordar que el capital humano no puede verse como un factor de producción aislado sino que tiene dos implicaciones muy fuertes; la primera es que debe estar coordinado con el capital físico, solo de esta manera será posible incrementar la productividad de ambos factores. Por otro lado, la relación que guarda con la mano de obra simple, aquí es posible afirmar que mientras más capital humano se desarrolle disminuirá la cantidad de mano de obra simple, hay que tener en cuenta que este último factor agrega muy poco al crecimiento económico.

Como se pudo apreciar, el enfoque del cual se parte para realizar el análisis determina el carácter de los resultados que se pueden obtener. Al parecer la principal dificultad al tratar la educación escolar como fuente de capital humano es, si los costos de tal inversión los debe asumir el sector público, las empresas o las personas de manera individual. El hecho es que, es mucho más fácil analizar los rendimientos de tal inversión suponiendo que estas son realizadas de manera individual o por las empresas, pues al final son estos dos agentes quienes recuperan directamente las ganancias de tal inversión. Pero aquí se considera igualmente válida la objeción de que las inversiones en la educación

escolar presentan externalidades positivas que repercuten en la sociedad en su conjunto y solo por este hecho no debería pensarse que el financiamiento público es negativo o afecte de manera negativa los procesos económicos.

#### **b) El adiestramiento en el trabajo como fuente de capital humano**

El concepto de capital humano presenta dos connotaciones importantes para el análisis económico. Como se ha visto, es central para explicar el proceso de crecimiento a nivel macroeconómico; por otro lado, a nivel microeconómico las características y estructura del capital humano son de gran ayuda para explicar las diferencias en los niveles de ingreso, así el problema de la distribución del ingreso puede ser explicado en función de la cantidad y capacidad de acumulación de capital humano, tanto en países, como por sectores, regiones y personas.

Desde la perspectiva más ortodoxa de la economía neoclásica, la distribución del ingreso no representa un problema de índole económica. Por lo tanto, aceptar el argumento anterior, podría explicar aproximadamente porque el capital humano no había tenido relevancia en los desarrollos teóricos dentro de esta escuela y porque ha sido tratado bajo una perspectiva en extremo abstracta, tal y como si se tratara de cualquier otro factor productivo.

Volviendo a una de las cuestiones centrales del análisis del capital humano, se debe puntualizar si estas actividades implican costos deliberados, y si pueden analizarse como decisiones económicas públicas o privadas. Para Mincer (1981), el costo de la adquisición de capital humano es una inversión siempre y cuando, la producción y los beneficios del consumo de estas actividades se acumulen principalmente en el futuro, y sean en su mayor parte durables. A este respecto, Becker (1962) plantea un modelo en el cual el capital humano se percibe como una inversión, la cual proporciona rendimientos a futuro y a partir de estos se determina la cantidad y rendimiento de tal inversión. Posteriormente se hará un análisis más profundo de las implicaciones del capital humano en tanto que siempre requiere tiempo, tanto para su generación como para su acumulación y consecuentemente para poder derivar los beneficios futuros.

El análisis de la inversión sigue el modelo presentado por Becker (1962) quien considera a la formación en el trabajo como la mejor fuente para determinar la cantidad de inversión, esto es porque al ser realizada en el trabajo tal inversión puede ser considerada como un costo al contrario de las inversiones realizadas en instituciones de enseñanza, y de esta manera, será posible determinar la cantidad de inversión y la magnitud de las ganancias derivadas de ella. Al mismo tiempo esta visión permite asumir que tales inversiones pueden ser realizadas por las empresas como por los individuos, en función de sus perspectivas de obtener mayores ingresos en el futuro.

Al asumir el entrenamiento como un costo, este constituye un valor atribuido al tiempo y esfuerzo de adiestramiento (de quien enseña) y el equipo y materiales usados. Se asumen como costos puesto que estos recursos podrían haber sido utilizados en la producción actual sino fueran usados para aumentar el producto futuro. Al mismo tiempo, Becker está considerando las diferencias entre los sectores industriales y los consecuentes requerimientos de capacidades distintas. La cantidad gastada y la duración del periodo de entrenamiento dependen parcialmente del tipo de entrenamiento, parte en las posibilidades de producción, y parte en la demanda por diferentes destrezas. (Becker, 1962)

Becker plantea un modelo de rendimientos de la inversión en capital humano, en su forma más general se asume competencia perfecta en los mercados de trabajo y de producto, así como una contratación por tiempo determinado para los empleados. Según estos supuestos, en ausencia de entrenamiento en el trabajo la tasa salarial estaría dada para la firma y sería independiente de sus acciones. Las firmas maximizadoras estarían en equilibrio cuando los productos marginales igualen los salarios, esto es, cuando los ingresos marginales igualen los gastos marginales. (Becker, 1962) Esta será la primera condición de equilibrio, y como se puede apreciar se deriva de los análisis neoclásicos, donde los factores son retribuidos de acuerdo a su productividad marginal, en este caso las condiciones laborales entre el presente y el futuro no serán tan importantes puesto que se ha supuesto que los trabajadores son

contratados para un solo periodo y en el futuro los salarios y productos marginales serán independientes del comportamiento actual de la firma.

Esta condición se altera al considerar el entrenamiento en el trabajo y la conexión creada de este modo entre los ingresos y gastos presentes y futuros. (Becker, 1962) Es decir, teniendo en cuenta un periodo inicial el entrenamiento tendrá dos implicaciones una relativa a los costos y otra relativa a los beneficios, en principio en el periodo actual el entrenamiento aumentara los gastos y los ingresos serán menores; por lo tanto los beneficios percibidos por la empresa dependerán de si el entrenamiento aumenta suficientemente los ingresos futuros o reduce suficientemente los gastos. Aquí, será necesario que los salarios no sean iguales a los gastos; y que los ingresos no sean iguales a la productividad máxima posible, además los gastos e ingresos durante todos los periodos serian interrelacionados. Las condiciones de equilibrio se pueden generalizar sustituyendo las igualdades anteriores por la igualdad entre los valores presentes de ingresos y gastos. Para ello, es necesario considerar en cada periodo una tasa de descuento del mercado (exógena). De esta manera, la condición de equilibrio para cada periodo implica que los valores presentes del flujo de producto marginal y de salarios sean iguales.

Si entrenamiento estuviera presente únicamente en el periodo inicial, los gastos de este periodo serían iguales a los salarios más los desembolsos en el entrenamiento, y los gastos de los periodos siguientes mantendrían la igualdad únicamente con los salarios, mientras que los ingresos en todos los periodos igualarían a los productos marginales.

Para medir el rendimiento de la firma por proveer el entrenamiento, Becker (1962) toma en cuenta los desembolsos, de tal forma que sea posible definir un término<sup>5</sup> que exprese los excedentes de los ingresos futuros sobre los desembolsos futuros (G). Por otro lado, para tomar en cuenta el tiempo gastado en el entrenamiento, define un costo de oportunidad entre lo que podría haberse producido y los que se ha producido. Por lo tanto, define la suma de los costos de oportunidad y los desembolsos por entrenamiento por

---

<sup>5</sup> En el modelo este término se expresa con G, y la ecuación resultante es la que determina los excedentes de los ingresos futuros sobre los desembolsos futuros.

medio de una  $C$ . Por lo tanto, la diferencia entre el rendimiento y el costo de entrenamiento corresponde a la diferencia entre  $G$  y  $C$ .

De esta manera, el producto marginal igualaría los salarios en el periodo inicial siempre que los rendimientos sean iguales a los costos. Así, se establece una relación directa entre las variaciones de los salarios y el rendimiento respecto a los costos; es decir, los salarios serían mayores en tanto que el rendimiento fuera mayor que los costos y viceversa, en el primer caso un incentivo para invertir en capital humano. Becker considera que un equilibrio completo requeriría la igualdad entre los rendimientos y los costos de una inversión y no solo la igualdad entre producto marginal y salarios, esta última relación implica la igualdad entre  $G$  y  $C$ , y que el producto marginal iguale a los salarios en el periodo inicial, lo que excluye los desembolsos y por lo tanto no habría manera de definir el incentivo para la inversión.

La noción del entrenamiento en el trabajo tiene diferentes acepciones, para Becker este puede llevarse a cabo en dos formas, una general y una específica, cada una con sus propias implicaciones.

En el entrenamiento general las firmas que podrían proveer el adiestramiento se enfrentan a salarios determinados por los productos marginales en otras firmas, estos subirían la futura tasa salarial en aquellas firmas que provean entrenamiento general; pero estas firmas podrán capturar algo de los rendimientos del entrenamiento únicamente si su productividad marginal sube más que sus salarios. En un escenario de entrenamiento perfectamente general, los productos marginales subirían en el mismo grado para todas las firmas, de esta manera, las tasas salariales incrementarían en la misma cantidad y las firmas que provean el entrenamiento no podrán capturar ningún rendimiento, lo que limita sus incentivos para invertir en capital humano. Cabe señalar que, el entrenamiento general es definido en términos del incremento del producto marginal, pero al ser general las personas adquieren capacidades que podrían ser utilizadas de manera indistinta en todas las firmas.

La afirmación anterior no tiene sentido para las empresas racionales que enfrentan un mercado de trabajo competitivo; amenos los costos de tal

entrenamiento sean asumidos por las personas mismas, quienes estarán complacientes de asumir tales costos dada la expectativa de incrementar sus salarios futuros. Por lo tanto, la lógica conduce a considerar que los costos y rendimientos del entrenamiento general deberán ser soportados por los aprendices. Bajo esta condición, los empleados asumirían los costos del entrenamiento general recibiendo salarios por debajo de su productividad actual.

Se podría argumentar que una definición realmente neta de la productividad marginal se obtiene al restar los costos de entrenamiento del producto marginal bruto, la cual debe igualar los salarios incluso para los aprendices. Las ganancias durante el periodo de entrenamiento serían la diferencia entre un ingreso o flujo a plazo, el potencial producto marginal y un capital o stock a plazo, y costos de entrenamiento, de tal forma que el capital y las cuentas de ingresos, estén estrechamente entremezcladas, con cambios en cualquiera de los salarios que afecta. Las ganancias de las personas recibiendo entrenamiento en el trabajo serían netas de los costos de inversión, lo cual resta todos los costos de inversión de las ganancias brutas. (Becker, 1962)

Becker usa las convenciones usadas en el análisis de los bienes de capital para medir el capital humano, pero considera que la principal diferencia entre ambos, es el patrón del tiempo de depreciación. En este caso la depreciación de los bienes de capital tiene la característica de igualar su cambio en valor durante cualquier periodo; pero en el caso del capital humano se requiere que los costos del entrenamiento sean deducidos de las ganancias durante el periodo en que este se proporciona, por lo que, al contrario de los bienes de capital, el valor económico del aprendiz incrementaría antes que decrecer con el tiempo. Es interesante destacar que para Mincer (1981) el capital humano al igual que otros factores de producción está sujeto a cierto grado de depreciación, que se puede observar por el deterioro de la salud y la erosión u obsolescencia de las destrezas.

Por otro lado, las firmas maximizadoras de ingresos en mercados de trabajo competitivos no pagarían los costos del entrenamiento general y pagarían personas entrenadas al salario de mercado. Sí, no obstante, los costos de

adiestramiento fueran pagados, muchas personas buscarían adiestramiento, pocos renunciarían durante el periodo de entrenamiento, y los costos de trabajo serían relativamente altos. Las firmas que no pagaron personas adiestradas al salario de mercado tendrían dificultades para satisfacer sus exigencias de habilidades, y también tenderían a ser menos rentables que otras firmas. Las firmas que pagan por el adiestramiento y menos que los salarios de mercado por las personas adiestradas, tendrían lo peor de ambos casos, atraerían demasiados aprendices y muy pocas personas adiestradas. (Becker, 1962)

Una última observación sobre el entrenamiento general es que, las firmas que provean tal entrenamiento proporcionarían economías externas a otras firmas, puesto que una vez que las personas adquieren las capacidades es difícil obligarlas a quedarse en la empresa y por lo tanto la firma no tendrá mecanismos para apropiarse de las capacidades que dicha persona ha adquirido. Es decir, las habilidades no pueden contar con derechos de propiedad, al menos no para las firmas que las desarrollan; así los derechos de propiedad de las habilidades se crean de manera automática, en tanto que estas no pueden ser utilizadas sin el permiso de las personas que las poseen. Sin embargo, este derecho de propiedad justifica la noción de que tales inversiones deben ser realizadas por las personas más que por las firmas.

El entrenamiento específico, como su nombre lo indica comprende aquel que es capaz de generar capacidades que podrían ser utilizadas únicamente por la firma que lo proporciona; es decir, este incrementaría la productividad marginal solo para aquellas firmas que lo proporcionen, pues este no tiene efectos directos en la productividad de los aprendices que pueda ser útil para otras firmas.

Este tipo de entrenamiento puede ser aplicado para explicar algunas diferencias entre sectores; pues evidentemente cada sector requiere capacidades específicas para incrementar su productividad. Es necesario señalar que, como se señaló anteriormente, las capacidades que las personas pueden adquirir ni son completamente específicas ni completamente generales y tampoco proporcionado solo mediante la escolaridad ni solo a través del adiestramiento en el trabajo; sin embargo, al considerar las diferencias de los

sectores, es posible decir que el entrenamiento que demandan es exclusivamente proporcionado como adiestramiento en el trabajo.

El efecto de la inversión en los empleados sobre su productividad en otra parte, depende de las condiciones del mercado así como de la naturaleza de la inversión. (Becker, 1962) El análisis resulta más claro, al considerar que las firmas que proporcionan el entrenamiento específico se desempeñan en un contexto de mercados imperfectos, esto es porque de esta manera es más sencillo justificar que los rendimientos derivados de esas inversiones son efectivamente recaudados por las firmas que las realizan.

Una firma que proporciona entrenamiento específico, puede verse también como una que demanda trabajadores con esas capacidades específicas; así, los trabajadores que sean entrenados dentro de la firma y aquellos que cuenten con capacidades específicas similares, solo podrán ser empleados en esta, tales firmas cuentan con las características de un monopsonio.

Los monopsonistas muy fuertes podrían estar completamente aislados de la competencia de otras firmas, y prácticamente todas las inversiones en su fuerza laboral serían específicas. Por otra parte, las firmas en mercados laborales extremadamente competitivos enfrentarían un constante temor de allanamiento y tendrían menos inversiones específicas disponibles. (Becker, 1962) Según esta afirmación, una empresa monopsonica necesariamente contara con mayores incentivos para realizar inversiones en entrenamiento específico.

Si todo el entrenamiento fuera específico, el salario que un empleado podría obtener en otra parte sería independiente de la cantidad de adiestramiento que él ha recibido. Uno podría argumentar plausiblemente que, el salario pagado por las firmas sería también independiente del entrenamiento. Si es así, las firmas tendrían que pagar los costos de entrenamiento, pues los empleados no racionales pagarían por entrenamiento que no lo beneficia. Las firmas reunirían los rendimientos de tal entrenamiento en la forma de grandes beneficios, resultado de la mayor productividad y el entrenamiento sería proporcionado cuando los rendimientos fueran al menos más grandes que los costos. A largo

plazo el equilibrio competitivo requiere que el valor presente de los rendimientos sea exactamente igual a los costos. (Becker, 1962)

Si se sostiene que la igualdad entre la productividad marginal y los salarios permanece cuando se considera el entrenamiento específico, surgen dos objeciones que pueden aclarar este punto.

La primera es que la igualdad entre productividad marginal y salarios en el periodo inicial implica oportunidad, no el producto marginal actual. Los salarios serían mayores que el producto marginal actual si alguna productividad fue percibida como parte del programa de adiestramiento. El segundo es que, aun si los salarios igualaron el producto marginal inicialmente, serían menores en el futuro porque las diferencias entre los productos marginales futuros y los salarios constituyen el rendimiento del entrenamiento y son recolectados por la firma. (Becker, 1962) Estos resultados se derivan del supuesto de que las firmas asumen todos los costos y se apropian de los rendimientos.

Sin embargo, tanto las firmas como los trabajadores pueden incurrir en pérdidas cuando asumen los costos del entrenamiento específico. Estas pérdidas son resultado de la rotación laboral; es decir, mientras mayor sea la rotación, menores serán los incentivos para que cualquiera de los dos agentes invierta.

El hecho es que, si un trabajador que ha sido adiestrado con recursos de la firma decide abandonar el empleo una vez finalizado el periodo de entrenamiento o en un periodo posterior demasiado corto, la firma será incapaz de al menos recuperar los rendimientos de tal inversión. Si el trabajador es quien asume los costos y por alguna razón la empresa lo despide, la empresa no será capaz de aprovechar los beneficios de la inversión, ni el trabajador será capaz de recuperar los rendimientos. Se tiene que tener en cuenta que como se trata de entrenamiento específico este solo incrementará la productividad de la industria para la cual se realice, así aunque el empleado emprenda la búsqueda de otro trabajo, bajo el contexto de monopsonio, tendrá que realizar una nueva inversión en otro lugar. La firma enfrenta un problema similar al intentar satisfacer sus exigencias de habilidades se verá limitada pues, pues bajo el

mismo contexto, la presencia de economías externas será nula; es decir, no podrá aprovecharse de trabajadores adiestrados en otra firma, y ella tendría que asumir nuevamente los costos del entrenamiento.

Este punto se aclara comparándolo con el contexto de competencia perfecta, en tal situación los salarios y los productos marginales se igualan, y como las firmas y los trabajadores son tomadores de precios los salarios y los productos marginales serán iguales en cualquiera de las firmas, de esta manera no hay motivos para la rotación.

En otras palabras, una firma es dañada por la partida de un empleado entrenado porque no podría obtenerse un empleado igualmente rentable. De la misma forma, un empleado quien paga por el entrenamiento específico sufriría una pérdida siendo despedido porque no podría encontrar un trabajo igualmente bueno en otra parte. (Becker, 1962)

Las firmas que pagan por el entrenamiento específico podrían tener en cuenta la rotación, simplemente obteniendo un rendimiento suficientemente grande de aquellos que se quedan en la firma en contrapeso de las pérdidas de aquellos que se van. Sin embargo, las firmas tienen la posibilidad de enganchar a sus trabajadores específicamente adiestrados, reconociendo que la oferta de mejores salarios reduce la posibilidad de abandono. Aquí surgen dos cuestiones, una es que, si se ha considerado que la firma se desempeña en un contexto de monopsonio y el entrenamiento es específico, los trabajadores deberán percibir una expectativa de mayores salarios en otras firmas como para querer moverse y asumir nuevamente los costos del entrenamiento, claro está, a menos que las otras firmas asuman tales costos y prometan mejores salarios. Por otro lado, teniendo en mente el mismo contexto la oferta de mejores salarios, suponiendo que la firma asume los costos del entrenamiento, provocara un incremento en la oferta de aprendices, situación que al final tendrá que ser controlada, provocando una especie de desempleo involuntario. La solución propuesta por Becker (1962) a estas situaciones es que tanto las firmas como los trabajadores compartan los costos de la formación y los rendimientos derivados de ella.

Los efectos de la rotación en el adiestramiento específico pueden contrastarse con sus efectos en el adiestramiento general. Las firmas racionales pagan a los empleados adiestrados generalmente el mismo salario y a los empleados adiestrados específicamente un salario más alto que el que podrían obtener en otro lugar. (Becker, 1962) De esta manera la firma obtiene una pequeña garantía de que el empleado adiestrado específicamente permanecerá en la empresa.

El adiestramiento específico, al contrario del general, produciría ciertos efectos externos, las firmas evitarían las renunciaciones por la captura de los rendimientos completos sobre los costos pagados por ellas, y los despidos harían lo mismo para los empleados. Estas son des-economías externas impuestas sobre los empleados o empleadores de las empresas proporcionando el entrenamiento, no economías externas resultantes de otras firmas. (Becker, 1962)

Un hecho relevante es que, dado que se ha visto que los empleados específicamente adiestrados cuentan con menos incentivos para desocupar, y las firmas tendrán motivos para evitar despedirlos, en comparación con los trabajadores con adiestramiento general, se puede deducir que las tasas de desocupación y despido estarán inversamente relacionadas a la cantidad de adiestramiento específico. De manera más general, también podría argumentarse que estas tasas dependerán del poder de monopsonio de las firmas; sin embargo, un análisis sobre el efecto del poder de monopsonio, en términos de capital humano, sobre el bienestar de la economía en su conjunto queda fuera del alcance de este trabajo.

Otro hecho que se tiene que tomar en cuenta, es el de los efectos en las variaciones de la demanda por productos de las firmas que proporcionan el adiestramiento.

