

# GOBIERNO, CAMBIO TECNOLÓGICO Y DIFUSIÓN TECNOLÓGICA

Salvador Rivas-Aceves

Juan Froilán Martínez Pérez

## RESUMEN

En el presente trabajo se analiza la participación del gobierno como promotor del cambio tecnológico. Se examinan los efectos de dicha participación en la productividad marginal de los factores mediante la generación de nuevas tecnologías y el incremento en el capital humano. En un modelo de crecimiento endógeno se determina la tasa de crecimiento económico de equilibrio y se obtiene el nivel óptimo de gasto del gobierno que maximiza el bienestar de los agentes. Asimismo, se evalúan los impactos en el bienestar económico por shocks en precios, salarios y gasto público. Por último, se analizan los efectos de la difusión tecnológica sobre el capital humano y el crecimiento económico.

*Palabras clave:* crecimiento endógeno, gasto de gobierno, cambio tecnológico, capital humano, difusión tecnológica, salarios.

*Clasificación JEL:* O33, O38, J24, J30.

# **Proyecto**

- 1. Presentación**
- 2. La económica inicial**
- 3. El Gobierno y el Cambio Tecnológico**
- 4. Determinación del Nivel Óptimo del Gasto**
- 5. La Difusión Tecnológica**
- 6. Conclusiones**

## 1. Presentación

Uno de los principales factores que influyen en el crecimiento económico es el cambio tecnológico. Este cambio usualmente se presenta como el resultado de las actividades realizadas por las empresas en investigación y desarrollo. Sin embargo, en muchas ocasiones, sobre todo en los países desarrollados, existe otro agente que contribuye en las actividades antes mencionadas; el gobierno, el cual destina recursos a la investigación con el propósito de contribuir al desarrollo tecnológico, generando así mejores condiciones estructurales, económicas y sociales, que se pueden traducir en crecimiento y desarrollo social de largo plazo.

En este sentido, la participación del gobierno puede verse como un subsidio a la innovación a través de programas que fomentan las actividades de investigación y desarrollo en las empresas, o bien como un gasto directo en generación tecnológica a través de organismos públicos, como en el caso de la “National Aeronautics and Space Administration” (NASA) en los Estados Unidos de Norteamérica.

Muchos gobiernos utilizan una proporción considerable del gasto gubernamental en investigación y desarrollo tecnológico, como complemento a la inversión del sector privado, para generar un cambio en las condiciones tecnológicas al interior de la economía. En el siguiente cuadro se presenta el nivel de gasto, como porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) en investigación y desarrollo tecnológico que destinan algunos países desarrollados.

**Cuadro 1.** Gasto en investigación y desarrollo como porcentaje del PIB

<b>Año</b>	<b>Dinamarca</b>	<b>Alemania</b>	<b>Francia</b>	<b>Austria</b>	<b>Finlandia</b>	<b>Suecia</b>	<b>USA</b>	<b>Japón</b>
<b>1996</b>	1.84	2.19	2.27	1.59	2.52	3.45	2.53	2.81
<b>1997</b>	1.92	2.24	2.19	1.69	2.70	3.47	2.56	2.87
<b>1998</b>	2.04	2.27	2.14	1.77	2.86	3.55	2.61	3.00
<b>1999</b>	2.18	2.40	2.16	1.88	3.16	3.57	2.65	3.02
<b>2000</b>	2.24	2.45	2.15	1.91	3.34	3.86	2.73	3.04
<b>2001</b>	2.39	2.46	2.20	2.04	3.30	4.18	2.74	3.12
<b>2002</b>	2.51	2.49	2.23	2.12	3.36	3.91	2.64	3.17
<b>2003</b>	2.58	2.52	2.17	2.23	3.43	3.86	2.67	3.20
<b>2004</b>	2.48	2.49	2.15	2.22	3.45	3.62	2.67	3.25
<b>2005</b>	2.45	2.48	2.13	2.41	3.48	3.80	2.65	3.29
<b>2006</b>	2.43	2.51	2.12	2.45	3.45	3.73	2.70	3.34
<b>Promedio</b>	2.28	2.41	2.17	2.03	3.19	3.73	2.65	3.10

Fuente: Eurostat 2008, indicadores GERD (Gross Expenditure in Research and Development)

El cuadro anterior muestra que en países como Suecia y Finlandia se destinan montos considerables de recursos en actividades de investigación y desarrollo tecnológico. Suecia en el 2006 destinó el 3.73% de su PIB, lo que equivale a 11.81 billones de dólares de acuerdo con cifras de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE 2008). Por su parte, Finlandia destinó 5.9 billones de dólares, es decir, el 3.45% de su PIB.