Cuando una firma experimenta una caída en la demanda, relativamente pocos trabajadores con entrenamiento específico serían despedidos, aunque solo sea porque inicialmente su producto marginal resulto mayor que su salario. Si la caída fuera permanente, todos los trabajadores serían despedidos cuando su producto marginal llegue a ser menor que su salario y todos aquellos

despedidos tendrían que encontrar trabajo en otro lugar. Si la caída fuera temporal, los trabajadores específicamente entrenados no podrían ser despedidos aun cuando su producto marginal fuera menor que su salario porque la firma sufriría si ellos toman otro trabajo. La posibilidad de que tomen otros trabajos estaría inversamente relacionada y, por lo tanto, su posibilidad de ser despedidos sería positivamente relacionada al grado de su propia inversión en adiestramiento. (Becker, 1962)

Se pueden hacer un análisis similar, cuando se observa un incremento en los salarios en otras firmas. En este caso, los trabajadores específicamente adiestrados no tendrían incentivos suficientes para moverse aun con tales incrementos salariales, esto es porque los trabajadores con adiestramiento específico reciben inicialmente salarios más altos que en otras firmas. Para que tales trabajadores se sientan motivados para cambiar de empleo, el aumento de los salarios en otras firmas tendría que ser mayor que la diferencia inicial.

Existen otras formas en que los trabajadores con adiestramiento específico pueden sentirse motivados a permanecer en la firma y con los cuales las firmas pueden tener mayores incentivos para evitar los despidos. Uno de ellos, son los contratos laborales a largo plazo, en tales contratos ambas partes pueden verse comprometidas una con la otra para mantener la relación laboral, y en este sentido, ambos podrían llegar a obtener todos los beneficios derivados del dicho entrenamiento.

Así mismo, las mejoras en la salud también incrementan la cantidad de capital humano. Siguiendo a Becker (1962), una caída en la tasa de mortalidad en las edades para trabajar puede mejorar las perspectivas de ganancia extendiendo el periodo durante el cual las ganancias son recibidas; una mejor dieta agrega resistencia y aguante, y por lo tanto la capacidad de ganancia; o una mejora en las condiciones de trabajo (altos salarios, recesos y demás) podría afectar la moral y la productividad. (Becker, 1962)

En este caso, las inversiones para mejorar la salud de los trabajadores no solo es competencia de las firmas, aquí los gobiernos también podrían tomar parte

en el asunto garantizando mejoras en los servicios de salud, así como programas de prevención.

Las firmas pueden invertir en la salud de los empleados a través de exámenes médicos, comidas, u orientándolos lejos de las actividades con altas tasas de mortalidad y accidentes. Una inversión que aumenta la productividad en muchas firmas al mismo grado sería una inversión general y tendría el mismo efecto que el entrenamiento general, mientras que una inversión que incrementa más la productividad en las firmas que la realizan sería una inversión específica y tendría los mismos efectos que el entrenamiento específico. (Becker, 1962)

El análisis de Becker (1962) muestra como los costos totales, las tasas de rendimiento, y el periodo de inversión puede ser estimado solo por la información sobre las ganancias netas; y por lo tanto, como el efecto sobre las ganancias de un cambio en la cantidad invertida puede ser distinguido empíricamente por el efecto de un cambio en las tasas de rendimiento. (Becker, 1962)

En este apartado se han presentado los enfoques de Schultz (1961), Mincer (1981) y Becker (1962), en un intento por comprender las dificultades teóricas y metodológicas al abordar el concepto de capital humano. Como se pudo apreciar los enfoques parecen algo distantes entre sí; no obstante, estos autores concuerdan en que las fuentes del capital humano no se limitan únicamente a la formación escolar o el adiestramiento en el trabajo, sino que existen otras que son igualmente importantes, como las mejoras en la salud, o la movilidad; la cuestión es que es más difícil encontrar estimaciones pertinentes para determinar sus efectos e implicaciones económicas.

Por otro lado, parece haber consenso en que el principal problema es la manera en que se puede determinar quién se queda con las ganancias y su magnitud.

Se pudo apreciar que la discusión de quien debe asumir los costos de la formación de las personas, puede escapar a los aspectos meramente económicos, como Schultz (1961) propone, hay elementos para pensar que

tales inversiones tienen un sentido perverso, pues al final haría de las capacidades de los individuos y por lo tanto a las personas, simples objetos que se pueden intercambiar en un mercado.

Pero también, para efectos económicos, tales inversiones pueden mejorar la calidad de vida de las personas en el sentido de que con mayores capacidades pueden mejorar su nivel de ingresos.

Por otro lado, bajo el análisis de Becker (1962) se ha visto que los resultados entre la escolaridad y el adiestramiento en el trabajo parecen no ser muy distintos, salvo en condiciones muy específicas, pero que al final tienden al mismo resultado. Independientemente de si todos los costos o solo los costos indirectos son restados de las ganancias potenciales, la escolaridad tendría el mismo tipo de implicaciones que el entrenamiento general en el trabajo. (Becker, 1962) Una explicación para estas conclusiones, es que Becker no compara exactamente entre las inversiones en educación escolar y el adiestramiento en el trabajo, sino que su análisis se ve condicionado por el adiestramiento general y el adiestramiento específico; por lo tanto, los resultados que se comparan son entre estos dos tipos de capacidades más que en las fuentes generales del capital humano.

El análisis demuestra que el capital humano aun considerado exclusivamente como un concepto económico, no puede ser introducido de manera simple en los modelos de crecimiento, como han hecho algunos de corte neoclásico; es decir, no puede ser percibido únicamente como un factor productivo que puede formar parte de la función de producción. Por otro lado, apoya la hipótesis de que debe darse un cambio en la percepción de la economía en su conjunto; es decir, estos trabajos demuestran que es necesario poner mayor atención y dar más peso a aquellos elementos que mejoren las capacidades humanas pues al final del proceso, son precisamente las personas las únicas capaces de cambiar las estructuras productivas y provocar el tan codiciado crecimiento económico.

#### **4.- ANÁLISIS**

##### **DE LOS MODELOS DE CRECIMIENTO ENDÓGENO NEOCLÁSICOS**

En este apartado se aborda, desde la perspectiva neoclásica, la discusión sobre cómo el cambio tecnológico se incorpora en los modelos como variable endógena. Es de suma importancia considerar que, en estos modelos el cambio tecnológico es endógeno en tanto que es reproducido dentro del sistema. La cuestión es que, al ser reproducido dentro del sistema requiere una explicación de cómo se produce; en términos económicos esto quiere decir que se necesitan algunos insumos para su producción y esos insumos son precisamente el conocimiento y el capital humano. Entonces el foco de este apartado es, descubrir cuál es el rol que juegan dentro de los modelos el capital humano y el conocimiento, más allá de ser insumos para la generación de cambios tecnológicos.

Se podrá apreciar que, en los modelos de crecimiento endógeno, el capital humano es exógeno; sin embargo, el conocimiento no necesariamente será exógeno; por ejemplo, en el modelo de Romer (1990) es producido por un sector dedicado a la investigación, pero su introducción se hace a través de lo que podríamos considerar dos niveles analíticos. El primero es que considera al conocimiento como un bien no rival y no excluible, siempre y cuando sea utilizado como insumo en la producción de nuevos conocimientos; en el segundo, Romer (1990) supone que al ser utilizado en la producción de bienes intermedios (bienes de capital), aunque sigue siendo no rival puede ser parcialmente excluible.

En adelante veremos que dado el rol que se asigna al capital humano en los modelos de crecimiento endógeno, este crecerá de manera exógena y no se encontrará, al menos dentro de los modelos, ninguna explicación de cómo es posible su reproducción y acumulación. A este respecto es necesario hacer un breve recuento de cómo avanza la estructura de los modelos para incorporar el capital humano. Nuestro punto de partida serán los modelos de crecimiento neoclásico y después se analizarán los modelos de crecimiento endógeno.

Los modelos de crecimiento neoclásico se construyen a partir de las especificaciones de la función de producción de Solow (1957), cuyos supuestos clave tienen fuertes implicaciones para el análisis económico; tales supuestos son: el capital exhibe rendimientos decrecientes, la tasa de ahorro y la tasa de

crecimiento de la población son exógenas y estas determinan el nivel de estado estacionario del ingreso per cápita. Las implicaciones que se derivan de estos supuestos son; que el capital se deprecia a tasas constantes, una tasa de ahorro elevada conducirá al sistema económico a un mayor crecimiento, y a la inversa, una tasa de crecimiento de la población muy grande conducirá a menores tasas de crecimiento del ingreso. ( (Mankiw, G.; Romer, D. y Weil, D., 1992); (McCallum, 1996); (Pack, 1994))

Otra implicación importante, es que a partir de estos supuestos, los análisis estadísticos de la variación de los ingresos entre países, suponen que las economías de menores ingresos podrán alcanzar a las más ricas siempre y cuando cuenten con parámetros estructurales similares de preferencias y tecnología. ( (Mankiw, G.; Romer, D. y Weil, D., 1992); (McCallum, 1996); (Pack, 1994); (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994); (Barro, 1991)) Mas adelante profundizaremos sobre estas cuestiones.

Así pues, es necesario conocer la forma funcional de la cual han partido tanto los teóricos neoclásicos como aquellos que han desarrollado modelos endógenos a partir de estos postulados. Como se mencionó previamente, la función de la cual se parte presenta la siguiente forma básica:  $Y = f(K, L)$ .

Cuando se incorpora el cambio tecnológico, se hace una pequeña modificación a dicha función y se agrega un componente (A), el cual comprende todos aquellos aspectos relativos a la tecnología; entonces la función con cambio tecnológico puede adoptar la siguiente forma general:  $Y = AK^\alpha L^{(1-\alpha)}$ . En esta especificación, Y es el producto doméstico, K el stock de capital (en los modelos neoclásicos sin capital humano esta variable considera todas las posibles formas del capital) y L es el trabajo (bajo el enfoque neoclásico se considera que L comprende todo aquel trabajo realizado por hombres cuya calificación es mínima); los exponentes  $\alpha$  y  $(1 - \alpha)$  pueden interpretarse como el efecto en el incremento del producto derivado de un incremento porcentual en alguno de los factores (Pack, 1994); es decir se pueden interpretar como una elasticidad o bien como un indicativo de las preferencias de los agentes.

Más adelante se verá como, cuando se integra el cambio tecnológico, bajo esta forma funcional la determinación del crecimiento puede ofrecer resultados incompletos, puesto que los parámetros  $\alpha$  y  $(1 - \alpha)$  son exógenos y no capturan toda la información que se podría obtener de las variables en cuestión y su relación. *En el modelo ampliado de Solow donde se integra  $A$  como una constante que refleja el nivel de tecnología del que parte un sistema económico, los incrementos en el ahorro, estallarán el crecimiento por algún tiempo. Sin embargo en tanto que la razón de capital a trabajo se incremente, el producto marginal del capital caerá y la economía entonces evolucionará de regreso a un estado estacionario, en el cual el producto, capital y trabajo estarán creciendo a la misma tasa. El crecimiento en el ingreso por trabajador continuará e igualará la tasa anual de las mejoras en la productividad.* (Pack, 1994)

En algunos otros modelos neoclásicos, se planteó una adaptación a la función de producción estándar, de tal forma que pudiera integrarse el cambio tecnológico como variable. En la teoría neoclásica, el crecimiento en los valores per cápita es proporcionado suponiendo progreso técnico estable, continuamente cambiando la frontera de producción conforme pasa el tiempo. Con un progreso técnico procediendo a una tasa  $\gamma$ , la función de producción sería escrita en general como  $Y_t = F(K_t, N_t, (1 + \gamma)^t)$ . Esto revela, que el crecimiento del estado estacionario es posible únicamente cuando el progreso técnico ocurre en un modelo “labour-augmenting”; es decir, cuando  $Y_t = F(K_t, N_t, (1 + \gamma)^t)$ . (McCallum, 1996) En el modelo de Mankiw, Romer y Weil (1992), bajo la siguiente especificación:  $Y(t) = K(t)^\alpha H(t)^\beta (A(t)L(t))^{(1-\alpha-\beta)}$ , no hay rendimientos decrecientes para todo el capital y, se demuestra que existe una correlación entre la acumulación de capital humano y el crecimiento tanto del ahorro como de la población. (Mankiw, G.; Romer, D. y Weil, D., 1992)

Como se puede apreciar la forma funcional estándar, considera únicamente dos factores e implica rendimientos decrecientes para los factores, con la finalidad de garantizar que estos factores sean remunerados de acuerdo a su productividad marginal y se puedan determinar equilibrios estables. Los

avances en la teoría del crecimiento, consideran esta misma función aunque con algunas especificaciones.

Antes de que la obra de Romer (1986, 1990a) tomara fuerza algunos autores (Solow, 1957 y 1959, Arrow, 1962; Nelson y Phelps, 1966) ya habían considerado que el cambio tecnológico tenía algún efecto sobre el crecimiento económico, pero no lo explicaban como la variable fundamental de tal crecimiento. De hecho en el modelo de cambio tecnológico exógeno de Solow (1957) se reconoce implícitamente que el conocimiento tiene atributos no rivales, pero no descarta completamente el hecho de que pueda ser provisto de forma privada. (Romer, 1990b) En el caso del modelo de Arrow (1962), el cambio tecnológico es no rival pero también es excluible, pues en este caso las firmas tienen que realizar esfuerzos, tales como el “learning by doing”, para poder adaptar las nuevas tecnologías así que necesariamente tienen que asumir un costo por introducirlas.

Es importante tener en cuenta que en términos de Romer (1994) los modelos neoclásicos del crecimiento capturan tres de los hechos básicos que constituyen un desafío para la modelación, siguiendo esta línea tales hechos se pueden enumerar como sigue: 1) existe una gran variedad de firmas en los sistemas económicos, el problema de la agregación; 2) las invenciones son por naturaleza no rivales y esto las distingue de otros insumos; 3) las actividades físicas son perfectamente reproducibles; 4) los cambios tecnológicos o innovaciones son resultado de la actividad de la mente humana; 5) las invenciones proveen poder de mercado a muchas firmas e individuos a través de las rentas monopólicas. (Romer, 1994) Estos hechos deben ser considerados especialmente, en el sentido de que constituyen la vía por la cual se pueden construir modelos de crecimiento de forma pertinente; ya que, aportan una noción clara de las dificultades que se deben enfrentar cuando se intenta modelar el cambio tecnológico o la innovación.

Así pues, los modelos neoclásicos no abordan los hechos cuatro y cinco, pero el segundo es tomado en cuenta suponiendo que tales invenciones tienen los atributos de bien público. Esto se puede descubrir cuando introducen la variable  $A$  (que puede interpretarse de diversas formas, pero todas ellas

asociadas a los avances tecnológicos o en conocimiento), cuyo uso dependerá únicamente de las decisiones de los agentes, pues en estos modelos se supone que su utilización no tiene ningún costo.

Por otro lado, los modelos que se han construido no se apegan estrictamente a estos hechos, sino que los supuestos que se establecen en su construcción se plantean transitando entre ellos. Por ejemplo, los modelos lineales de crecimiento endógeno resuelven en alguna medida el hecho cuatro, pues uno de sus supuestos básicos es que una fracción del ingreso se ahorra y se utiliza en la producción de capital, en cualquiera de sus categorías (es decir, capital físico o humano, incluso investigación), esto implica que el cambio tecnológico depende de las decisiones individuales de inversión y así el crecimiento endógeno es constante; sin embargo, para lograr que este mecanismo tenga consistencia lógica es necesario suponer que la tecnología o el conocimiento se comportan como un bien rival.

En algunos otros modelos neoclásicos, se planteó una adaptación a la función de producción estándar, de tal forma que pudiera integrarse el capital humano como variable. Pero una de las dificultades que presenta tal especificación es que el capital tanto físico como humano son factores acumulados y tales especificaciones no alcanzan a capturar los efectos de esta acumulación en su totalidad. (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994)

Es decir, los modelos neoclásicos sin capital humano asumen que un incremento en la tasa de ahorro o menor tasa de crecimiento de la población, conducirá a un crecimiento en el nivel de ingresos; pero en el modelo mencionado la presencia de capital humano reduce el peso de las tasas de crecimiento y de ahorro.

La cuestión es que en estos modelos el capital humano no es reproducido, sino que es aumentado en función de un costo de oportunidad; es decir, por un cambio en la asignación de los recursos disponibles hacia la formación de capital humano. Aquí se sostiene que algunos modelos de crecimiento endógeno, también se apegan a este supuesto; por ejemplo, el modelo de Romer (1990) al suponer una economía de tres sectores, asume que el capital

humano estará determinado por una proporción de la cantidad total de trabajo disponible; es decir, si la economía en su conjunto quisiera aumentar su nivel de capital humano, solo deberá asignar más personas a la producción de conocimiento, lo que en la estructura de este modelo supone una pérdida de la capacidad productiva del sector de bienes de consumo final. La cuestión es cuál de estos sectores genera mayor valor, como para asignar nuestros recursos disponibles a él.

Por otro lado, en dichos modelos, aun cuando se integra el capital humano como factor, este representa ciertas dificultades analíticas, puesto que se han construido para demostrar la existencia de equilibrios estables y para lograrlo se requiere de supuestos que no necesariamente capturan todas las repercusiones que el capital humano puede tener sobre el crecimiento. Así cuando se introduce en las funciones de producción, los teóricos deben suponer; por ejemplo, rendimientos decrecientes de tal forma que se garantice la determinación de un equilibrio estable y el capital humano por naturaleza no los tiene.

A manera de resumen, los modelos de crecimiento neoclásico sin cambio tecnológico endógeno, concluyen que el sistema económico llegara inevitablemente a una tasa de crecimiento estable; es decir, en el cual cada variable crecerá a una tasa constante, que los factores estarán remunerados y utilizados de la manera más eficiente. Cuando se integra el cambio tecnológico, hay dos vertientes, una que lo asocia directamente al capital físico y otra que lo asocia con el capital humano, en ambos casos, se supone que el cambio tecnológico afectara la productividad de esos factores. Al mismo tiempo, incluir el cambio tecnológico y el capital humano en estos modelos, cuando se analiza el supuesto de convergencia planteado en el modelo inicial de Solow (1957), se puede concluir que tal convergencia no depende únicamente de la tasa de ahorro ni de la tasa de población, sino que el capital humano puede en alguna medida explicar una proporción más acertada de esa convergencia.

Cabe señalar que los argumentos anteriores corresponden a los modelos neoclásicos sin cambio tecnológico endógeno; en adelante veremos, primero como se formulan los modelos de crecimiento endógeno, considerando que

parten de las funciones tipo Cobb-Douglas, al igual que en Solow (1957), se intentará responder qué problemas pretenden resolver. Posteriormente se analizarán el rol del conocimiento y del capital humano en dichos modelos, observando cómo se introducen y qué papel juegan dentro del modelo al ser considerados como variables clave para explicar el crecimiento.

#### **4.1 Aportes de los modelos de crecimiento endógeno.**

En este subapartado, se exponen los elementos de las teorías del crecimiento endógeno que han constituido un avance para la teoría del crecimiento en general. Aquí se presentan, las motivaciones que llevaron a los teóricos a explicar el crecimiento de manera endógena. Se verá que, los adelantos planteados por los teóricos no solo responden al hecho de que los modelos de crecimiento neoclásico tipo Solow (1957), no ofrecían una explicación adecuada sobre el proceso por el cual el cambio tecnológico emerge y afecta los niveles de ingreso.

Como se mencionó anteriormente los modelos neoclásicos elementales, se enfocaban en determinar el crecimiento del estado estacionario, suponiendo el cambio tecnológico como algo externo al sistema. En este marco cada cambio tecnológico introducido implicaba un avance en la frontera de posibilidades de producción; sin embargo, aun con cambio tecnológico los factores de producción exhibían rendimientos decrecientes.

Entonces es un hecho que los modelos de crecimiento endógeno se construyen intentando avanzar en estas cuestiones, así, se puede encontrar que hay diversas variantes de tales modelos, pero las principales son: aquellos que se enfocan en las externalidades derivadas de la acumulación de capital; los que explican el proceso de crecimiento a partir de la acumulación de capital humano y; aquellos que enfatizan el papel de la I+D en el proceso de generación de cambios tecnológicos. (McCallum, 1996)

De esta forma se ha llegado al consenso de que el principal avance de los modelos de crecimiento endógeno, ha sido formalizar el surgimiento del cambio tecnológico en un modelo matemático consistente y la eliminación del supuesto de rendimientos decrecientes del capital. ( (Lucas, 1988); (Romer, 1986),

(1990a), (1990b), (1994); (Mankiw, G.; Romer, D. y Weil, D., 1992); (McCallum, 1996); (Parker, 2012)).

Sin embargo existe alguna divergencia sobre cómo ha sido posible eliminar tal supuesto. Por ejemplo, ya se ha mencionado que para Pack (1994) el mecanismo por el cual se eliminan estos rendimientos es derivado de una externalidad de la tecnología que compensa de alguna forma el efecto de los rendimientos decrecientes del capital. (Parker, 2012) Para Romer (1994) estos se eliminan, sobre todo en los modelos lineales, al suponer que los insumos como el capital, la investigación y el capital humano constituyen bienes ordinarios; es decir, no permiten la presencia de bienes no rivales. (Romer, 1994)

Otro de los avances que han mostrado los modelos endógenos respecto a los planteamientos de Solow (1957) ha sido que el estado estacionario puede ser alcanzado, incluso si el cambio tecnológico es endógeno, a tasas que pueden depender de las preferencias y los parámetros de la tecnología, donde algunos incluyen también el efecto de las políticas, tales como el ambiente institucional y los impuestos. (McCallum, 1996)

Por otro lado, algunos estudios empíricos del crecimiento endógeno se han enfocado en evaluar el impacto, entre países, que tiene la educación formal en el crecimiento; en uno de esos modelos planteado por Bils y Klenow (2000), se demuestra que mientras mayor es la matrícula al inicio del periodo considerado, los incrementos en la escolaridad medida por grados obtenidos año tras año, se asocian a un rápido crecimiento anual. Sus estimaciones se hacen para el periodo de 1960-1990, y el impacto de la escolaridad al crecimiento que obtienen es de 0.30. Entonces, en este modelo las diferencias transicionales en las tasas de crecimiento del capital humano explican temporalmente las diferencias en las tasas de crecimiento de los países. (Bils, M. y Klenow, P., 2000)

En este caso, el nivel de escolaridad se introduce como una variable proxy del capital humano; sin embargo, es importante considerar que la forma en que se especifiquen las funciones, así como la calidad de los datos recabados pueden

afectar los resultados de la estimación. En este sentido, por ejemplo, para Barro (1991) el hecho de utilizar el PIB per cápita inicial en las regresiones puede sesgar los resultados o mostrar las cosas de forma diferente. (Barro, 1991)

Otro tipo de la serie de estudios empíricos ( (Mankiw, G.; Romer, D. y Weil, D., 1992); (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994); (Barro, 1991)), se han enfocado en analizar la convergencia de ingresos entre países, en ellos se ha encontrado, con algunas variaciones, que el capital humano tiene impactos en el crecimiento económico y dependiendo de la capacidad de acumulación de capital humano se podrá alcanzar la convergencia de ingresos entre estos. Las primeras estimaciones atribuyeron gran proporción del crecimiento en el ingreso per cápita al efecto del cambio tecnológico en la productividad total de los factores o a la cuenta residual. Las estimaciones más recientes han atribuido una gran fracción del crecimiento a la acumulación de capital físico y humano y han reducido la fracción directamente atribuible a la tecnología. (Nelson, R. y Romer, P., 1996)

Como se mencionó arriba algunos modelos de crecimiento endógeno se enfocan en las externalidades derivadas de la acumulación de capital. En los modelos planteados por Lucas (1988) y Romer (1986) la ecuación  $Y = AK$ , se formula de tal manera que no existan rendimientos decrecientes, el supuesto básico para llegar a tal formulación y hacer que sea consistente es que las externalidades compensan cualquier propensión a los rendimientos decrecientes. En esta ecuación, A aparece como la expresión de cualquier mejora en la tecnología, mientras que K incorpora el capital en su conjunto; es decir, K representa al capital humano y físico. (Pack, 1994) Como se puede apreciar, los rendimientos decrecientes del capital son compensados por las externalidades derivadas del conocimiento, siempre y cuando este se encuentre asociado a la acumulación de capital y este sea considerado como un bien público. La cuestión es que las mejoras a la tecnología o los nuevos conocimientos que se incorporan en la variable A, estarán disponibles para que cualquier agente pueda utilizarlos, sin importar quién y cómo han sido producidos.

Los modelos de crecimiento endógeno, en que la acumulación de capital humano constituye su fundamento básico, consideran que tal acumulación mejora las habilidades de la fuerza laboral, pero estas mejoras requieren necesariamente de la inversión de recursos. En estos modelos el capital humano mejora la productividad total de los factores; en primer lugar, porque determina la capacidad del sistema económico para producir nuevas tecnologías o innovaciones. En segundo lugar, porque se supone que el capital humano mejora las posibilidades y la capacidad de adopción de nuevas tecnologías, cuando estas no son producidas internamente. (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994)

Hemos expuesto brevemente algunas variantes de los modelos de crecimiento endógeno; con la finalidad de conocer las diferencias analíticas que resultan de tal divergencia.

En los apartados siguientes se analiza el rol que juega el conocimiento y el rol del capital humano en los modelos; en este análisis se profundizará en algunos de los elementos expuestos anteriormente, sobre las implicaciones que tienen estas variables en la explicación del crecimiento.

#### **4.2 El conocimiento y el capital humano en los modelos de crecimiento endógeno neoclásicos**

Este apartado se enfoca en exponer como se ha introducido el conocimiento y el capital humano en los modelos de crecimiento endógeno, en términos de cómo se ven afectadas las relaciones funcionales cuando se agregan estas variables. También se expondrán las implicaciones que tienen los supuestos que se hacen de estas variables, en relación a sus atributos, para el análisis económico.

En el modelo presentado por Romer el cambio tecnológico es definido como *[...] un mejoramiento en las instrucciones para la combinación de materias primas [...]* (Romer, 1990a); como se puede apreciar, pareciera ser que el concepto presentado por Romer (1990) corresponde a lo que se ha denominado innovaciones de proceso. Sin embargo, como se verá más adelante y a profundidad, el cambio tecnológico así definido no es la variable

explicativa del modelo, en un sentido estricto; sino que este se relaciona con la acumulación continua de capital y, como el mismo Romer afirma, la acumulación de capital y el cambio tecnológico en su conjunto son responsables de gran parte del incremento del producto por hora trabajada. (Romer, 1990a) Estas afirmaciones corresponden a la primera premisa con la que construye su modelo.

La segunda premisa dice que el cambio tecnológico surge en gran medida de las acciones intencionales realizadas por personas que responden a los incentivos del mercado. (Romer, 1990a). Según él, este es el hecho fundamental de que el modelo tenga un carácter endógeno, pero de esta afirmación pueden surgir diversas discusiones pues se podría pensar que está afirmando que las fuentes del cambio tecnológico (el conocimiento) son impulsadas por incentivos de mercado.

La cuestión es que Romer (1990a) implícitamente distingue entre dos aspectos del cambio tecnológico, uno que corresponde a sus fuentes y el otro a las posibles aplicaciones comerciales que se derivan de este. En nuestro entendimiento, el primero está asociado al conocimiento en ciencia básica o investigaciones mientras que el segundo puede asociarse a las ingenierías y las habilidades empresariales. Ahora bien, la afirmación es clara si se considera esta distinción, pues el conocimiento que corresponde a las fuentes del cambio tecnológico puede surgir sin la necesidad de incentivos de mercado, a través de la educación y la investigación; pero el conocimiento aplicado necesariamente responde a esos incentivos en tanto que, los incentivos de mercado desempeñan [...] *un papel esencial en el proceso por el cual se transforma el conocimiento nuevo en bienes con valor práctico.* (Romer, 1990a) *Los economistas en general entienden que el avance tecnológico está estrechamente asociado con avances en el conocimiento. Es también claro que los nuevos conocimientos deben ser incrustados en prácticas, técnicas y diseños antes de que estos puedan afectar una actividad económica.* (Nelson, R. y Romer, P., 1996)

Romer (1990a) considera como premisa fundamental aquella que corresponde a los atributos esenciales del cambio tecnológico y es precisamente que, este

es inherentemente distinto de otros bienes. De esta premisa surge lo que se podría considerar el principal aporte pues, como se verá más adelante, para él el cambio tecnológico puede ser comprendido a partir de esos dos atributos, que es un bien no rival y con la posibilidad exclusión. De esta forma, podemos apreciar dos dimensiones analíticas, que se derivan de la relación entre el conocimiento y la tecnología; una es que el conocimiento transfiere en alguna medida sus atributos a las tecnologías y estas pueden ser consideradas como un bien público; segundo, cuando estas tecnologías pueden ser utilizadas con fines productivos pierden, en alguna medida, esos atributos.

El modelo presentado por Benhabib y Spiegel (1994) provee dos mecanismos por los cuales los niveles de capital humano pueden influenciar el crecimiento del ingreso per cápita. Primero el componente endógeno,  $g(H_t)$ , tiene una influencia sobre las tasas relativas de crecimiento de la tecnología directamente. Segundo, el componente de catch-up, el cual es especificado como dependiente del stock de capital humano que posee un país también permite que los niveles de capital humano entren en el crecimiento del ingreso per cápita. (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994)

Así pues, Romer (1990a) considera que el desarrollo de instrucciones nuevas y mejores equivale a incurrir en un costo fijo. Se supone que esta propiedad es la característica definitoria de la tecnología. (Romer, 1990a) El cambio tecnológico también tiene un efecto indirecto porque este aumenta los rendimientos de las inversiones en capital físico y humano. Si no hubiera avance tecnológico, los rendimientos en ambos tipos de capital serían reducidos a cero. La acumulación de capital se detendría. En un sentido fundamental, todo el crecimiento económico, incluso el crecimiento que es directamente causado por la acumulación de capital, puede ultimadamente ser atribuido al cambio tecnológico. (Nelson, R. y Romer, P., 1996)

Una forma simple de representar este fenómeno es especificar que el producto físico es acumulado de acuerdo a  $Ak_t^\alpha (h_t n_t)^{1-\alpha} = c_t + (1 + v)k_{t+1}$ , donde  $n_t$  es la fracción del tiempo de trabajo típico domestico que es asignado a la producción de bienes y  $h_t$  es una medida del capital humano; es decir, las habilidades en el lugar de trabajo de un miembro típico doméstico en el

momento  $t$ . Estas habilidades son producidas dedicando la fracción  $1 - n_t$  de tiempo de trabajo a la acumulación de capital humano. En general, el capital físico sería también un importante insumo en este proceso, pero por simplicidad supongamos inicialmente que la acumulación de habilidades productivas obedece la ley de movimiento  $h_{t+1} - h_t = \beta(1 - n_t)h_t - \delta_h h_t$ ; donde el último término refleja la depreciación de las habilidades que ocurre conforme el tiempo pasa. (McCallum, 1996)

Ahora bien, es interesante notar que el crecimiento económico en este sentido puede ser inducido por el tamaño de mercado, pues supone que un mayor tamaño del mercado tiene la posibilidad de realizar más investigación y crecer de manera más acelerada. De acuerdo con Becker (1962), el tamaño del mercado, sostiene una relación directa con los incentivos para invertir en habilidades; es decir, mientras mayor sea el tamaño de mercado, tanto las empresas como las personas tendrán mayores incentivos para invertir en la adquisición de capacidades específicas. Aquí se establece una relación lógica; sin embargo, esta no es necesariamente directa, el hecho es que en tanto que el tamaño de mercado incrementa los incentivos para invertir en la generación de habilidades en las personas, necesariamente incrementará la cantidad y acumulación de capital humano, el cual al final podría ser utilizado en la investigación o el trabajo para desarrollar cambios tecnológicos, tal y como Romer (1990a) los ha definido.

Por otro lado; como se vio anteriormente, el tamaño de la población no es un claro indicativo, ni del tamaño de mercado ni del crecimiento del acervo de capital humano, en este caso, es necesario que los países o regiones realicen actividades que promuevan el desarrollo de ese tipo de capital, al mismo tiempo que debe seguir ciertos patrones. Pero, se estudiara como el tamaño en el acervo de capital humano puede afectar fuertemente las posibilidades de crecimiento de los países.

Antes de continuar con el análisis es necesario recordar y tener presente que los bienes pueden ser analizados a partir de dos atributos: la rivalidad y la exclusión, y dependiendo el grado en que estos se presenten será el tipo de bien del que se esté hablando. La rivalidad constituye una limitación de uso; es

decir, si un bien es rival su uso por parte de algún agente impide su uso por cualquier otro. La exclusión implica la posibilidad de apropiarse de dicho bien y la posibilidad de impedir que sea utilizado por algunos agentes mediante ciertos mecanismos de mercado, como los precios diferenciados o las patentes, así Romer (1990) considera que la exclusión es una función de la tecnología y el sistema legal.

En este caso, decir que la exclusión es una función de la tecnología es inherente a la forma en que Romer (1990) la ha definido; es decir, si esta corresponde a la transformación del conocimiento nuevo en bienes con valor práctico y esta acción obedece a los incentivos de mercado, quiere decir que los agentes que ayuden a realizar dichos cambios buscarán alguna ganancia por esa acción.

En un análisis más profundo, siguiendo la lógica presentada en párrafos anteriores y los argumentos de Becker (1962), el capital humano tiene un componente de exclusión autónomo, en tanto que embebido en las personas estas podrán decidir si utilizarlo o no, en consecuencia los incentivos para invertir en dicho capital se ven afectados, a menos que las firmas creen mecanismos para garantizar la permanencia de las personas adiestradas en sus firmas, la forma más pertinente de lograr esto parecen ser los incrementos salariales y las mejoras en los derechos laborales.

Romer (1990) también considera que la tecnología constituye un insumo no rival. Aquí la cuestión es que está considerando los dos aspectos del cambio tecnológico mencionados anteriormente, los cuales corresponden a las fuentes que lo hacen posible y la utilidad que tiene este en el mercado.

De esta manera, las premisas de que parte Romer (1990) tienen las siguientes implicaciones que son:

- De la tercera premisa se deriva, que cuando la tecnología se usa como insumo es no rival; es decir, es el conocimiento existente que ayudara a construir un nuevo conocimiento.

- De la segunda se tiene, que al considerar que los cambios tecnológicos se derivan de las acciones de individuos persiguiendo su propio interés, las tecnologías así creadas deben ser al menos parcialmente excluibles.
- La primera premisa parece ser la más clara e implica que el crecimiento económico es impulsado por la acumulación de tecnologías (en el sentido expuesto por Romer (1990)).

Otra cuestión, de no menor importancia, es como ha considerado Romer (1990) el capital humano, puesto que este no es lo mismo que las tecnologías pero si están estrechamente relacionados. De esta manera plantea que, el capital humano posee los atributos de rivalidad y exclusión y, por lo tanto, puede mercarse; y hace la misma distinción para otra de las variables incorporadas en el modelo, los diseños, solo que estos no presentan rivalidad.

La noción de rivalidad tiene implicaciones importantes para las teorías del crecimiento; según Romer (1990) si el bien es no rival es posible acumularlo sin límites en términos per cápita. Además, la única forma en la que es sensato hablar de la difusión del conocimiento, es cuando se le considera a partir de su carácter no rival y justo así es posible hablar de la exclusión incompleta. En términos técnicos estos elementos del conocimiento están estrechamente vinculados con la ausencia de convexidad, cabe recordar que este modelo se construye siguiendo los fundamentos del modelo de Solow (1957). Esto se debe principalmente a que si un insumo productivo es no rival el producto resultante no podría ser realizado con una función de rendimientos constantes a escala de los insumos en conjunto; por lo tanto, si uno de los insumos es no rival la función que exprese la producción de determinado bien no podrá ser homogénea de grado uno.

Es decir, suponiendo que  $A^6$  es un insumo productivo la función de producción no podrá ser cóncava puesto que  $F(\lambda A, \lambda X) > \lambda F(A, X)$ . Por otro lado, dado que  $F(A, X) = X \cdot (\delta F / \delta X)(A, X)$  se puede inferir que  $F(A, X) < A \cdot \frac{\delta F}{\delta A}(A, X) + X \cdot \frac{\delta F}{\delta X}(A, X)$ . Es decir, los insumos se pagan de acuerdo a su productividad

---

<sup>6</sup> En este modelo  $A$  corresponde a la variable que expresa el cambio tecnológico, pero Romer (1990a) considera que el cambio tecnológico puede verse como la introducción de nuevos diseños en el proceso productivo.

marginal pero la empresa no puede capturar las ganancias totalmente. Este es un resultado que se deriva de los esfuerzos por hacer que el cambio tecnológico (A) aparezca como una variable endógena en el modelo, lo cual es posible dadas las tres premisas presentadas anteriormente. Modelos como el de Solow (1957) no presentan una compatibilidad completa con todas y cada una de las premisas, en este caso, el modelo considera la no rivalidad del cambio tecnológico pero no considera en absoluto la posibilidad de exclusión, ni siquiera parcialmente.

Aquí se considera que conocimiento y capital humano no son conceptos análogos, sino que tienen y pueden presentar características que los hacen distintos en alguna medida. Estas distinciones pueden surgir de las fuentes de cada uno de ellos, es decir, de las actividades o acciones que los hacen posibles como de la utilidad que puedan tener, además pueden surgir diferencias provenientes de la capacidad con la cual se pueda obtener algún tipo de beneficio. *En este aspecto, el capital humano es diferente del stock de conocimiento, el cual es poseído por la sociedad en general y es pasado de generación en generación, en el sentido de que está disponible para aquellos que deseen aprovecharlo.* (McCallum, 1996)

El modelo de Romer (1990a) presenta cuatro variables, el capital físico (K), la mano de obra "simple" (L), el capital humano (H) y un índice del nivel de la tecnología (A). El capital humano es definido por Romer (1990) como una medida clara del efecto acumulado de actividades como la educación formal y el adiestramiento en el trabajo. [...] *Corresponde a la práctica en las aplicaciones de la contabilidad del crecimiento económico que toman en cuenta los cambios en la calidad de la fuerza de trabajo debido a cambios observables, tales como el nivel de educación y la experiencia.* (Romer, 1990a).

Lo interesante de esta postura es que hace una distinción sobre el capital humano, así pues, considera que al igual que con el conocimiento el capital humano puede asociarse a dos diferentes atributos. En el modelo separa el componente rival del conocimiento, H, del componente tecnológico no rival, A. En virtud de que tiene una existencia separada de la de cualquier individuo, A

puede crecer sin límites. (Romer, 1990a). Esta separación resulta al considerar que el capital humano comprende el conocimiento incorporado en las personas. El hecho es que A constituye el conocimiento que está disponible para cualquier persona y, cuando alguien lo utiliza no limita en ninguna medida la posibilidad de que otra persona pueda usarlo, el conocimiento en esta forma se adapta perfectamente a aquel que se encuentra en las memorias externas, como ya había sido definido por Corona (2006); mientras que el conocimiento incorporado en las personas definitivamente no puede ser usado por nadie más, a menos que este sea transferido a una memoria externa.

Cabe aclarar una cuestión, el conocimiento es incorporado en este modelo a través del capital humano como de la tecnología, pero hay ciertos aspectos que se deben tener muy en cuenta; a) el conocimiento en la forma de diseños, es un insumo de la tecnología y del capital humano (visto como una variable que se puede desarrollar y acumular cuyo proceso no se explica dentro del modelo); b) el capital humano es considerado un insumo para la generación de tecnología (tal y como ha sido concebida en este modelo) y para la producción de bienes, en este caso se puede considerar que hay dos niveles de capital humano, uno que se podría nombrar calificado o especializado y otro simple. Estos dos niveles del capital humano están estrechamente relacionados con las capacidades derivadas del adiestramiento especializado y el adiestramiento general desarrollados en el modelo de Becker (1962); la única distinción respecto a Romer (1990) es que, este último no considera cuales son las fuentes de la generación de tales capacidades; es decir, no toma en cuenta que uno es principalmente generado por las universidades (general), mientras que el otro se desarrolla primordialmente en el trabajo (específico). Este hecho resulta importante porque al final las firmas tendrán diferentes incentivos para realizar inversiones ya que estas dependerán, en alguna medida, del nivel de capital humano que se trate. Sin embargo, como ya se ha mencionado ambos niveles pueden estar estrechamente relacionados entre sí.

En el modelo que desarrolla Romer (1990) hay tres sectores, uno de investigación que usa el capital humano y el acervo de conocimientos existentes para producir conocimiento nuevo. Este sector es el encargado de

producir los diseños (A), que podrían considerarse análogos a los prototipos para la generación de capital físico nuevo o mejorado. El sector intermedio utiliza los diseños del sector de investigación y es el encargado de convertirlos en bienes de capital, aquí se considera que este sector opera gracias al producto sacrificado. El sector de bienes finales usa tanto el capital humano como los bienes de capital del sector intermedio y mano de obra, aquí se considera que el producto puede consumirse o ahorrarse como nuevo capital.

Los supuestos que simplifican el modelo son los siguientes; la población y la oferta de mano de obra son constantes; el acervo total de capital humano en la población esta fijo, al igual que la fracción provista al mercado. Este último supuesto se formula por la simplificación que proporciona al análisis dinámico. Un tercer supuesto es que el capital puede acumularse como producto sacrificado, lo que implica que tanto el sector de bienes de capital como el de productos finales cuentan con las mismas tecnologías. La acumulación es posible por el desplazamiento de recursos del sector de bienes finales al de bienes de capital, lo que supone un costo de oportunidad al dejar de asignar recursos para producir bienes finales y utilizar esos recursos en el sector de investigación.