De los montos de inversión, destinados a la investigación y desarrollo tecnológico, una parte es financiada directamente por el gobierno. El siguiente cuadro muestra la tendencia de los países avanzados en la participación del gobierno en dicho gasto en investigación y desarrollo.

**Cuadro 2.** Gasto en investigación y desarrollo por fuente de recursos  
porcentaje financiado por el gobierno

Año	Dinamarca	Alemania	Francia	Austria	Finlandia	Suecia	USA	Japón
1996	35.7	38.1	41.5	43.2	31.2	26.4	33.2	18.7
1997	36.1	35.9	38.8	41.0	30.9	25.8	31.5	18.2
1998	33.8	34.8	37.3	37.8	30.0	24.9	30.1	19.3
1999	31.2	32.1	36.9	38.9	29.2	24.5	28.4	19.6
2000	32.5	31.4	38.7	38.0	26.2	21.3	25.8	19.6
2001	28.2	31.4	36.9	38.3	25.5	22.4	27.5	18.6
2002	27.6	31.6	38.8	33.6	26.1	23.5	30.3	18.2
2003	27.1	31.2	39.0	34.4	25.7	23.5	30.4	17.7
2004	27.4	30.5	37.0	32.6	26.3	23.5	31.4	17.3
2005	27.6	28.4	38.2	36.5	25.7	24.6	32.5	17.9
2006	28.3	29.5	39.0	36.6	25.1	26.2	31.7	18.3
<b>Promedio</b>	30.5	32.3	38.4	37.4	27.4	24.2	30.3	18.5

Fuente: Eurostat 2008, indicadores GERD (Gross Expenditure in Research and Development)

Observe que en Suecia el 26.2% del monto total de inversión en investigación y desarrollo tecnológico fue financiado por el gobierno, mientras que el 25.1% fue financiado por el gobierno finlandés. Lo anterior equivale a 3.07 y 1.5 billones de dólares destinados por Suecia y Finlandia, respectivamente, a dicho rubro. En términos generales, se observa que la participación del gobierno está entre el 30% y 40% para las economías del cuadro 2, a excepción de Japón en donde dicha proporción es menor.

El PIB de Japón, en 2006, fue de 4077.8 billones de dólares y el gobierno destinó 24.93 billones de dólares en investigación y desarrollo tecnológico en ese año. Claramente se observa que para las economías avanzadas es una actividad relevante destinar recursos a la generación de tecnología. Se observa también que existen países en donde la participación del gobierno en este rubro es mucho mayor, ya que el sector privado

destina muy pocos recursos a dichas actividades, tal y como lo muestra el siguiente cuadro:

**Cuadro 3. Gasto en investigación y desarrollo**

Año	Bulgaria		Chipre		Polonia		Portugal	
	*	**	*	**	*	**	*	**
1996	0.52	35.1	0.18	75.2	0.65	57.8	0.57	66.9
1997	0.51	67.8	0.20	74.6	0.65	61.7	0.59	68.2
1998	0.57	69.7	0.22	68.5	0.67	59.0	0.65	69.1
1999	0.57	69.7	0.23	66.5	0.69	58.5	0.71	69.7
2000	0.52	69.2	0.24	61.6	0.64	66.5	0.76	64.8
2001	0.47	66.2	0.25	60.1	0.56	64.8	0.80	61.0
2002	0.49	69.8	0.30	64.1	0.54	61.9	0.76	60.5
2003	0.50	66.9	0.35	67.0	0.56	62.7	0.74	60.1
2004	0.50	65.8	0.37	68.3	0.57	61.7	0.77	57.5
2005	0.49	67.2	0.40	69.4	0.56	57.7	0.81	55.2
2006	0.48	68.5	0.42	68.8	0.55	57.5	0.85	54.3
<b>Promedio</b>	0.51	65.08	0.29	67.65	0.60	60.89	0.73	62.48
* Proporción del PIB								
** Porcentaje Financiado por el Gobierno								

Fuente: Eurostat 2008, indicadores GERD (Gross Expenditure in Research and Development)