Por otro lado, el hecho de que el acervo de capital humano sea fijo, implica que un modelo como el de Lucas (1988) no pueda alcanzar el crecimiento infinito porque el capital humano no tiene posibilidades de ser incrementado. (McCallum, 1996) La acumulación de capital humano requiere de inversiones que pueden hacer que las personas incorporen conocimientos; entonces, es posible afirmar que la acumulación de capital humano no se relaciona con la tasa de crecimiento de la población sino con la capacidad del sistema para poder invertir, ya sea, en la escolaridad o en el adiestramiento en el trabajo. Una observación importante es que Romer (1990) considera que una proporción de la población total cuenta con las capacidades y conocimientos para decir que constituyen capital humano; sin embargo, en el modelo esta proporción se define arbitrariamente.

El modelo de Romer (1990a) opera con una función de bienes finales  $Y$  cuyos insumos son la mano de obra  $L$ , el capital humano que se destina a este sector

$H_Y$ , y el capital físico. Un aspecto interesante es que esta función no usa la tecnología como un insumo, pero esto responde al hecho de que la construcción del modelo desagrega el capital de acuerdo a un número infinito de los diferentes bienes de productor; sin embargo, solo existirá un número finito de ellos y este será determinado por aquellos que ya hayan sido producidos por el sector de bienes de productor. Es importante tener en cuenta que el sector productor de bienes finales mejorará en términos de productividad, puesto que el capital que utiliza como insumo,  $K$ , proviene del sector productor de bienes intermedios, cuyos productos ya han incorporado implícitamente los avances tecnológicos.

De esta manera la función de producción resultante se expresa:

$$Y(H_Y, L, x) = H_Y^\alpha L^\beta \sum_{i=1}^{\infty} x_i^{1-\alpha-\beta} \quad (1)$$

Esta función enumera los diferentes tipos de capital asociados a diferentes tecnologías por medio de la variable  $x = \{x_i\}_{i=1}^{\infty}$ ; aquí dichos tipos de capital serán sustitutos entre sí pero no completos. Se niega la sustitución perfecta porque implicaría que cualquier aumento en cualquiera de los tipos de capital tendría exactamente el mismo efecto sobre la productividad marginal. Esto implica que los distintos bienes de capital aportan efectos aditivamente separables en el producto. Al mismo tiempo, esta función permite considerar que el producto final es el resultado de las acciones de una empresa agregada, para la cual se puede decir que, utiliza capital humano como insumo, pero este es menos especializado. Entonces, el sector productor de bienes de capital no puede representarse por una empresa agregada ya que, hay diferentes empresas  $i$  por cada bien de capital  $i$  producido. La cuestión es que, en este caso, la sustitución de los tipos de capital es idéntica a la forma funcional de los modelos de crecimiento endógeno lineales.

En este caso se estaría suponiendo que el capital físico no es homogéneo; pero sí que cada firma en la producción de bienes emplea diferentes tipos de bienes de capital en su producción; por lo tanto, teniendo en cuenta que dicho capital es producido dentro del sistema, el capital humano y el conocimiento no serán igualmente homogéneos. Sin embargo, dado que el capital humano

puede desplazarse en este modelo, no es completamente factible suponer que la magnitud de capital humano utilizada en la producción de bienes finales sea de menor calidad. Aquí parece haber una inconsistencia lógica al afirmar que cada firma en el sector de bienes de capital produce un bien distinto empleando diferentes tipos de H y A, mientras que en el sector productor de bienes finales esta H es homogénea, la inconsistencia deriva de la noción de que H no se incrementa ni se acumula sino que es solo una fracción determinada de la cantidad de población, por lo tanto, no hay forma de que exista en diferentes niveles.

Una vez que las empresas han adquirido algún diseño son capaces de convertir bienes de consumo final en bienes de capital. La cuestión es que hay una transferencia de recursos de la producción de bienes finales a la producción de bienes de capital. Esto quiere decir que cuando los recursos de un bien de consumo final son canalizados a los bienes de capital, el primero no puede ser producido con la misma cantidad de insumos; ya que, en términos de la teoría del crecimiento tradicional, lo que no se produce corresponde a la fracción de ahorro que se utilizara en nuevas inversiones.

Ahora bien, como se ha mencionado anteriormente, Romer (1990a) define el capital total en términos del producto sacrificado acumulado, de ahí que la evolución de  $K$  en el tiempo sea

$$\dot{K}(t) = Y(t) - C(t) \quad (2),$$

donde  $C(t)$  corresponde al consumo agregado en el momento  $t$ . En virtud de que se requieren  $\eta$  unidades de consumo sacrificado para crear una unidad de cualquier tipo de bienes duraderos, esta medida contable  $K$  se relaciona con los bienes durables que se usan efectivamente en la producción por la regla  $K = \eta \sum_{i=1}^{\infty} x_i = \eta \sum_{i=1}^A x_i$ . (Romer, 1990a).

Como se especificó arriba la producción de diseños  $A$  dependerá de la cantidad de capital humano que se destine a la investigación y del acervo de conocimientos disponibles y, al menos, el capital humano no será distinto del que se utiliza en la producción de bienes de consumo final. Romer (1990a) plantea que para utilizar la producción de diseños como una variable discreta

será necesario tomar en cuenta las restricciones de enteros y la incertidumbre; sin embargo, por los supuestos planteados, ninguno de estos factores será decisivo en el análisis del cambio tecnológico agregado. Por lo tanto, la ecuación (1) se tratará como una variable continua, el índice  $i$  para los diferentes tipos de bienes, así la sumatoria que expresaba los diferentes tipos de bienes de capital se reemplaza por:

$$Y(H_Y, L, x) = H_Y^\alpha L^\beta \int_0^\infty x(i)^{1-\alpha-\beta} dt \quad (1')$$

De esta manera, la tasa de producción de los nuevos diseños será:  $\delta H^j A^j$ , donde  $j$  corresponde al investigador que posee una cantidad de capital humano  $H^j$  y tiene acceso a la porción de conocimiento  $A^j$  y  $\delta$  corresponde a un parámetro de la productividad. De aquí el acervo de diseños será:

$$\dot{A} = \delta H_A A, \quad (3)$$

Esta ecuación sugiere que mientras más se utilice capital humano en la investigación será mayor la tasa de producción de diseños nuevos. Además cuanto mayor sea el acervo total de diseños y conocimientos, mayor será la productividad de un ingeniero que trabaja en el sector de investigación. (Romer, 1990a). Sin embargo, dados los supuestos sobre la movilidad del capital humano entre sectores, en este modelo, las firmas no incurrirían en costos adicionales al salario para aumentar la cantidad de personal capacitado en su producción; es decir, la homogeneidad implícita del capital humano impide que las firmas incurran por lo menos en costos de capacitación y adaptación.

En términos de Becker (1962), tal producción de diseños dependerá de la capacidad del sistema para hacer crecer el acervo de personas con adiestramiento específico; pero, dado que el modelo sugiere que este tipo de conocimiento es principalmente desarrollado con la práctica en el trabajo, las firmas se verán en la necesidad de invertir en la capacitación de sus trabajadores antes de poder obtener rendimientos por la venta de nuevos diseños, lo que contradice el argumento sobre el modelo de Romer (1990a) presentado en el párrafo anterior. Ahora bien, puesto que Romer (1990a)

supone que los diseños son diferentes y cada uno es producido en una firma en particular, las firmas tendrán necesariamente fuertes incentivos para invertir, pues el supuesto elimina el problema de la rotación laboral al tratarse exclusivamente de adiestramiento específico.

En términos agregados, se aprecia que, dado que el capital humano en este modelo ha sido especificado de acuerdo a una proporción fija del tamaño de la población y dado que la única manera de producir más cambios tecnológicos es asignando una proporción mayor al sector de investigación; la tasa de crecimiento de la población afectara la acumulación de capital humano, pues, si la población está creciendo la relación población capital humano disminuiría siempre y cuando no se asigne una mayor cantidad de capital humano en el sector de investigación, lo que reduciría la capacidad del sistema de producir conocimiento y aumentaría el consumo de bienes finales y la cantidad de trabajo descalificado.

En su modelo, Nelson y Phelps (1966) usan una función de producción típica agregando  $A(t)$ , que es su índice de la tecnología en práctica, al factor trabajo. (1)  $Q(t) = F[K(t), A(t)L(t)]$ . Aquí  $A(t)$  mide el nivel de tecnología de la mejor práctica, el nivel promedio de la tecnología embebido en la variedad representativa de bienes de capital que están siendo comprados actualmente. Alternativamente, podríamos suponer que todo el progreso técnico está completamente incorpóreo y que (1) es la función de producción agregada para la firma, la industria o la economía y  $A(t)$  es el índice promedio de la tecnología y todas las formas de capital acumulados a través del tiempo, es decir, aquí  $A(t)$  abarca los capitales más viejos como los nuevos. (Nelson, R. y Phelps, E., 1966)

Hay una cuestión interesante en el argumento anterior, y es que, para Nelson y Phelps (1966), las mejoras en la tecnología están directamente asociadas al factor trabajo, en dicho modelo, ellos han considerado que los cambios tecnológicos no solo encuentran una representación en forma física, sino que también, existen otros factores que no precisamente se observan a través de una máquina, y que también mejoran la productividad de una industria; como es el caso de las ideas o las mejoras sobre la organización de la producción.

En este caso, resulta evidente que Nelson y Phelps consideran el cambio tecnológico como aquel estrechamente relacionado con los conocimientos que mejoran la capacidad organizacional, tales como las nuevas formas de administración y gestión de las empresas.

Por otro lado, introducen la noción de nivel teórico de la tecnología,  $T(t)$ . Este es definido como el nivel de la mejor práctica de la tecnología que prevalecería si la difusión tecnológica fuera completamente instantánea. Este es una medida del stock de conocimiento o cuerpo de técnicas que están disponibles para los innovadores. Suponemos que el nivel de la tecnología teórica avanza exógenamente a una tasa exponencial constante  $\lambda$ : (2)  $T(t) = T_0 e^{\lambda t}, \lambda > 0$ . (Nelson, R. y Phelps, E., 1966). Sin embargo, se podría argumentar que este nivel teórico de la tecnología no es necesariamente exógeno, puesto que aun los avances a nivel teórico requieren del uso constante de conocimientos acumulados e incorporados en las personas en la forma de capital humano.

Por otro lado, en este modelo existe un rezago temporal entre la creación de una nueva técnica y su adopción el cuál se plantea como una función decreciente de algún índice de la media de la educación lograda,  $h$ , de aquellos en una posición para innovar. Aquí,  $h$ , denota el grado de intensidad de capital humano, en este caso, dicha intensidad puede estar determinada por el número de años gastados en educación, así mientras mayor sea el número de años de escolaridad, más intenso será ese capital humano. Ahora bien, en la forma funcional de la tecnología en práctica se aprecia que:

$$(3) \quad A(t) = T(t - w(h)), \quad w'(h) < 0$$

Donde  $w$  denota el rezago, entonces el nivel de la tecnología en práctica iguala el nivel de la tecnología teórica  $w$  años atrás,  $w$  es una función decreciente de  $h$ .

Así que, al sustituir la ecuación de la tecnología teórica (2) en la ecuación de la tecnología en práctica (3), se obtiene:

$$(4) \quad A(t) = T_0 e^{\lambda[t-w(h)]}$$

Esta última ecuación implica que si  $h$  es constante, se llega a dos resultados. Primero, que el índice de la tecnología en práctica crece a la misma tasa,  $\lambda$ , como el índice de la tecnología teórica. Segundo, el nivel o trayectoria de la tecnología en práctica es una función creciente de  $h$ , ya que un incremento de  $h$  reduce el rezago entre  $T(t)$  y  $A(t)$ . (Nelson, R. y Phelps, E., 1966) Esta forma de modelar el nivel de la tecnología tiene fuertes implicaciones, en primer lugar, esto es tomado en cuenta por Romer (1990a), pues se podría afirmar que el nivel teórico de la tecnología es aquel que Romer (1990a) supone se utiliza en el sector de investigación, pero cuando este es puesto en práctica y utilizado en el sector de bienes intermedios, entonces se estaría hablando de la tecnología en práctica. La cuestión es que el modelo de Romer (1990a) no considera que exista ningún rezago temporal, puesto que implícitamente los conocimientos se pueden utilizar por igual con la única condición de que cuando se utiliza en el sector de bienes intermedios tiene la posibilidad de aplicar el atributo de exclusión.

Por otro lado, se podría considerar también que estos dos niveles de tecnología; están asociados, como se afirmó anteriormente, el teórico a las capacidades empresariales, mientras que el práctico a la generación de maquinaria y equipo, y como se afirmó en el capítulo dos la relación entre diferentes tipos de conocimiento es muy importante para la generación de tecnologías, puesto que estas últimas requieren de muchos y diversos conocimientos diferentes para llegar a ser, por lo que en la realidad siempre existirá un rezago entre los conocimientos teóricos y las posibles aplicaciones prácticas que se deriven de él o de su combinación con otros.

Una característica importante del modelo de Nelson y Phelps (1966) es que, *ceteris paribus*, el rendimiento de la educación es mayor mientras más rápido ha sido el avance del nivel de la tecnología teórica. Como la ecuación (5) muestra, el efecto sobre  $A(t)$  de un incremento marginal de  $h$  es una función creciente de  $\lambda$ , dado  $A(t)$ , y es positiva solo si  $\lambda > 0$ .

$$(5) \quad \frac{\partial A(t)}{\partial h} = -\lambda w'(h) T_0 e^{\lambda[t-w(h)]}$$

$$= -\lambda w'(h) A(t)$$

La misma propiedad es desplegada por la productividad marginal de los logros educativos. Entonces la productividad marginal de la educación es una función creciente de  $\lambda$ , dado el actual gasto salarial, y es positiva solo si  $\lambda > 0$ . (Nelson, R. y Phelps, E., 1966) En el modelo de Barro (1991) se asume que la educación o el capital humano se comporta con rendimientos decrecientes, puesto que esta adolece la depreciación, aquí tal depreciación no tiene cabida ya que el conocimiento teórico crece a una tasa exógena, además se ha supuesto que la educación crecerá conforme se avance en la tecnología teórica y práctica.

El segundo modelo establece que la tasa a la cual la última tecnología teórica es realizada en la tecnología práctica mejorada depende de los logros educativos y de la brecha entre el nivel de la tecnología teórica y el nivel de la tecnología en práctica. (Nelson, R. y Phelps, E., 1966)

De acuerdo a esta hipótesis, la tasa de incremento de la tecnología en práctica (no el nivel) es una función creciente de los logros educativos y proporcional a la brecha,  $(T(t) - A(t)) / A(t)$ . (Nelson, R. y Phelps, E., 1966)

Algunos resultados paralelos a aquellos en el primer modelo pueden ser obtenidos si postulamos de nuevo el crecimiento exponencial de  $T(t)$ , como en (2), y la constancia de  $h$ . Primero, en el largo plazo, si  $h$  es positiva, la tasa de incremento del nivel de la tecnología en práctica,  $\dot{A}(t)/A(t)$ , normaliza al valor  $\lambda$ , independientemente del índice de logros educativos. La razón es esta: si, se afirma, que el valor de  $h$  es lo suficientemente grande para que  $\dot{A}(t)/A(t) > \lambda$  inicialmente, la brecha se estrecha, pero el estrechamiento de la brecha reduce  $\dot{A}(t)/A(t)$ ; la brecha continúa estrechándose hasta, en el límite,  $\dot{A}(t)/A(t)$  ha caído al valor  $\lambda$  en cuyo punto el sistema está en equilibrio con una brecha constante. (Nelson, R. y Phelps, E., 1966)

Entonces los incrementados logros educativos incrementan la trayectoria de la tecnología en práctica en el largo plazo. (Nelson, R. y Phelps, E., 1966)

En una economía tecnológicamente estancada ( $\lambda = 0$ ), la brecha se acerca a cero para cada  $h > 0$ . En una economía tecnológicamente progresiva ( $\lambda > 0$ ), hay una brecha de equilibrio positiva para cada  $h$  y  $\lambda$ . La brecha de equilibrio es creciente en  $\lambda$  y decreciente en  $h$ . (Nelson, R. y Phelps, E., 1966)

En el primer modelo fue visto que la productividad marginal de los logros educativos son una función creciente de  $\lambda$  y positivos solo si  $\lambda > 0$ . Eso también es cierto del segundo modelo en el largo plazo (una vez que el efecto de un incremento en  $h$  ha tenido tiempo para influenciar el nivel de  $A(t)$  así como también su tasa de cambio). La ecuación (12) muestra que la elasticidad del nivel de equilibrio de largo plazo de la tecnología en práctica,  $A^*(t)$ , con respecto a  $h$  es creciente en  $\lambda$ :

$$(12) \quad \frac{\partial A^*(t)}{\partial h} \frac{h}{A^*(t)} = \left[ \frac{h\Phi'(h)}{\Phi(h)} \right] \left[ \frac{\lambda}{\Phi(h)+\lambda} \right]$$

Esto indica que la rentabilidad de los logros educativos incrementados es mayor mientras más tecnológicamente progresiva es la economía. (Nelson, R. y Phelps, E., 1966) Entonces, realmente hay una relación bidireccional entre los avances tecnológicos y educativos; como se ha planteado en los análisis de divergencia de ingresos entre países, se ha demostrado que muchos países no han logrado el catch-up aun cuando tienen acceso a los avances tecnológicos más actuales, dado que sus niveles educativos son muy bajos, y los niveles educativos favorecen la adopción de nuevas tecnologías. (Benhabib, J. y Spiegel, M. , 1994) Además, cuando se asocia personal altamente calificado a nuevos equipos, existe una gran probabilidad de que tal combinación resulte en un gran incremento de la productividad; de otro modo, podría suceder que aun cuando el equipo sea el más novedoso o el personal el más calificado, si no se asocia a una contraparte del mismo nivel, difícilmente podrá explotar todos los rendimientos que se derivan de sus capacidades. *Esto sugiere que la progresividad de la tecnología tiene implicaciones para la estructura de capital óptima en un sentido general. En particular, puede ser que la sociedad deba construir más capital humano relativo al capital tangible mientras más dinámica es la tecnología.* (Nelson, R. y Phelps, E., 1966)

Volviendo al modelo de Romer (1990a), los dos supuestos básicos de la forma funcional son que el producto de diseños es lineal en cada  $H_A$  y  $A$  cuando la otra variable se mantiene constante. (Romer, 1990a) Con estos supuestos, se sostiene la premisa de que  $A$  crece de forma ilimitada; pero además, elimina, en alguna medida, el problema de definir como se distribuye el ingreso en el sector de investigación. En realidad, esto responde, a que el producto marginal del capital humano utilizado en el sector de bienes de consumo depende directamente del crecimiento de  $A$ . La cuestión es que, se debe cumplir la condición de que el capital humano empleado en la producción de diseños crezca en proporción al nivel de la tecnología ( $A$ ), de lo contrario la forma funcional perdería su carácter lineal, y cuando esto suceda, habrá una transferencia de capital humano del sector de investigación al sector de productos manufactureros. El hecho es que, se supone implícitamente que el crecimiento de  $A$  podría estar reduciendo las oportunidades de investigación, por lo tanto, será más complicado incrementar o incluso sostener el nivel de productividad marginal del capital humano en ese sector.

Cabe recordar que, hasta ahora el modelo básico del crecimiento endógeno no ha considerado diferencias entre los conocimientos y capacidades del capital humano; es decir, para Romer (1990) no hay distinción alguna entre un entrenamiento específico y uno general, la simplicidad del modelo no permite tal distinción, de otro modo, la transferencia de capital humano entre los sectores no sería posible bajo los supuestos funcionales planteados.

Sin embargo, la manera en que Romer (1990) introduce el conocimiento en el modelo, presenta una lógica particular, con la cual se minimizan los problemas de la apropiabilidad y otros relativos al problema moral de concebir a las personas capacitadas como mercancías. En primer lugar, lo considera en tanto que es incrustado en un bien tangible, los diseños, el cual puede ser intercambiado mediante procesos de mercado pues sirve de insumo al sector productor de bienes de capital. Este sector, adquirirá los nuevos diseños, en tanto que incrementaran su productividad, puesto que comprenden un insumo fundamental en la producción de nuevos bienes de capital físico, así, cada nuevo bien corresponde a un cambio tecnológico.

Por otro lado, los nuevos diseños incrementan el acervo de conocimientos disponibles; pues, tales conocimientos no están solo incrustados en las personas, sino que elimina el problema de la apropiabilidad automática. Es decir, que bajo la percepción de Romer (1990), cada conocimiento nuevo generado puede estar disponible para otros, en tanto que tales avances en materia de conocimientos nuevos sean incorporados en memorias externas, es decir, en los diseños y no en las personas.

Como Romer (1990a) expresa; *un diseño nuevo permite la producción de un bien nuevo que puede usarse para obtener el producto. Un diseño nuevo incrementa también el acervo total de conocimientos y así incrementa la productividad del capital humano en el sector de investigación. El propietario de un diseño nuevo tiene derechos de propiedad sobre su uso en la producción de un nuevo bien de productor duradero, pero no sobre su uso en investigación.* (Romer, 1990a)

Así, los nuevos conocimientos de las personas pueden ser apropiados únicamente en tanto que estén incrustados en los diseños y estos se utilicen en el sector de producción de bienes de capital, pues se supone que esos diseños están protegidos por derechos de propiedad. Pero, al mismo tiempo se supone que pueden utilizarse con la ausencia de protección para efectos de investigación, pues constituyen un incremento en el acervo de conocimientos disponibles. Esta percepción, estaría garantizando incentivos para que el sector de investigación desee invertir en nuevos conocimientos, el problema es que en este modelo no se demuestra si los rendimientos provenientes de los nuevos diseños proveen las ganancias suficientes a este sector.

Por otro lado, el sector de investigación deberá contar con al menos dos firmas con capacidades similares, pues según lo expuesto en párrafos anteriores, dicho sector utilizaría lo que en términos de Becker (1962) corresponde a capital humano con capacidades o adiestramiento específico, y para que el acervo general de conocimientos proveniente de los nuevos diseños pueda crecer y ser aprovechado, se requiere de personal calificado que pueda comprenderlo y utilizarlo, además de las firmas o la firma donde se ha generado; de otro modo, la difusión de conocimiento requeriría inversiones

tanto en capacidades como en tiempo para poder asimilar los conocimientos nuevos. *Lo que importa para los resultados es que el conocimiento es un bien no rival que es parcialmente excluible y se proporciona en privado.* (Romer, 1990a)

Anteriormente se afirmó que el modelo de Romer (1990a) presenta una restricción, con la cual asume que el capital humano puede considerarse homogéneo; es decir, cualquiera podría ocupar el capital humano ya sea para la investigación o para la producción de bienes de consumo final, sin considerar que ambos sectores requieren capacidades distintas en las personas. Esto necesariamente conduce a desconocer el mecanismo por el cual es posible incrementar el nivel de capital humano.

Según los postulados de este trabajo, efectivamente, el capital humano puede utilizarse en cualquiera de los sectores, pero el grado de especialización es diferente; así pues, parece coherente suponer que el sector de investigación requiere capital humano con capacidades específicas mientras que el sector de bienes finales requiere capacidades derivadas del adiestramiento general, esta diferencia podría agregarse al modelo aunque quizá, con una pérdida de eficiencia.

Este resultado se deriva del supuesto de linealidad y de la noción de que el adiestramiento especializado necesariamente requiere un mínimo de capacidades generales; así pues, si se logrará integrar la diferencia de las capacidades del capital humano dentro del modelo la linealidad se mantendría, puesto que sería posible transferir dicho capital de un sector a otro; sin embargo, la pérdida de eficiencia surge cuando en dicha transferencia el capital humano especializado en el sector de investigación, que supone una inversión previa, es dejado fuera para utilizar únicamente aquel capital con adiestramiento general requerido en la producción manufacturera.

Por otro lado, la dinámica del modelo de Romer (1990a) sugiere que los precios en cualquier momento sean medidos por unidades de producto corriente con una tasa de interés de los préstamos denominados en bienes. Establece que  $P_A$  será el precio de los diseños mientras que  $w_H$  denotará la

tasa de rentabilidad por unidad de capital humano. Dicha tasa es la misma para todo el capital humano disponible, lo que sugiere que las capacidades requeridas en los sectores de investigación y de bienes manufacturados son homogéneas, al mismo tiempo permite la rotación de personas entre sectores, sin necesidad de que las firmas incurran en nuevos costos por capacitación.

Sin embargo, bajo los postulados que se siguen del modelo de Becker (1962), ni las firmas ni los trabajadores tendrán mayores incentivos para desarrollar más capital humano, las firmas porque la rotación evitará que puedan obtener todas las ganancias posibles de sus inversiones, mientras que las personas preferirán no realizar inversiones para especializarse y quedarse en el sector de investigación porque la tasa de rendimiento es la misma en ambos sectores. Ahora bien, la condición de que cualquier agente puede utilizar el capital humano en cualquiera de los sectores, conduce a la conclusión de que en el modelo de Romer (1990) el capital humano no crece sino que permanece de alguna forma con la misma magnitud, determinada como una proporción del tamaño de la población.

Bajo estas condiciones lo único que puede crecer es el acervo de diseños, que si bien implica una mayor acumulación de conocimientos no necesariamente significa que crezca la cantidad de capital humano disponible; además, supone que con cada nuevo diseño el capital humano utilizado en el sector de investigación es necesariamente más productivo, exactamente como se afirma en el segundo supuesto sustantivo, de ahí que no haya incentivos para la rotación entre sectores. La cuestión subyacente al argumento anterior es que, efectivamente el capital humano se hará más productivo, pero en nuestros términos esto sucederá siempre y cuando se involucre en un proceso de learning by doing.

No obstante, el modelo parece presentar una inconsistencia lógica derivada precisamente de este supuesto, puesto que, el incremento de la productividad en el sector de investigación necesariamente requiere un incremento en la tasa del rendimiento (entendida como la retribución a este factor) del capital humano en ese sector, lo que lleva a un desequilibrio respecto al sector productor de bienes finales, este desequilibrio supondrá que la mejora en los salarios

provocará que los empleados en el sector de bienes de consumo se trasladen al sector de investigación, lo cual aparece como un incentivo para la rotación entre estos sectores y elimina la restricción por la cual cualquier agente puede dedicar capital humano sin distinción entre sectores. La única objeción válida para este argumento es que tales rendimientos del capital humano sean completamente absorbidos por las firmas del sector de investigación y estas no compartan nada de los beneficios con sus trabajadores; esto será posible únicamente considerando que tales rendimientos no están asociados al crecimiento de la productividad.

Esta última afirmación se confirma con la ecuación que relaciona el precio de los diseños con la tasa de renta del capital humano, misma que proviene del hecho de que los diseños están disponibles para todo aquel que desee utilizarlos en la investigación; de esta forma  $w_H = P_A \delta A$ . Donde  $P_A$  es el precio por los diseños nuevos,  $\delta$  el parámetro de la productividad de los investigadores y resulta evidente que la tasa de rentabilidad del capital humano no está asociada directamente a su productividad puesto que es solo un parámetro; entonces, esta dependerá únicamente del crecimiento en el número de diseños disponibles.

De esta manera, el crecimiento económico es impulsado por el conocimiento incrustado en los nuevos diseños y no por las capacidades generadas en las personas; es decir, el modelo de Romer (1990) adjudica todas las posibilidades de crecimiento al resultado de las acciones de las personas que han adquirido un cúmulo de conocimientos y capacidades a través de su propia inversión en capital humano y no a los efectos que las personas capacitadas pueden aportar al sistema en términos de productividad. Esto es contrario al postulado planteado en este trabajo, el cual considera que el sistema económico debe poner énfasis en las personas y sus capacidades, pues en primer lugar, ellas son las que producen todos esos diseños a partir de sus conocimientos y creatividad. Segundo, aun cuando los diseños que las personas producen pueden traer mejoras en términos de productividad, hay otras consideraciones que se deben tener en cuenta, como que los beneficios de las mejoras a los bienes de capital físico provenientes de dichos diseños no podrán ser

explotados por completo, si estos bienes no se asocian a personas cuyas capacidades permitan el desempeño óptimo de dichos bienes.

Ahora bien, veamos el mecanismo por el cual el modelo de Romer (1990a) determina las cantidades de bienes de capital y producto final que estimularán el crecimiento económico. Dado que los bienes solo pueden convertirse en capital uno por uno su precio será uno y su tasa de rendimiento,  $r$ . Entonces, las empresas productoras de bienes de capital se comportan de acuerdo a un entorno de competencia perfecta, son maximizadoras y tomadoras de precios, así tomaran como dado el precio de los diseños  $P_A$ , y uno para los bienes de capital y la tasa de interés.

Por su parte las firmas productoras de bienes finales enfrentaran una lista de precios  $p(i)$  para todos los bienes de productor duradero y la cantidad maximizadora para cada uno de esos bienes será  $x(i)$ . La demanda agregada de bienes de consumo final dependerá de los valores de capital humano y mano de obra utilizados en ese sector, así la función de maximización de este sector es:

$$\max_x \int_0^{\infty} [H_Y^\alpha L^\beta x(i)^{1-\alpha-\beta} - p(i)x(i)] di$$

Diferenciando para obtener la función de demanda inversa

$$p(i) = (1 - \alpha - \beta)H_Y^\alpha L^\beta x(i)^{-\alpha-\beta} \quad (4)$$

La curva de demanda de la ecuación (4) es lo que toma como dado el productor de cada bien duradero especializado al escoger el precio maximizador de la ganancia que habrá de fijarse. Frente a valores dados de  $H_Y$ ,  $L$  y  $r$ , una empresa que ya ha incurrido en la inversión de costo fijo en un diseño escogerá un nivel de producto  $x$  para maximizar su ingreso menos el costo variable en cada fecha (Romer, 1990a):

$$\begin{aligned} \pi &= \max_x p(x)x - r\eta x \\ &= \max_x (1 - \alpha - \beta)H_Y^\alpha L^\beta x^{1-\alpha-\beta} - r\eta x \quad (5) \end{aligned}$$

El ingreso por la renta de los bienes duraderos para la empresa será,  $p(x).x$ , y el costo será el interés sobre las  $\eta x$  unidades de producto utilizadas en la producción de  $x$ ; es decir, el número de unidades de consumo sacrificadas por cada unidad de producto duradero producido multiplicado por la tasa de interés. El precio de la ecuación (5) consiste en un precio de monopolio, el cual es el mejor que puede cobrar la empresa productora de bienes duraderos por la renta de sus bienes, puesto que enfrenta una demanda de un gran número de productores de bienes finales.

Según Romer (1990a) la decisión de producir un nuevo insumo especializado depende de una comparación de la corriente descontada de ingresos netos y el costo de la inversión inicial en un diseño. (Romer, 1990a)

El modelo construido por Romer (1990a) presenta una solución para un equilibrio de crecimiento estable, el cual conduce a un equilibrio que cumple con las siguientes condiciones:

- Los consumidores hacen ahorros y toman decisiones de consumo considerando dadas las tasas de interés;
- Los poseedores de capital humano deciden si trabajan en el sector de investigación o en el sector manufacturero tomando como dado el acervo de conocimiento total  $A$  el precio de los diseños  $P_A$  y la tasa salarial en el sector manufacturero,  $w_A$ ;
- Los productores de bienes finales escogen la mano de obra, el capital humano y una lista de bienes duraderos diferenciados, tomando los precios como dados;
- Cada empresa propietaria de un diseño que fabrica un bien de productor duradero maximiza su ganancia tomando como dadas la tasa de interés y la curva de demanda de pendiente negativa que afronta, y fijando los precios al nivel que maximice las ganancias;
- Las empresas que consideren su entrada a la producción de un bien duradero toman como dados los precios de los diseños; y
- La oferta de cada bien es igual a la demanda. (Romer, 1990a)

El modelo presentado hasta ahora, mantiene un comportamiento que permite explicar dentro del sistema el crecimiento del cambio tecnológico por medio del capital humano y la mano de obra. En este sentido parece ser que el modelo pone énfasis en las actividades de las personas y la generación de capacidades a través de inversiones en capital humano; sin embargo, el modelo sigue tal comportamiento puesto que en realidad  $A$  se determina de manera exógena, pero esta determina a su vez el conjunto de los bienes duraderos. Puesto que, se considera que las preferencias son descontadas de elasticidad constante; se presentan dos casos: a) con  $A$  fija se llega a un equilibrio estable donde  $k$  se determina igualando el producto marginal del capital a la tasa de descuento; b) si  $A$  crece a una tasa exponencial el sistema se encaminará a una situación en la que  $K$  crecerá a la misma tasa que  $A$ , esta situación modifica la proporción de  $K$  a  $A$ , y en consecuencia la tasa de renta del capital y su curva de demanda también cambiarán. Estas condiciones implican un equilibrio estático, cuya solución requiere que el acervo de conocimientos crezca a una tasa constante y la cantidad y acumulación de capital humano sean exógenas.

Llama la atención, que el modelo sostiene la linealidad en el producto de diseños (ausencia de convexidad), puesto que considera los efectos derivados de la difusión del conocimiento; es decir, el hecho de que el número de diseños pueda ser utilizado sin exclusión en el sector de investigación. Por otro lado, se considera que esa ausencia de convexidad en el sector de bienes de consumo final se mantiene por la presencia de la competencia monopólica. En realidad, cualquiera que sea la situación la ausencia de convexidad se sostiene por que el conocimiento  $A$ , constituye un insumo en la producción y se caracteriza por la no rivalidad, al mismo tiempo que compensa el efecto de los rendimientos decrecientes a través de las externalidades.

Sin embargo, considerando que las externalidades de la difusión del conocimiento, tal como las plantea Mincer (1981) también pueden incrementar la productividad tanto en la firma que lo utilice como en firmas externas, el modelo debería ocuparse de internalizar tales externalidades, de otro modo exhibirían rendimientos crecientes en los sectores donde  $A$  sea utilizado como

insumo. En realidad, la ausencia de convexidad proviene más de los supuestos que de la dinámica del modelo.

Como se ha podido apreciar estos modelos representan un avance en la explicación del crecimiento al considerarlo como un proceso endógeno; sin embargo, se ha visto que aun cuando han resuelto algunas dificultades como la presencia de los rendimientos decrecientes del capital, bajo nuestra perspectiva siguen siendo incompletos, en tanto que no introducen una explicación endógena para el capital humano.

Además, se ha visto que tratar de ajustar variables como el capital humano y el conocimiento a modelos que se conforman por una función de producción tipo Cobb-Douglas, conduce a ciertas dificultades para integrar estos conceptos en su forma completa; asimismo, al plantear el crecimiento con estas formas funcionales, los teóricos buscan determinar equilibrios estacionarios o estáticos, lo que impide que se incorporen al modelo todos los efectos y atributos de estos conceptos.

Otra dificultad en el enfoque del crecimiento endógeno es el supuesto de rendimientos constantes a escala en el proceso crucial de producción. Esto implica que la suma de los exponentes de los factores (en este caso, capital físico y capital humano) en las funciones sea igual a uno, esto es por el supuesto del crecimiento del estado estacionario, si fuera de otro modo la economía llegaría a un estado estacionario en el cual no habría crecimiento en las cantidades per cápita. ( (McCallum, 1996), (Mankiw, G.; Romer, D. y Weil, D., 1992))

## **5.- LA INNOVACIÓN COMO MOTOR DE CRECIMIENTO, UN ENFOQUE SCHUMPETERIANO**

Este apartado se enfoca en analizar algunas de las implicaciones que tienen el conocimiento y el capital humano cuando se analiza el crecimiento endógeno bajo el esquema neo-schumpeteriano. En principio, se verá que, bajo este esquema las empresas se enfrentan bajo los principios de competencia monopólica, al menos en uno de los sectores, con la finalidad de que los incentivos para la innovación estén presentes en la forma de ganancias de

monopolio. Al mismo tiempo, la presencia de estos monopolios ayuda a reducir, en alguna medida, el efecto de los spillovers derivados de la generación de nuevos conocimientos. En estos modelos, el sector clave produce innovaciones a través de las inversiones en investigación y desarrollo; en este sentido, las empresas o agentes privados se ocupan de la generación de nuevos conocimientos; en el sentido, de que muchas innovaciones resultan en cambios tecnológicos y finalmente ambos son esencialmente conocimientos nuevos o conocimientos existentes articulados de una forma distinta.

Un elemento común en estas teorías ha sido su interés en explicar el crecimiento económico a partir del conocimiento, en ambos casos este no se incorpora al modelo directamente sino que se hace partícipe a través de su incorporación en la fuerza de trabajo; es decir, el capital humano.

Como se verá más adelante, el desarrollo de estos modelos no ha permitido introducir el capital humano como la variable explicativa de manera directa sino que esto solo ha sido posible por medio de sus resultados; por ejemplo, en el modelo de Romer (1990) existe un sector de investigación que utiliza capital humano y este, en conjunción con el acervo de conocimiento produce nuevos diseños, para la elaboración de bienes de capital; en los modelos que se presentan el capital humano se utiliza también en el sector de investigación, el cual produce innovaciones que hacen que el sistema se vea inmerso en un proceso de destrucción creativa.

La objeción que se plantea es que al momento de resolver ambos modelos, algunas consideraciones importantes como la determinación de los salarios del capital humano, se toman como dados, o determinados fuera del modelo.

Así pues, en este capítulo se toman como referencia y punto de partida para el análisis del crecimiento endógeno los modelos de Aghion y Howitt (1992), y Howitt (1999); cuyas innovaciones verticales, generadas por un sector de investigación, constituyen la fuente subyacente de crecimiento. *El equilibrio es determinado por una ecuación diferencial de prospectiva, de acuerdo a la cual la cantidad de investigación en cualquier periodo depende de la cantidad esperada de investigación del siguiente periodo. Una fuente de esa relación*

*intertemporal es la destrucción creativa. Esto es, la posibilidad de más investigación futura desalienta la investigación actual por la amenazante destrucción de las rentas creadas por la investigación actual.* (Aghion & Howitt, 1992)

Como se puede apreciar el modelo desarrollado por Aghion y Howitt (1992) constituye un enorme esfuerzo para avanzar en la construcción teórica al considerar cuestiones estrechamente relacionadas con el conocimiento, pero que habían pasado desapercibidas o no se habían incorporado en los modelos de crecimiento por las dificultades técnicas que ello supone. Tales cuestiones son la relación intertemporal entre el conocimiento nuevo y el pasado, la depreciación de los bienes de capital integrada aquí bajo los efectos de la destrucción creativa en el sistema económico como un todo, los rendimientos constantes del capital humano y los efectos spillover del conocimiento.

Por su parte, el modelo de Howitt (1999) se construye con el objetivo de demostrar que el sistema puede llegar a un equilibrio estacionario aun cuando, la población y los insumos para la investigación y desarrollo (I+D) crezcan continuamente. El supuesto básico, a diferencia de los estudios empíricos y, de acuerdo con Romer (1990a), es que una mayor población o una población creciente puede considerarse como una oferta potencial de trabajadores para el sector de I+D, al mismo tiempo que una población mayor supone un incremento de la demanda por los servicios del capital humano, dado que las empresas en este modelo compiten a través de las innovaciones que puedan desarrollar y el incremento de la población aumentaría el tamaño del mercado que podría ser capturado por un innovador exitoso. (Howitt, 1999)

Sin embargo, según los postulados de este trabajo, estos modelos no consideran adecuadamente el capital humano, ya que no determinan cuáles son sus fuentes, cómo es posible desarrollarlo e incrementarlo; sino que se enfocan únicamente en los resultados que de su utilización se derivan. Hasta ahora, se podría afirmar que las razones por las cuales no se integra el capital humano como una variable endógena, es que, en primer lugar es complicado estimar, tanto la cantidad y acumulación que se puede lograr a través de las inversiones en las capacidades de las personas, como del efecto que produce

en el crecimiento económico. Segundo, que aun cuando se pueda determinar claramente a que resultado conducen tales inversiones, habría un problema de apropiación de la rentabilidad cuando estas inversiones sean realizadas por terceros y no por las personas de manera individual. A este respecto es necesario recordar, que las personas individualmente y sin importar la procedencia de las inversiones se convierten en dueñas y acreedoras del nivel de capital (conocimiento) que puedan alcanzar.

Por otro lado, está claro que el objetivo de estos autores es poner énfasis en los mecanismos que harían posible endogeneizar la innovación, más que el capital humano, pero este trabajo postula que sería, de algún modo, más sensato introducir el capital humano en sus diversas variantes, a la manera de Becker (1962), siguiendo los mecanismos técnicos de modelación que se han planteado hasta el momento; es decir, el capital humano puede ser más fácilmente considerado como una variable, puesto que pueden ser medidos, tanto los esfuerzos en su desarrollo como sus resultados, expresados en innovaciones.

Además, si el postulado que plantea que las innovaciones surgen a partir de una mayor acumulación de capital humano y que tales innovaciones necesariamente inducen un mayor crecimiento de la riqueza, sería del todo coherente considerar que el objetivo del sistema económico es aumentar la cantidad de capital humano disponible; como ya se ha mencionado, la cuestión es ir un paso atrás en la estructura de las tecnologías e innovaciones, para llegar hasta lo que se considera su esencia fundamental. De acuerdo a esta lógica, un modelo de crecimiento endógeno podría esforzarse en modelar dicha dinámica, lo que en alguna medida ha sido posible, considerando las inversiones en capital humano y sus efectos.

La literatura pionera (Romer, 1986; Lucas, 1988) ha enfocado sus esfuerzos en endogeneizar la fuente subyacente de un crecimiento sostenido en el ingreso per-capita, llamada la acumulación de conocimiento. Hay muchos canales a través de los cuales las sociedades acumulan conocimiento, incluyendo educación formal, adiestramiento en el trabajo, investigación científica básica, aprendizaje en la práctica (learning by doing), innovaciones de proceso, e

innovaciones de producto. El artículo de Aghion y Howitt (1992) se enfoca en la innovación industrial, la cual, para ellos, necesariamente mejora la calidad de los productos. (Aghion & Howitt, 1992)

Como se ha explicado en el capítulo anterior, el modelo de Romer (1990) considera que la acumulación de conocimiento es clave para explicar el crecimiento de los ingresos, pero también se mencionó que pone poco énfasis en cómo se acumula el capital humano, el cual a consideración de este trabajo es el único capaz de utilizar los conocimientos preexistentes para generar avances en el conocimiento y mejorar su calidad, al mismo tiempo que es el único capaz de provocar cambios tecnológicos e innovaciones a través de su creatividad.

Atendiendo al objetivo de Aghion y Howitt (1992), se entiende que la innovación industrial constituye el canal que introduce dentro de la teoría del crecimiento endógeno el factor de obsolescencia; los mejores productos hacen del producto previo uno obsoleto. La obsolescencia ejemplifica [...] *que el progreso crea ganancias como también pérdidas*. (Aghion & Howitt, 1992). En términos de los postulados de este trabajo, esos mejores productos no solo provocan la obsolescencia de los productos previos, sino que pueden servir de base para los nuevos desarrollos, aun cuando tal obsolescencia suponga una pérdida, esta puede tener un impacto positivo sobre la aparición de conocimientos nuevos, pues como se explicó en el capítulo uno, las tecnologías emergen a través de un proceso acumulativo.

Por otro lado, el modelo de Howitt (1999) enfatiza más el hecho de que el crecimiento puede ser estacionario con una población creciente y aumentos en la I+D, aun cuando estos incrementos reflejen rendimientos a escala; el mecanismo, es que tales efectos de escala son compensados por la proliferación que fragmenta la demanda creciente para bienes intermedios, impidiendo que la recompensa de cualquier innovación específica se eleve con la población. (Howitt, 1999)

Este modelo se construye con los mismos supuestos básicos del modelo de Aghion y Howitt (1992), con la diferencia de que aquí las innovaciones se

presentan de dos formas una horizontal y otra vertical, cuya emergencia requiere de gastos de las empresas en forma de I+D específica para cada innovación. La innovación vertical aparece en la forma de mejoras en la calidad de los bienes intermedios; mientras que la innovación horizontal es aquella dirigida a la creación de nuevos productos, aquí supone que la I+D horizontal presenta rendimientos decrecientes debido a las diferencias en las habilidades de los trabajadores.

### **5.1 Los mecanismos y efectos de la destrucción creativa como parte de la estructura de los modelos**

En este apartado se presenta la estructura de los modelos planteados por Aghion y Howitt (1992) y Howitt (1999), estos modelos se construyen a partir de considerar innovaciones radicales, en el sentido de que son capaces de cambiar la economía por entero. Se toma en cuenta el tiempo gastado entre la aparición de una innovación y la previa, pero sin considerar la importancia histórica de la primera y sus posibles efectos para el desarrollo de la nueva.

Un elemento interesante es el efecto de las posibles nuevas innovaciones sobre la cantidad de investigación en el presente, esta situación representa algunas dificultades técnicas y en el desarrollo del modelo se considerada dada, las dificultades a que se hace mención son que al considerar que dicha cantidad de investigación está dada, el modelo difícilmente podrá explicar cambios en las variables a partir de la investigación, que en un sentido más profundo implicaría cambios en la cantidad de capital humano utilizado para tal efecto; en pocas palabras, el modelo no permite explicar la acumulación de capital humano.

El modelo de Aghion y Howitt (1992) supone que, las innovaciones individuales son suficientemente importantes para afectar la economía entera (esto se desprende del concepto mismo de innovación). Un periodo, es el tiempo entre dos innovaciones sucesivas. La longitud de cada periodo es aleatoria, debido a la naturaleza estocástica del proceso de innovación, pero la relación entre la cantidad de investigación en dos periodos sucesivos puede ser modelada como determinista. La cantidad de investigación en ese periodo depende

negativamente de la cantidad esperada de investigación del siguiente periodo, a través de dos efectos: el primero relativo a la destrucción creadora y el segundo en relación al salario percibido por la mano de obra calificada. (Aghion & Howitt, 1992)

En el primer efecto la rentabilidad de investigación del periodo inicial corresponde a los posibles ingresos de monopolio esperados para el siguiente periodo. Dichos ingresos tienen un tiempo de vida determinado por el tiempo que tarde en surgir la siguiente innovación, cuando esto ocurra los nuevos conocimientos provocarán la obsolescencia de los ingresos previos. Cabe destacar que la aparición de las nuevas innovaciones hará obsoletos los ingresos anteriores, pero el conocimiento incorporado en las anteriores innovaciones se perderá puesto que el modelo no considera la historia ni el carácter acumulativo del conocimiento.

El segundo efecto está dado por el trabajo en el equilibrio general a través de los salarios de la mano de obra calificada, en este caso la mano de obra puede transitar entre el sector de investigación o el de manufacturas, al igual que sucede en el modelo de Romer (1990) con el sector de investigación y el sector productor de bienes intermedios. Bajo esta situación una expectativa de mayor investigación en los periodos siguientes supondrá un incremento en la demanda de mano de obra calificada que se utiliza en dicho sector, tal incremento se corresponde con una expectativa de mayores salarios reales para la mano de obra calificada. Aquí surge un problema puesto que dicho incremento en la demanda supondría una caída en la oferta de mano de obra para el sector manufacturero, lo que implica también un incremento en los salarios de ese sector; esta situación se debe a que la cantidad de mano de obra calificada es fija, y la única posibilidad de un incremento en cualquiera de los sectores es a través de la rotación del personal de un lado a otro.

Por otro lado, los salarios mayores del siguiente periodo reducirán las rentas de monopolio que pueden ser ganadas por el conocimiento exclusivo de como producir los mejores productos. Entonces la expectativa de más investigación en el siguiente periodo desalentará la investigación en este periodo reduciendo el flujo de acumulación de ingresos esperados para un innovador exitoso.

(Aghion & Howitt, 1992) Este resultado, surge como una consecuencia lógica de no considerar quien realiza los esfuerzos por generar más capital humano, de otro modo, aun cuando la expectativa de que la investigación futura rendirá mejores frutos, las firmas podrían tener incentivos para invertir actualmente si se garantizara que una mayor cantidad de capital humano incrementará la productividad actual, y si se considera que este mayor capital humano es capacitado con adiestramiento específico, la firma podría reducir al mismo tiempo los gastos en investigación futura.

Los esfuerzos de Aghion y Howitt (1992) para demostrar que se puede llegar a un equilibrio estacionario aun cuando se considere que la innovación es la fuente subyacente del crecimiento económico, tiene algunas implicaciones que se derivan de lo que se podría considerar como una limitación para tomar en cuenta todos los aspectos correspondientes al capital humano y sus efectos.

El equilibrio estacionario exhibe un crecimiento balanceado, en el sentido de que la asignación de mano de obra calificada entre investigación y manufacturas permanece sin alterar con cada innovación, el crecimiento del PIB sigue un camino aleatorio a la deriva. Como en la literatura de las generaciones traslapadas la relación funcional también puede ser satisfecha por trayectorias cíclicas. (Aghion & Howitt, 1992) Como se había mencionado anteriormente, suponer que la mano de obra calificada (el capital humano), se mantiene fija, impide tener en cuenta los problemas de la acumulación del mismo, por lo tanto, aquí no se presenta la posible evolución o crecimiento de la mano de obra calificada, que en los postulados de este texto resulta fundamental.

Esta afirmación podría refutarse si se consideran las taxonomías y las diferencias entre sectores, en tanto a la utilización de conocimiento. Es decir, los sectores utilizan distintas capacidades de mano de obra, y en algunos de ellos requieren ciertas especificaciones, por lo tanto, el modelo podría completarse incluyendo categorías de capital humano similares a las presentadas por Becker (1962).

En el modelo de Howitt (1999), el estado estacionario corresponde al equilibrio en el cual las relaciones de producto por trabajador, la productividad ajustada de la cantidad de I+D vertical por producto, y la fracción de PIB asignado a la I+D horizontal son constantes a sus respectivos valores de crecimiento. En este caso, si la tasa de interés es lo suficientemente baja existirá un único estado estacionario.

Por otro lado, en el estado estacionario que plantea Howitt (1990) la tasa de crecimiento del producto por persona depende de la cantidad de I+D vertical por producto; aquí el potencial efecto de la oferta de un aumento en el número de trabajadores en I+D se nulifica por el aumento del número de productos, por medio de la reducción de los spillover. Para el caso de la fracción de PIB asignado a la I+D horizontal, se muestra que esta depende únicamente de los parámetros que afectan los dos tipos de I+D, mientras que la productividad ajustada del PIB por producto dependerá positivamente del crecimiento de la población; pero la I+D vertical será convexa respecto al origen puesto que un incremento en la intensidad de la I+D horizontal, reduce la productividad ajustada del nivel de PIB por producto. Este efecto de escala resulta en un decremento de los beneficios acumulados para las innovaciones verticales exitosas, desalentando la innovación vertical. Howitt (1999) introduce una tasa de subsidio a la I+D, que incentivara los dos tipos de I+D; y va más allá, respecto a los modelos precedentes al afirmar que el estado estacionario dependerá positivamente de esta tasa, como de las tasas de crecimiento de la población, la productividad de la I+D vertical y el tamaño de las innovaciones verticales, pero negativamente de la tasa de interés. En este caso, aun cuando el subsidio estimule directamente los dos tipos de I+D, la intensidad en la I+D horizontal no puede aumentar en el largo plazo porque su valor extremo, está condicionado por la igualdad del producto marginal de los dos tipos de I+D. (Howitt, 1999)

Como se puede apreciar, la distinción entre dos distintos tipos de I+D, requiere necesariamente el uso de capacidades distintas de los trabajadores, lo que en nuestros términos implica dos diferentes tipos de capital humano. Así podemos afirmar que el capital humano que se requiere para las innovaciones verticales,

requiere una menor especialización y está asociado a conocimientos empresariales; mientras que las innovaciones horizontales requieren la combinación de conocimientos en ciencias básicas e ingenieriles para poder crear nuevos productos.

Volviendo al modelo de Aghion y Howitt (1992), encontramos que una implicación de la dependencia negativa de la investigación actual sobre la investigación futura es, *la posible existencia de lo que llamamos “trampa sin crecimiento”, un equilibrio cíclico en el cual el nivel de investigación oscila determinísticamente entre dos niveles en cada periodo y en el cual el más bajo de esos dos niveles es cero.* (Aghion & Howitt, 1992) Como se mencionó anteriormente, tal resultado deviene del hecho de no considerar el conocimiento como un proceso acumulativo, de otro modo, habría elementos para objetar este resultado.

Otra implicación es que, a diferencia del modelo de Howitt (1999), la tasa media de crecimiento de la economía no es necesariamente incrementada por aumentos en la productividad de investigación. *En particular, un parámetro de cambio que hace a la investigación más productiva en algunos estados del mundo puede desalentar la investigación en otros estados, incrementando la amenaza de obsolescencia encarada por el producto de investigación en aquellos estados, hasta el punto en que la tasa promedio de crecimiento se reduce.* (Aghion & Howitt, 1992) Este problema de desalentar la investigación se resuelve en alguna medida en el modelo propuesto por Howitt (1999), al dividir la investigación en dos actividades distintas y al suponer que los gastos en I+D, cualquiera sea el caso, están subsidiados.

Además, esta afirmación es contraria a la postura de Romer (1990), pues este último considera que el crecimiento de la productividad necesariamente conducirá a un incremento en el número de diseños y el cúmulo de conocimientos, lo que al final del proceso hace posible el crecimiento económico. Pero lo más interesante, es que Aghion y Howitt (1992) no explican los motivos por los cuales se presentaría un cambio en los parámetros de la productividad en investigación; sin embargo, en Howitt (1999) tal parámetro depende de los gastos y la productividad de vanguardia, la cual se podría

asociar a los conocimientos más avanzados en ese rubro, así las empresas se enfrentarían a una especie de catch-up, en el cual mientras mayores sean los gastos en I+D mayor será la posibilidad de alcanzar esa productividad de vanguardia. Bajo los postulados de este trabajo, tales incrementos son explicados precisamente por un incremento en las capacidades de la mano de obra que suponen de antemano un incremento de capital humano.

En el modelo de Aghion y Howitt (1992), la tasa media de crecimiento en el equilibrio estacionario puede ser más o menos que socialmente óptima por la presencia de efectos distorsionadores contradictorios. Específicamente, a pesar de que el modelo incluye la apropiabilidad y los efectos de derrama (spillovers) intertemporales, que generan una tasa de crecimiento menor que la óptima en el modelo de Romer (1990), este también tiene efectos que trabajan en la dirección opuesta. En particular, hay un efecto de robo del negocio (business-stealing) [...] *que es, que los investigadores no internalizan la destrucción de las rentas existentes creadas por sus innovaciones. Cuando el tamaño de las innovaciones es tomado como dado, el efecto de business-stealing puede conducir a demasiado crecimiento. Además, encontramos que cuando el tamaño de las innovaciones puede hacerse endógeno, el efecto de business-stealing tiende a hacer las innovaciones muy pequeñas.* (Aghion & Howitt, 1992)

El problema del business-stealing surge porque no se ha definido quien asume los costos de los incrementos en capital humano; en este sentido, considerar de antemano que, ya sean las personas o las firmas quienes realicen esfuerzos para incrementar dicho capital, se podría encontrar un mecanismo de internalización de las externalidades, por ejemplo, a través de los métodos de Ramsey-Boiteux. A este respecto, un subsidio como el planteado por Howitt (1999) también apoyaría la reducción del efecto de las externalidades.

Por otro lado, el modelo presentado por Aghion y Howitt (1992) agrega los efectos del equilibrio general de la investigación futura sobre los ingresos creados por la investigación actual, y del nivel de empleo manufacturero sobre el costo de investigación. En este aspecto, se considera que tales costos de

investigación no están completamente definidos, lo que por ende conduce a resultados insatisfactorios.

El modelo básico supone que cada innovación crea un monopolio de toda la economía en la producción de bienes intermedios. (Aghion & Howitt, 1992) Esto es similar al modelo de Romer (1990) donde el sector de bienes de productor determina su equilibrio de tal forma que pueda obtener beneficios de monopolio por los bienes ofertados.

En el caso del modelo de Howitt (1999), las empresas se enfrascan en un sistema de competencia tipo Bertrand, con la diferencia de que no se enfrentan a una guerra de precios, sino que se supone que el incumbente produce un bien inferior, y cuando el innovador entra al mercado el incumbente sale, dado que el producto del innovador que recién ha entrado al mercado es mejor, el incumbente que ha salido no podrá amenazar con volver a entrar. La cuestión es que, una vez llegados a este punto, el monopolista local puede cargar sus precios de monopolio sin restricciones.

Los modelos presentados operan de tal forma que su solución se encuentra en el sector que no utiliza capital humano como insumo directo, lo que conduce a un resultado donde el mercado de trabajo es prácticamente nulo; en el sentido de que los salarios se consideran fijos en aquellos sectores que utilizan capital humano. De esta manera, los incentivos por el empleo de este factor son capturados solo por los empresarios, mientras que los trabajadores no pueden cambiar la proporción de ingreso que perciben, sin importar el grado de calificación que posean ni, si ellos han invertido en adquirir mayores habilidades.

Por otro lado, en estos modelos se pone de manifiesto que los países con mayor riqueza son aquellos que logran producir una buena cantidad de medios de producción o bienes de capital, los cuales están inherentemente impregnados de conocimiento; de aquí deducimos que la riqueza de las naciones es explicada por los conocimientos desarrollados y acumulados para crear bienes de capital.

Nuevamente, la preocupación en este trabajo es que se pone énfasis en el sector productor de bienes de capital; es decir, ambos modelos, tanto el de Romer (1990) como el de Aghion y Howitt (1992) presentan una dinámica que resuelve el modelo para el sector que no utiliza capital humano como insumo directo, esto conduce a un resultado donde el mercado de trabajo es casi suprimido; en el sentido de que los salarios para los sectores donde se utiliza capital humano se consideran fijos o son determinados por otros medios.

## **5.2 Los modelos endógenos con I+D y su estructura formal**

El modelo propuesto por Aghion y Howitt (1992) considera tres tipos de bienes que pueden intercambiarse en sus respectivos mercados: el trabajo, un bien de consumo final, y un bien intermedio (o bien de capital). El modelo supone que los individuos se caracterizan por preferencias intertemporalmente aditivas, con una utilidad marginal constante, lo que conduce a suponer que  $r > 0$ , es la tasa constante de preferencias en el tiempo y la tasa de interés.

Por su parte, el modelo de Howitt (1990), plantea un esquema en el que se considera el consumo y la investigación y estos se producen en un entorno perfectamente competitivo, pero los insumos producidos son continuos y se producen con la misma función de producción. Como ya se había mencionado, una característica interesante de este modelo es la distinción que hace entre las innovaciones verticales y las horizontales; además, introduce un conjunto de bienes intermedios que son usados en toda la economía a los cuales se añade un parámetro que indica la productividad de la última versión de un producto intermedio.

A diferencia de Romer (1990) y Becker (1962) consideran que hay tres categorías de trabajo: trabajo que no requiere especialización, el cual puede ser usado solo en la producción del bien de consumo; mano de obra calificada, la cual puede ser usada ya sea en la investigación o en el sector intermedio; trabajo especializado, el cual puede ser utilizado solo en la investigación. Cada individuo es embebido con una única unidad de flujo de trabajo. Entonces  $M$ ,  $N$  y  $R$  denotan respectivamente la masa de individuos descalificados, calificados y especializados respectivamente. (Aghion & Howitt, 1992)

Esta percepción del trabajo constituye una segunda distinción respecto al modelo de Romer (1990) pues ahí el capital humano solo puede transitar entre el sector de bienes finales y el sector de investigación, aquí al contrario transita entre el sector de bienes finales y el sector intermedio, el cual puede ser considerado como el sector de bienes de productor, en términos de Romer (1990) Por su parte, el trabajo especializado es considerado tal y como se plantea en este trabajo, siguiendo el modelo de Becker (1962); en el modelo presentado por Aghion y Howitt (1992) se considera la especialización que se requiere para realizar investigación, pero este supuesto también es contrario al planteado por Romer (1990) quien considero que las habilidades requeridas en el sector de investigación son homogéneas respecto al sector productor de bienes de consumo final. Llama la atención que aunque el modelo supone de antemano una distinción entre las categorías de trabajo, al resolver el modelo estas se hacen de alguna manera homogéneas, debido a que la cantidad de capital humano es fija y lo único de que se ocupa el modelo es de definir cuál es la relación entre el trabajo utilizado en el sector de bienes de consumo final y el de investigación.

El modelo de Howitt (1999), considera que los bienes intermedios son producidos utilizando únicamente trabajo, esta es fijada inelásticamente a la población, la cual como en otros modelos crece a una tasa exógena. (Howitt, 1999). En este caso, a pesar de que los bienes intermedios comprenden una amplia gama que está disponible dentro de la economía, el trabajo puede considerarse como un factor homogéneo y descalificado, la única cuestión es respecto a que cantidad del mismo se utilizará para producir determinado bien.

El modelo de Aghion y Howitt (1992) supone que el bien de consumo es producido utilizando una cantidad fija  $M$  de mano de obra sin calificación y el bien intermedio, sujeto a rendimientos constantes. Ya que  $M$  esta fijo, la función de producción puede ser escrita como:  $y = AF(x)$  (2.1), donde  $F' > 0, F'' < 0$  (denota convexidad), y es el flujo de producto de bienes de consumo,  $x$  el flujo de insumos intermedios y,  $A$  un parámetro indicando la productividad del insumo intermedio. (Aghion & Howitt, 1992)

El modelo de Howitt (1999) presenta esta misma forma funcional, pero dado que en este último se especifica una diversidad de insumos intermedios así como un índice de productividad correspondiente a cada uno de ellos, la función opera a través de una integración y no presenta convexidad, al menos no en términos agregados.

En este caso, las innovaciones verticales están dirigidas a productos intermedios específicos, para los cuales se crean mejoras a la versión existente del producto existente, aquí el innovador desplaza al monopolista incumbente y se queda con el mercado hasta que aparezca una innovación en ese sector. Las innovaciones horizontales, garantizan al innovador un monopolio para los productos intermedios novedosos que han sido creados, hasta que llegue la primera innovación vertical. (Howitt, 1999)

Entonces, la cantidad de trabajo descalificado puede suponerse fija porque no hay nada que pueda incrementarla, salvo la tasa de crecimiento de la población; es decir, esta cantidad está asociada a la cantidad de población económicamente activa. Sin embargo, las inversiones en capital humano, incrementarán necesariamente las capacidades de las personas; por lo tanto, debería tenerse en cuenta que una proporción de toda la cantidad de mano de obra disponible se raciona a cada una de las categorías de trabajo, esto supondría que un incremento en las habilidades para cualquiera de los sectores que las requieren necesariamente reducirá la cantidad de mano de obra simple. Los rendimientos constantes se deben a la calificación del trabajo requerido en el sector de bienes intermedios, lo que compensa los rendimientos decrecientes del trabajador descalificado.

El bien intermedio es producido usando solo trabajo calificado de acuerdo a una tecnología lineal  $x = L$  (2.2), donde  $L$  es el flujo de trabajo calificado usado en el sector intermedio. (Aghion & Howitt, 1992), (Howitt, 1999))

La investigación produce una secuencia aleatoria de innovaciones. La tasa de llegada Poisson de innovaciones (que cumple con las características de la distribución de Poisson) en la economía en cualquier instante es  $\lambda\phi(n, R)$ , donde  $n$  es el flujo de trabajo calificado usado en la investigación,  $\lambda$  un

parámetro constante, y  $\phi$  una función de producción cóncava con rendimientos constantes. Ambos,  $\lambda$  y  $\phi$  están dados por la tecnología de investigación. No hay memoria en esa tecnología, ya que la tasa de llegada depende únicamente del flujo actual de insumos a la investigación, no en la investigación pasada. (Aghion & Howitt, 1992), (Howitt, 1999))

Como ya se había mencionado, no considerar la memoria de la tecnología anterior implica que los conocimientos previos no son considerados en la investigación para las nuevas generaciones de tecnología. Esto rompe el esquema en el cual se plantea que el conocimiento tiene un carácter acumulativo y debe considerar la historia; así, negaría también el surgimiento de conocimientos nuevos por medio de combinaciones y re combinaciones. Sin embargo, el modelo de Howitt (1999) con crecimiento constante de insumos y de la población, implica que si las innovaciones verticales en los productos intermedios comprenden una mejora de los mismos, estos no podrían surgir sin que la memoria de la tecnología y los conocimientos previos estén presentes, así pues, estas innovaciones verticales y la forma en que pueden emerger constituyen un avance respecto al modelo anterior de destrucción creadora.

Es importante destacar que el nivel de I+D vertical estará determinado por la condición de que el costo marginal de la I+D adicional será igual al beneficio marginal esperado. Sin embargo, la producción de innovaciones horizontales crecerá a una tasa determinada por una función cóncava del nivel de gastos en I+D horizontal y el producto bruto respecto a la productividad máxima obtenida en ese instante. Aquí el equilibrio debe cumplir una igualdad entre el costo marginal de los gastos en I+D horizontal, el valor esperado de una innovación horizontal multiplicado por el efecto marginal del gasto en I+D horizontal en el flujo de nuevos productos.

Por otro lado, en un sentido estricto la tecnología de investigación planteada por Aghion y Howitt (1992) puede verse como un símil a los diseños presentes en el modelo de Romer (1990) donde se supone que cada diseño por sí mismo constituye un conocimiento.

La cuestión subyacente a la forma en que se percibe el sector de investigación se deriva del hecho de que Aghion y Howitt (1992) han considerado las innovaciones como un proceso estocástico. Pero, como se mencionó en el capítulo dos, aun cuando las innovaciones tengan este carácter hay un cúmulo de conocimientos que sirven para conducir la investigación en innovaciones hacia esos procesos estocásticos.

Pero al parecer, Aghion y Howitt (1992) resuelven este problema considerando que todas estas posibilidades están presentes en  $R$ . La aleatoriedad puede ser explicada a través de los argumentos de Arthur en tanto que muchas tecnologías surgen como resultados inesperados, pero no es posible realizar investigaciones ni experimentar sin conocimientos previos, y sin buscar un propósito determinado.

El tiempo en este modelo es continuo, e indizado por  $\tau \geq 0$ . El subíndice  $t = 0, 1 \dots$  denota el intervalo de comienzo con la innovación  $t$  (o con  $\tau = 0$  en el caso de  $t = 0$ ) y finalizando solo antes de  $t + 1$ . La longitud de cada intervalo es aleatoria. Todos los precios y cantidades se supone que permanecen constantes dentro de cada intervalo. Si  $n_t$  es aplicada a la investigación en el intervalo  $t$ , la longitud del intervalo será exponencialmente distribuida con el parámetro  $\lambda\phi(n_t, R)$ . (Aghion & Howitt, 1992)

Las innovaciones constituyen un nuevo bien intermedio, el cual supone un incremento en la eficiencia productiva al ser utilizado en la producción de bienes de consumo.

Los incrementos en la productividad  $A$  en (2.1) están determinados por el uso de estos nuevos bienes intermedios por el factor  $\gamma > 1$ . No hay desfases en la difusión de tecnología. Siempre se producirá un bien intermedio más moderno, tal que:

$$A_t = A_0\gamma^t \quad (2.3)$$

donde  $A_0$  es el valor inicial dado por la historia. (Aghion & Howitt, 1992)

A diferencia de Romer (1990) los incrementos en la productividad están determinados por el sector productor de diseños, en el cual cada nuevo diseño implica necesariamente una mejora y un aumento en conocimiento. El modelo de Aghion y Howitt (1992) considera que tal incremento de productividad surge únicamente hasta que el bien de capital nuevo es producido.

Otra característica esencial en este modelo es que los innovadores exitosos pueden obtener patentes y monopolizar el sector intermedio, esta patente dura para siempre; sin embargo, las posibilidades de ingresos derivados del monopolio permanecen solo hasta que una nueva innovación aparece, en este caso la innovación anterior es remplazada por la nueva. Los otros mercados de la economía presentan un entorno perfectamente competitivo.

### **5.3. La decisión del intermediario monopolista en el modelo de destrucción creadora**

Como ya se había mencionado el modelo de Aghion y Howitt (1992) se resuelve para el sector de bienes intermedios y a partir de ahí se obtienen resultados para la economía en su conjunto.

En este caso dado que el sector intermedio está constituido por un monopolio, este actuara conforme a la búsqueda de maximizar el valor presente esperado de las ganancias sobre el intervalo actual. Este intervalo es el correspondiente a la transición entre una innovación y otra, cuando el intervalo termina los beneficios del monopolio desaparecen. Aquí las decisiones del monopolio solo enfrentan una incertidumbre determinada por la longitud del intervalo.

Sea,  $x_t$  el flujo del bien intermedio producido por el monopolista durante el intervalo  $t$ . Por (2.2),  $x_t$  es también igual al empleo de trabajo calificado en la manufactura. La curva de demanda inversa encarada por un monopolista carga el precio  $p_t$  que es el producto marginal

$$p_t = A_t F'(x_t) \quad (2.4)$$

Entonces el monopolista elige  $x_t$  para maximizar  $[A_t F'(x_t) - w_t]x_t$ , tomando como dado  $A_t$  y el salario  $w_t$  de la mano de obra calificada. (Aghion & Howitt, 1992)

Bajo los preceptos de este trabajo, el salario de la mano de obra calificada no podría tomarse como dado, pues los empleados no tendrían ningún incentivo para capacitarse, ya que sus ingresos salariales no cambiarían aun cuando aumentara la productividad. Llama la atención que, este modelo no asocia la productividad marginal del trabajo con los salarios; por lo tanto, es posible afirmar que las mejoras en el conocimiento consideradas en este modelo solo producen ganancias en tanto que son incrustadas en los bienes de capital y no en el personal calificado. Si esto es así, esta percepción es estrictamente contraria a la postura de que parte este trabajo, en tanto que el ser humano a través de los conocimientos incrustados en él, es el único capaz de mejorar las condiciones de su entorno mejorar el capital, así como producir innovaciones y cambios tecnológicos, lo que al final repercute en los incrementos de la productividad. Además, estaría negando la postura de Mincer (1981) en tanto que el capital humano y el capital físico no sostienen una relación estrecha respecto a los incrementos de productividad.

Además al tomar el salario como dado se tiene que reconocer necesariamente que el mercado de trabajo es exógeno, por lo tanto si se afirma que el conocimiento está incorporado en las personas que adquieren ciertas capacidades, el modelo no estaría haciendo endógeno el conocimiento.

Primer supuesto:  $\tilde{w}'(x) < 0$  para todo  $x > 0$ ,  $\lim_{x \rightarrow 0} \tilde{w}(x) = \infty$ ,  $\lim_{x \rightarrow \infty} \tilde{w}(x) = 0$ .

Entonces para cualquier  $w_t$  la elección monopolista de producto  $x_t$  esta dada por la condición de primer orden

$$w_t = \tilde{w}(x_t) \quad (2.5), \quad \text{o} \quad x_t = \tilde{x}(w_t) \quad (2.6)$$

Donde  $\tilde{x}$  es la función  $\tilde{w}^{-1}$ .

Lo que este postulado quiere decir es que, el salario marginal para cualquier cantidad de empleo calificado será menor a cero independientemente de la

cantidad positiva de este. Cuando el límite de la cantidad de mano de obra calificada tienda a cero, los salarios por esa cantidad serán iguales a infinito; mientras que si el límite de la cantidad de mano de obra calificada tiende a infinito la función de salarios será igual a cero. Esto implica una relación inversa entre la cantidad de mano de obra calificada y los salarios percibidos por los trabajadores. Además, dado que el ingreso marginal de los empleados calificados es menor a cero, esto implica que aun cuando obtengan mayores capacidades no podrán mejorar su nivel de salarios. No obstante, este postulado permite al monopolista obtener un nivel de ganancias.

De esta manera, el flujo de beneficios de monopolio será

$$\pi_t = A_t \tilde{\pi}(w_t) \quad (2.7),$$

Donde  $\tilde{\pi}(w) \equiv -(\tilde{x}(w))^2 F''(\tilde{x}(w))$ . Note que  $\tilde{x}$  y  $\tilde{\pi}$  son cada una estrictamente valores positivos y estrictamente decrecientes para todo  $w_t$  positivo.

Aquí, es posible afirmar que los beneficios del monopolista están determinados por el parámetro de productividad de la tecnología actual, y la función de beneficios respecto a los salarios de la mano de obra calificada actual. Esta función mantiene una relación inversa, es decir, mientras mayores sean los salarios de la mano de obra calificada menor será el ingreso del monopolista.

#### 5.4 Las implicaciones de un sector dedicado a la investigación

La resolución para el sector de investigación no considera que existan spillovers en el periodo actual; es decir, una firma empleando las cantidades  $z$ ,  $s$  de dos factores en la investigación experimentara innovaciones con una tasa de llegada Poisson de  $\lambda\phi(z, s)$ , independientemente de los insumos de otras firmas. Como se había mencionado, la tasa de llegada no dependerá estrictamente de los factores utilizados puesto que se considera que las innovaciones devienen de procesos estocásticos.

Las firmas elegirán sus insumos de tal forma que puedan maximizar el flujo de beneficios esperados de la investigación:

$$\lambda\phi(z, s)V_{t+1} - w_t z - w_t^s s \quad (2.9),$$

Donde  $V_{t+1}$  es el valor de la innovación  $t + 1$ , y  $w_t^s$  es la tasa salarial del trabajo especializado. (Aghion & Howitt, 1992)

Aquí aparecen salarios diferenciados, y como es de suponerse, la tasa salarial del trabajo especializado podría ser mayor que la del trabajo calificado. Dada la forma de esta función tales salarios representan un costo para la firma dedicada a investigación, pero es solo un costo por su utilización, aquí no aparecen costos por la generación de capital humano; en este sentido, el capital humano sería exógeno pues esta dado y las firmas solo tienen que decidir cuánto utilizar y cuanto remunerar.

Puesto que  $\phi$  tiene rendimientos constantes, y porque el flujo total de trabajo especializado debe ser igual a  $R$  en equilibrio, se sigue de las condiciones de Kuhn-Tucker para maximizar que:

$w_t \geq \varphi'(n_t)\lambda V_{t+1}, n_t \geq 0$  (2.10), con al menos una igualdad, donde  $\varphi(n_t) \equiv \lambda\phi(n_t, R)$ , y  $n_t$  es el flujo de trabajo calificado en el conjunto de la economía usado en la investigación durante el intervalo  $t$ .

Note que

$\varphi(0) = 0, y \varphi'(n) > 0, \varphi'' \leq 0$  (2.11), para todo  $n \geq 0$ . (Aghion & Howitt, 1992)

Esta última condición garantiza la convexidad con rendimientos decrecientes.

El valor  $V_{t+1}$  para un investigador fuera de la firma es el valor presente esperado del flujo de beneficios de monopolio  $\pi_{t+1}$  generado por la innovación  $t + 1$  sobre un intervalo cuya longitud es exponencialmente distribuida con un parámetro  $\lambda\phi(n_{t+1})$ :

$$V_{t+1} = \frac{\pi_{t+1}}{r + \lambda\phi(n_{t+1})} \quad (2.12).$$

Hay un importante spillover intertemporal en este modelo. Una innovación aumenta para siempre la productividad. (Aghion & Howitt, 1992)

Cada innovación es un acto de creación dirigido a capturar rentas de monopolio. Pero este también destruye las rentas de monopolio motivadas en la creación previa. La destrucción creativa es considerada por el término

$\lambda\varphi(n_{t+1})$  en el denominador de  $V_{t+1}$  en (2.12). Mas investigación reduce la permanencia esperada del monopolista actual, y por lo tanto reduce el valor presente esperado de su flujo de rentas. (Aghion & Howitt, 1992)

Como se mencionó antes el problema a resolver en este modelo es asignar el flujo de trabajo calificado entre la manufactura y la investigación. El modelo resuelve que para el sector de investigación la cantidad de trabajo calificado en la actualidad será una función del empleo de investigación en el periodo siguiente, lo que supone una función decreciente. Es decir, la expectativa de una mayor demanda por empleo en investigación en los periodos subsiguientes reducirá la cantidad de empleo en el sector manufacturero.

En términos económicos, hay dos razones para la dependencia negativa de la investigación actual sobre la investigación futura. Así pues, un incremento previsto en la investigación del siguiente periodo desalienta la investigación en este periodo (a) por un aumento en los salarios futuros y por lo tanto reduciendo el flujo de beneficios  $\tilde{\pi}(\tilde{w}(N - n_{t+1}))$  que podrían ser capturados por la siguiente innovación, y (b) aumentando la tasa de destrucción creativa  $\lambda\varphi'(n_t)$  el siguiente periodo y por lo tanto acortando la esperanza del tiempo de vida del monopolio que es disfrutado por el siguiente innovador. (Aghion & Howitt, 1992)

Un equilibrio con perfecta precisión es definido como una secuencia  $\{n_t\}_0^\infty$  que satisface (3.2) para todo  $t \geq 0$ . Un equilibrio estacionario corresponde a un equilibrio con perfecta precisión con  $n_t$  constante. Este es definido como la solución de  $\hat{n} = \psi(\hat{n})$ . (Aghion & Howitt, 1992)

Ahí existe un único equilibrio estacionario. Si  $c(0) < b(0)$  entonces  $\hat{n}$  es positiva y está definida por

$$\frac{\tilde{w}(N - \hat{n})}{\lambda\varphi'(\hat{n})} = \frac{\gamma\tilde{\pi}(\tilde{w}(N - \hat{n}))}{r + \lambda\varphi(\hat{n})} \quad (3.3)$$

En este caso el crecimiento es positivo porque llegan en la tasa Poisson  $\lambda\varphi(\hat{n}) > 0$ . Si  $c(0) \geq b(0)$  entonces  $\hat{n} = 0$  y ahí no hay crecimiento, porque la tasa Poisson de llegada de las innovaciones es  $\lambda\varphi(0) = 0$ . De ahora en adelante, se supone que  $c(0) < b(0)$  y  $\hat{n} > 0$ . (Aghion & Howitt, 1992)

Como se ha podido apreciar, el modelo considera el capital humano y lo divide en tres distintas categorías de trabajo; sin embargo considerar que los salarios son fijos o se determinan en alguna otra esfera conduce a afirmar que tal capital está dado de manera exógena. Al mismo tiempo, tales consideraciones restan importancia a la acumulación de capital humano para el sistema económico; es decir, puesto que el modelo no se ocupa de los elementos que hacen posible la generación de capital humano, no está considerando por ende, las formas en las que los conocimientos nuevos pueden ser incorporados en las personas.

Por otro lado, la mecánica del modelo resuelve el sistema para los factores como el capital o para determinar las ganancias del monopolista, lo que rompe con los postulados principales de este trabajo, donde se considera que el capital humano, conocimiento incorporado en las personas, es lo único capaz de generar innovaciones y cambios tecnológicos que inducen una mayor tasa de crecimiento en los ingresos.

**CUADRO COMPARATIVO: MODELOS DE CRECIMIENTO ENDÓGENO**

Modelos (Autor)	Publicación (Año)	Supuestos basicos	Qué resuelven	Capital Humano	Conocimiento	
Nelson, Richard; Phelps, Edmund	1966	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Educación acelera el proceso de difusión tecnológica.</li> <li>* El progreso técnico es labour-augmenting y neutral.</li> <li>* Introduce la noción de tecnología teórica (T).</li> <li>* Todo el progreso técnico es incorpóreo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Demuestra que la educación es un proceso que puede ser visto como un acto de inversión en las personas.</li> <li>* El nivel educativo y su crecimiento aceleran el proceso de difusión tecnológica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se utiliza como un índice de la media de la educación lograda de quienes podrían innovar.</li> <li>* Este determina el número de años de rezago de la tecnología práctica respecto de la teórica.</li> <li>* A su vez, esta tiene un mayor rendimiento mientras más avance el nivel de la tecnología teórica.</li> <li>* Función creciente del nivel de la tecnología en práctica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Esta embebido en la noción del nivel de la tecnología que se refiere a la mejor práctica.</li> <li>* Está asociada al factor trabajo medida a través de un índice promedio que incorpora todo el capital acumulado.</li> <li>* Una segunda dimensión es el nivel teórico de la tecnología, que mide el stock de conocimiento disponible para los innovadores y es exógeno.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* PRIMER M... tasa que T, b) e humano.</li> <li>* Ceteris parib... el nivel de la te...</li> <li>* La productiv... exponencial de...</li> <li>* SEGUNDO M... la tasa de crec... de la tecnología... los logros educ... de la tecnología...</li> </ul>
Romer, Paul	1986	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Rendimientos crecientes de la investigación.</li> <li>* Los bienes se producen en función del estado del conocimiento y otros factores.</li> <li>* Solo crece el stock de conocimiento.</li> <li>* La investigación tecnológica produce conocimiento de acuerdo a un costo de oportunidad.</li> <li>* La función de producción es cóncava como función del</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Introducir los rendimientos crecientes del conocimiento.</li> <li>* Establecer un equilibrio competitivo con cambio tecnológico endógeno.</li> <li>* El problema de maximización considera un óptimo social.</li> <li>* Demostrar que el modelo conduce a un equilibrio competitivo aun con impuestos y subsidios.</li> <li>* Dualidad del carácter público y privado del conocimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* El capital humano aparece unido al capital físico. Y los rendimientos decrecientes son eliminados por las externalidades del conocimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Es introducido en la A que expresa cualquier mejora en la tecnología. Por lo tanto está asociado únicamente a mejoras en la tecnología más que en la capacidad de las personas.</li> <li>* Este es el que provoca externalidades cuando se asocia a la acumulación de capital y solo si es considerado un bien público.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La productiv...</li> <li>* Para cualquie... para la variable...</li> <li>* La productiv... marginal de u... productividad n...</li> <li>* Las firmas... conocimiento p...</li> </ul>

Lucas, Robert	1988	<p>* Economía cerrada con mercados competitivos.</p> <p>* Agentes racionales.</p> <p>* Rendimientos constantes de la tecnología.</p> <p>* Crecimiento de la población exógeno.</p> <p>* Un único bien.</p> <p>* Una proporción de la fuerza de trabajo total está capacitada.</p>	<p>* Enfatizar la acumulación de capital humano y cambio tecnológico.</p> <p>* Enfatizar la acumulación de capital humano a través de la escolaridad y el learning by doing.</p>	<p>* PRIMER MODELO. El capital humano es una actividad social y no tiene contraparte en la acumulación de capital físico.</p> <p>* Fracción del trabajo total. Los trabajadores destinan una parte de su tiempo a la producción actual y el remanente del tiempo disponible para trabajo a la acumulación de habilidades.</p> <p>* El nivel de habilidades determina el salario por hora y las ganancias del trabajador (efecto interno de H).</p> <p>* El modelo se resuelve bajo el supuesto de que todos los trabajadores poseen el mismo nivel de habilidades y destinan la misma cantidad de tiempo a la acumulación de capacidades.</p> <p>* El problema de los rendimientos decrecientes se resuelve cuando la función de habilidades se supone lineal, surgen dos extremos:  1) No hay acumulación  2) Todos los esfuerzos se enfocan en la acumulación.  Entre estos dos resultados no hay rendimientos decrecientes del H.</p> <p>* SEGUNDO MODELO. H crece con el esfuerzo dedicado en la producción de un bien.</p> <p>* La acumulación de habilidades depende del nivel de habilidad promedio de la industria.</p>	<p>* Asume que A es constante.</p> <p>* La tecnología (A) presenta un patrón exógeno</p>	<p>* Adquirir capital humano aumenta la productividad.</p> <p>* El capital humano es un bien no rival.</p> <p>* El nivel promedio de habilidades afecta a todos los factores (efecto externo).</p> <p>* Si la tecnología cambia rápidamente, el crecimiento del producto puede ser rápido.</p> <p>* Si el capital humano es producido favorablemente, el crecimiento del producto puede ser rápido.</p> <p>* Los efectos de la acumulación de capital humano son acumulativos.</p> <p>* El capital humano es un bien no rival.</p>
---------------	------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Romer, Paul	1990	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Población y oferta de trabajo constantes.</li> <li>* Stock y oferta de capital humano fijos.</li> <li>* El conocimiento o nuevos diseños se produce únicamente con conocimiento y capital humano.</li> <li>* Función de producción Cobb-Douglas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Demostrar que el cambio tecnológico emerge por las decisiones de inversión de agentes maximizadores.</li> <li>* La tecnología no es un bien convencional ni un bien público.</li> <li>* Eliminar el supuesto de convexidad de y la competencia perfecta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Es una medida del efecto acumulado de la educación formal y el adiestramiento en el trabajo.</li> <li>* Solo es un insumo con atributos de rivalidad y excusión que lo hacen por completo un bien que puede mercarse.</li> <li>* Es en esta variable donde Romer localiza el componente rival del conocimiento.</li> <li>* Insumo de la tecnología y la producción de bienes.</li> <li>* No hay crecimiento ni acumulación, pues solo constituye una fracción determinada de la cantidad total de población.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* El desarrollo de conocimiento es un costo fijo.</li> <li>* El conocimiento transfiere atributos de bien público a las tecnologías característica que se pierde que se utiliza con fines productivos.</li> <li>* Diseños son sinónimos de conocimiento, cuentan con el atributo de no rivalidad porque está separado de cualquier individuo y puede crecer sin límites.</li> <li>* Conocimiento como diseño insumo de la producción de tecnología y de capital humano.</li> <li>* El crecimiento en la producción de conocimiento está sujeto a un costo de oportunidad, por lo tanto dependerá de las decisiones de los agentes del sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Los incrementos de conocimiento son un costo fijo.</li> <li>* La producción de nuevos diseños produce un costo fijo.</li> <li>* El crecimiento en el sector de conocimiento depende de la oferta de capital humano.</li> <li>* El conocimiento transfiere atributos de bien público a las tecnologías característica que se pierde que se utiliza con fines productivos.</li> <li>* Diseños son sinónimos de conocimiento, cuentan con el atributo de no rivalidad porque está separado de cualquier individuo y puede crecer sin límites.</li> <li>* Conocimiento como diseño insumo de la producción de tecnología y de capital humano.</li> <li>* El crecimiento en la producción de conocimiento está sujeto a un costo de oportunidad, por lo tanto dependerá de las decisiones de los agentes del sistema.</li> <li>* Los salarios en el sector de conocimiento dependen de la oferta de capital humano.</li> <li>* Cuando se invierte en conocimiento, el precio de los bienes de capital cae.</li> <li>* Los salarios en el sector de conocimiento dependen de la oferta de capital humano.</li> <li>* Los salarios en el sector de conocimiento dependen de la oferta de capital humano.</li> </ul>
Benhabib, Jess; Spiegel, Mark	1994	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Capital humano influye en la capacidad de innovación doméstica.</li> <li>* Los niveles de capital humano afectan la velocidad de lograr el catch-up tecnológico y la difusión.</li> <li>* Capital humano está dado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Evalúa la convergencia entre países: stock de capital físico y humano.</li> <li>* Dos enfoques: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) capital humano como insumo ordinario en la producción (años de escolaridad promedio de la fuerza laboral),</li> <li>b) cambio tecnológico o la productividad total de los factores es función del capital humano (nivel de educación).</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Su fundamento es la acumulación, afecta la capacidad de la fuerza laboral y determina la capacidad del sistema de producir nuevas tecnologías.</li> <li>* Componente endógeno afecta la tasa relativa de crecimiento de la tecnología.</li> <li>* Componente catch-up que está en función del nivel de H.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* El crecimiento de la tecnología no se determina exógenamente sino que está determinado por el nivel de tecnología del país líder.</li> <li>* La tecnología interna de un país mejora de acuerdo con su habilidad para desarrollar su nivel educativo.</li> <li>* La capacidad de adaptar e implementar tecnología externa depende de la capacidad para desarrollar los niveles educativos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* El crecimiento de la tecnología no se determina exógenamente sino que está determinado por el nivel de tecnología del país líder.</li> <li>* Es afectado por el nivel de tecnología del país líder.</li> <li>* El término de tecnología humana depende de la oferta de capital humano.</li> <li>* Resultado de la función de tecnología humana: favorece la productividad.</li> <li>* 2do: el punto de ingreso.</li> </ul>
Howitt, Peter	1999	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Consumo e I+D: Competencia perfecta.</li> <li>* Innovación: a) horizontal y vertical.</li> <li>* Maximización monopolística.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Crecimiento endógeno en estado estacionario con tasas crecientes de población e insumos de I+D.</li> <li>* Elimina los efectos a escala.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Tres categorías de trabajo: sin especialización, mano de obra calificada y especializado.</li> <li>* Los individuos solo cuentan con una unidad de trabajo.</li> <li>* Trabajo calificado en sector intermedio produce de acuerdo a una tecnología lineal.</li> <li>* Trabajo especializado produce una secuencia aleatoria de innovaciones (Poisson).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La tasa de innovaciones (Poisson) depende de una función cóncava con rendimientos constantes <math>\phi</math>, dados por la tecnología de investigación.</li> <li>* No hay memoria, solo se considera el flujo actual de insumos a la innovación, en el sector intermedio.</li> <li>* Innovación horizontal se produce con una función cóncava y el producto bruto respecto a la productividad máxima obtenida en ese instante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Ligada a la oferta de capital humano.</li> <li>* Innovación: a) la I+D m b) cada innovación produce un costo fijo.</li> <li>* Innovación: a) productiva b) los parámetros de innovación.</li> <li>* Al final de la vida útil del producto, el costo de innovación es cero.</li> </ul>

## 6.- Conclusiones

En este trabajo se han presentado los mecanismos por los cuales el capital humano es, en un sentido, fundamentalmente conocimiento embebido en las personas y como a su vez el conocimiento es necesario para incrementar los niveles de capital humano presentes en cualquier sistema económico; en este sentido, estos dos conceptos se relacionan de manera bidireccional. Sin embargo, los análisis de este trabajo indican que el conocimiento puede existir de forma codificada, pero es económicamente útil, en la medida en que las personas logren decodificarlo y utilizarlo con fines productivos.

A este respecto, los teóricos del crecimiento han llegado al consenso de que el conocimiento, cuenta con los atributos de no rivalidad y no exclusión, y estos atributos dificultan las posibilidades de considerarlo dentro de un modelo bien comportado, esto es porque tales atributos eliminan los rendimientos decrecientes que garantizan la convexidad de las funciones, y la posibilidad de determinar las ganancias derivadas de este factor a través de la productividad marginal. Por otro lado, se ha considerado que si el capital humano se analiza como un bien, este será rival pero no necesariamente excluible, esta imposibilidad de exclusión reduce los incentivos para invertir en capital humano, ya que, en el caso de que este se reproduzca por medio de inversiones externas, quien realice tales inversiones se enfrenta a una gran probabilidad de no capturar los beneficios de esa inversión en su totalidad

También se demostró que tanto el conocimiento como el capital humano, constituyen procesos esencialmente acumulativos, los cuales requieren de una gran cantidad de recursos para ser generados como para incrementarlos. Estas características conducen a una dificultad en los análisis económicos del crecimiento; en primer lugar, porque el carácter acumulativo impide que las funciones de producción en que se basan los modelos agregados de crecimiento se comporten de forma adecuada para demostrar los tan deseados equilibrios económicos. En segundo lugar, la falta de consenso sobre quién debe asumir los costos para la acumulación de capital humano, ha provocado que en los modelos de crecimiento este sea esencialmente exógeno; la lógica subyacente a este problema es que el capital humano produce rendimientos

constantes, así como efectos spillover, lo que impide que las ganancias derivadas de la inversión en este factor no sean completamente capturadas por quienes han asumido el costo, así los incentivos para tales inversiones serán anulados y de este modo las teorías del crecimiento no encuentran sentido económico a las inversiones en capital humano.

En la discusión de este trabajo se concluye que hay dos problemas principales con los modelos de crecimiento neoclásicos y endógenos, el primero, es la forma en que se modelan tanto el capital humano como el conocimiento; es decir, las herramientas analíticas que utilizan, de las cuales se deriva el hecho de ajustarse a funciones de producción que nos permitan determinar equilibrios estables impide introducir dichas variables considerando todos sus atributos, puesto que los procedimientos que se siguen para lograr tales equilibrios son inconsistentes con las propiedades tanto del capital humano y el conocimiento.

Una segunda cuestión, es que al observar las especificaciones más avanzadas, estas conducen a una divergencia en los resultados teóricos y empíricos derivados de ellas, aquí se sostiene que esa divergencia se debe a que no existe una forma adecuada y homologa para medir los estados de la tecnología, los niveles de conocimiento y de capital humano del cual parten las economías, como tampoco es posible considerar su carácter acumulativo en una función que requiera linealidad y rendimientos decrecientes de los factores para lograr una consistencia lógica. Lo que se plantea es que, debemos encontrar la forma de explicar el crecimiento siguiendo otras habilidades de modelación de tal forma que se puedan capturar todos los atributos inherentes al conocimiento y el capital humano.

El foco de este trabajo fue, descubrir porque si las innovaciones y cambios tecnológicos se producen por acciones intencionadas de las personas, cuyos conocimientos los han hecho capaces de crear, combinar y reproducir tales conocimientos buscando cubrir alguna necesidad, no son las personas y sus capacidades la variable fundamental en la explicación del crecimiento endógeno; nuestra respuesta es que, más allá de las dificultades técnicas que supone la abstracción de las capacidades de las personas en una variable, la construcción de un modelo que tenga en cuenta esta situación, tendría que

cambiar necesariamente sus fundamentos ideológicos; ya que, en dicho modelo las ganancias se determinarían en función de los productos que los trabajadores calificados pudieran obtener, más bien que, de los empresarios.

Por otro lado, los modelos analizados consideran al capital humano, se conocen sus fuentes y como podría ser acumulado; sin embargo, no se ocupan de determinar una cantidad de equilibrio ni una remuneración tal y como lo hacen para el capital físico y esto se debe a que en la lógica del “mainstream” cualquier mejora o cambio tecnológico producido estará siempre asociada al capital físico y no a las personas cuya expresión de mejora sería a través de incrementos en la productividad del trabajo y los procesos de producción. Así se concluye que el capital humano se supone endógeno en algunos modelos pero al momento de resolver el sistema, el énfasis se pone en la determinación de las ganancias en aquellos sectores que no utilizan capital humano como insumo primordial, esto conduce a obtener equilibrios en tales sectores cuyos niveles encontrados determinarían el nivel, la cantidad de acumulación y las remuneraciones al capital humano.

Siguiendo la clasificación de los hechos fundamentales planteados por Romer (1994), se argumenta que los modelos schumpeterianos son los más completos, hasta el momento, en la explicación del crecimiento endógeno, puesto que han logrado incorporar cuatro de esos hechos, dejando fuera únicamente, el atributo no rival de las innovaciones. En estos modelos se suponía que las innovaciones no podían ser reproducidas por nadie más, puesto que así se garantizaban las ganancias monopólicas y los incentivos para invertir nuevamente en innovaciones. Al mismo tiempo, se considera que estos modelos son más adecuados para explicar la realidad, puesto que han considerado el carácter acumulativo del conocimiento y el capital humano, desconocen los rendimientos decrecientes, al menos en el sector de la investigación, reconocen la incertidumbre detrás de las inversiones en I+D e incorporan la producción de bienes basada en una gama de diversos insumos reproducidos por el sistema.

Por último, el análisis de los modelos empíricos, aun cuando no hay consenso sobre los resultados de convergencia, en ellos se ha hecho evidente que los

países con mayores niveles de capital humano y conocimiento, tienden a crecer más rápidamente; esto es por los dos efectos del capital humano, uno sobre el catch-up y el segundo, sobre la capacidad de innovación del país en cuestión. Esto nos lleva a considerar que estos análisis constituyen una prueba fehaciente de cómo se deben instrumentar las políticas de innovación, y ello es, poniendo énfasis en la acumulación y generación de capital humano.

## **7.- Un recorrido hacia nuevos horizontes**

En los modelos analizados el crecimiento es derivado de lo que los autores llaman conocimiento, pero que nosotros consideramos información; por ejemplo, cuando Romer introduce la  $A$  en el sector productor de bienes de capital, él menciona que estos son los diseños para crear dichos productos y que estos puedan ser comercializados, en este caso consideramos que para poder llegar a ese punto tal diseño debe estar impreso de algún modo, lo que en realidad se convierte en una expresión del conocimiento de quien lo ha diseñado y por lo tanto en esta forma, constituye únicamente información.

Como se demostró a lo largo de este texto, los modelos desarrollados por los teóricos del crecimiento han empleado funciones de producción tipo Cobb-Douglas, algunas más elaboradas que otras, pero siguiendo la misma estructura lógica de la escuela neoclásica; esto ha conducido a asociar el conocimiento a otras formas de capital, como el capital físico, esto es evidente cuando en estos modelos la  $A$  aparece junto con  $K$ .

Nuestra propuesta es plantear nuevos desarrollos, en los cuales se encuentre una forma de asociar esa  $A$  con el trabajo, más que con el capital, siguiendo la lógica de que las personas son las únicas capaces de incorporar conocimientos y mediante ese proceso transformarlos dando como resultado unos nuevos, los cuales mejoran sus habilidades y destrezas haciéndolas capaces de transformar tanto los procesos como los medios de producción así como sus relaciones sociales.

Un punto de partida, sería evaluar la posibilidad de desarrollar un modelo matemático donde se consideren al menos tres formas distintas de trabajo; una que considere trabajos muy especializados como son la producción de nuevos

conocimientos en las áreas científico tecnológicas e ingenierías, otra que considere conocimientos técnicos básicos y por ultimo una en la cual se incluyan trabajos que requieren un mínimo de conocimientos. Consideramos que al hacer esta distinción se podrán plantear modelos con diferentes sectores de producción pero en lugar de poner el énfasis en el capital sería en el trabajo especializado; por otro lado, al considerar a cada persona como única poseedora de sus conocimientos podrían tratarse como un bien económico rival y excluible. Sin embargo, habría que tener cuidado en hacer estos planteamientos, pues deben estar libres de prejuicios morales; ya que al considerar que cada persona poseedora de cierto nivel de conocimientos puede ser tratada como un insumo, podrían surgir ciertas objeciones.

Esta idea de considerar sectores cuyo trabajo sea insumo que cuente con al menos un mínimo de capacidades, estaría ayudando a considerar los cinco hechos del crecimiento endógeno planteado por Romer, pues si cada sector requiere diferentes capacidades de las personas aun cuando los conocimientos incorporados en ellas presenten el atributo de no rivalidad, en el análisis se presentaría la rivalidad al no poder transitar de un sector a otro sin realizar algún esfuerzo previo en la capacitación de ese personal.

El debate sobre la factibilidad de usar el conocimiento y el capital humano como un insumo se ha derivado de la dificultad para caracterizar a ambos como un bien estrictamente económico; es decir, que sea rival y excluible. Aquí se considera que las dificultades devienen, en realidad, del enfoque con el cual sea abordado el tema, así para la escuela neoclásica ortodoxa el conocimiento debe ser tratado únicamente como información, ya que solo así podrá ser comercializado y garantizará beneficios individuales. Por otro lado, los economistas de la escuela evolutiva, consideran que el conocimiento no necesariamente debe ser comercializado, ya que, mientras más amplia sea su difusión habrá más oportunidades de crear innovaciones.

Por lo tanto, una sugerencia sería considerar el conocimiento asociado al capital humano pero también agregar una variable que considere los spillovers como una fracción del nivel de conocimiento acumulado, misma que pueda

incluirse en la ecuación que determine los equilibrios para aquel sector que utilice capital humano como insumo principal.

Como se ha podido apreciar estas son solo algunas consideraciones que podrían fomentar el desarrollo de avances en cuanto a la modelación del crecimiento endógeno, si bien no se ha llegado a una formalización concreta, se han sentado las bases por las cuales es pertinente continuar este viaje hacía una mejor explicación e interpretación del crecimiento económico a través de modelos matemáticos.

## Bibliografía

- Aghion, P., & Howitt, P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. *Econometrica*, 323-351.
- Arrow, K. (1962). Economic Welfare and the Allocation of Resources. *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, 609-626.
- Arthur, W. B. (2009). *The Nature of Technology: What it is and How it Evolves*. Great Britain: Allen Lane.
- Barro, R. (1991). Economic Growth in a Cross Section of Countries. *The Quarterly Journal of Economics*, 407-443.
- Becker, G. (1962). Investment in Human Capital: A Theoretical Analysis. *The Journal of Political Economy*, 9-49.
- Benhabib, J. y Spiegel, M. . (1994). The Role of Human Capital in Economic Development. Evidence from a Cross-Country Data. *Journal of Monetary Economics*, 143-173.
- Bils, M. y Klenow, P. (2000). Does Schooling Cause Growth? *The American Economic Review*, 1160-1183.
- Corona, J. M. (2006). *Human Capital Formation: The Role of Science and Technology Policy, A case study in the Mexican Biotechnology Sector*. Manchester: University of Manchester, Manchester Business School.
- Dawkins, R. (1986). *The Blind Watchmaker*. New York: Norton .
- Grossman, G. y Helpman, E. (1994). Endogenous Innovation in the Theory of Growth . *The Journal of Economic Perspectives*, 23-44.
- Howitt, P. (1999). Steady Endogenous Growth with Population and R&D Inputs Growing. *Journal of Political Economy*, 715-730.
- Kuhn, T. (2006). *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Lucas, R. (1988). On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics*, 3-42.
- Lucas, R. (1990). Why Doesn't Capital Flow From Rich To Poor Countries? *American Economic Review*, 92-96.
- Lucas, R. (1993). Making a Miracle. *Econometrica*, 251-272.
- Mankiw, G.; Romer, D. y Weil, D. (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 407-437.

- Marx, K. (1959). *El Capital*: . Fondo de Cultura Económica .
- McCallum, B. (1996). Neoclassical VS. Endogenous Growth Analysis: An Overview. *National Bureau of Economic Research*, 1-46.
- Mill, J. S. (1848). *Principles of Political Economy*. London: Longmans, Green and Co.
- Mincer, J. (1981). Human Capital & Economic Growth. *National Bureau of Economic Research*.
- Nelson, R. (1959). The Economics of Invention: A Survey of the Literature. *The Journal of Business*, 101.
- Nelson, R. y Romer, P. (1996). Science, Economic Growth, and Public Policy. *Challenge*, 9-21.
- Nelson, R. y Phelps, E. (1966). Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth. *The American Economic Review*, 69-75.
- Pack, H. (1994). Endogenous Growth Theory: Intellectual Appeal and Empirical Shortcomings. *The Journal of Economic Perspectives*, 55-72.
- Parker, J. (2012). *Economics 314 Coursebook. Macroeconomic Theory*. Portland Oregon: REED COLLEGE.
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 1002-1037.
- Romer, P. (1990a). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*.
- Romer, P. (1990b). Human Capital and Growth: Theory and Evidence. *Carnegie Rochester Conference Series on Public Policy*, 251-286.
- Romer, P. (1994). The Origins of Endogenous Growth. *The Journal of Economic Perspectives*, 3-22.
- Romer, P. (1996). Why, Indeed, in America? Theory, History, and the Origins of Modern Economic Growth. *National Bureau of Economic Research*, 13.
- Schultz, T. (1961). Investment in Human Capital. *The American Economic Review*, 1-17.
- Schumpeter, J. (1934). *Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Harvard Economics Studies.
- Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. London: W. Strahan & T. Cadell.

Solow, R. (1957). Technical change and the aggregate production function.  
*Review of Economics and Statistics*, 312-320.