El cuadro 3 destaca que, para el grupo de países en cuestión, el porcentaje de financiamiento proveniente del gobierno oscila entre el 50% y el 75%, lo cual muestra que la sustitución del sector público en las actividades de investigación y desarrollo de las empresas. Asimismo, en lo que se refiere al capital humano, la inversión en conocimiento resulta ser primordial para poder aplicar las nuevas tecnologías, como se muestra a continuación:

**Cuadro 4.** Inversión en conocimiento como porcentaje del PIB

Año	Dinamarca	Alemania	Francia	Finlandia	Suecia	USA	Japón
1997	3.8	3.5	3.9	5.2	5.6	5.6	4.1
1998	4.5	3.6	3.9	5.3	5.8	5.9	4.4
1999	4.7	3.7	4.1	5.5	6.2	6.1	4.5
2000	4.7	3.8	4.1	5.7	6.5	6.3	4.6
2001	5.1	3.8	4.2	5.8	6.9	6.5	4.8
2002	5.3	3.8	4.1	5.9	6.7	6.4	4.9
2003	5.1	3.9	4.3	5.9	6.4	6.5	5.1
2004	5.4	3.9	4.3	6.3	6.6	6.6	5.3
<b>Promedio</b>	4.8	3.8	4.1	5.7	6.3	6.2	4.7

Fuente: Statistical Profile by Country OCDE 2008.

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, el porcentaje del PIB destinado a la inversión en conocimiento es mayor que el porcentaje del PIB destinado a la investigación y desarrollo.

Infortunadamente, hasta ahora, se encuentran en la literatura especializada muy pocas investigaciones que puedan proporcionar una explicación coherente del papel que desempeña el gobierno en la generación del cambio tecnológico. La gran mayoría de los análisis teóricos existentes suponen que el cambio tecnológico sólo se puede dar de manera exclusiva por las empresas a través de actividades de investigación y desarrollo. En este respecto, el progreso tecnológico y su efecto sobre el crecimiento fueron estudiados, por primera vez, por Harrod (1939) mediante la introducción de una función de producción con producto marginal del capital constante. Otro desarrollo pionero que introduce al conocimiento como causa del cambio tecnológico fue elaborado por Arrow (1962) a través de la idea del *learning-by-doing*. Por otro lado, las primeras aportaciones del crecimiento endógeno con cambio tecnológico se deben a Romer (1986) y Lucas (1988), en donde se concibe el cambio tecnológico como un proceso que explica las modificaciones en las condiciones de producción de las firmas en función de cambios cualitativos o cuantitativos de los insumos, tales como el stock de

conocimiento, el capital humano o el trabajo calificado. De manera adicional, Romer (1990) muestra que con un solo sector con cambio tecnológico de tipo endógeno, la tasa de cambio tecnológico es sensible a la tasa de interés. Al respecto, el subsidio a la acumulación del capital físico tiene un efecto muy pobre sobre la investigación.

Una vez que el cambio tecnológico ha ocurrido al interior de una economía, el proceso de difusión tecnológica hacia otra economía menos avanzada, tecnológicamente hablando, fue estudiado por primera vez por Nelson y Phelps (1966). Ellos muestran que la tasa de rendimiento de la educación en el capital humano es mayor cuando se da un progreso tecnológico importante al interior de la economía. En particular, el capital humano puede ser mayor si el nivel tecnológico es dinámico. Por su parte, Rivera-Batiz y Romer (1991) encuentran que una economía desarrollada cuando actúa como locomotora, vía el progreso tecnológico, puede incrementar la tasa de crecimiento económico del resto del mundo. Por último, Barro y Sala-i-Martin (1997) argumentan que la tasa de crecimiento económico mundial está determinada por los descubrimientos tecnológicos realizados por las economías líderes. En estos estudios, el cambio tecnológico proviene de la empresa.

En cuanto a la participación del gobierno en actividades que promueven el crecimiento, distintas a la promoción del cambio tecnológico, se encuentran en la literatura un sinnúmero de investigaciones, entre las que destacan, por ejemplo, Turnovsky (1993) quien muestra que el crecimiento es mayor si el riesgo asociado a la política monetaria es acompañado por una inflación pequeña. Por su parte, Benavie, Grinols y Turnovsky (1996) estudian el papel de los costos de ajuste en un modelo de crecimiento de tres etapas. La primera sin gobierno, la segunda con un gobierno que



persigue un presupuesto equilibrado y, por último, con gobierno que escoge sus tasas impositivas y el nivel de gasto de manera independiente. En el trabajo de Benavie, Grinols y Turnovsky, la inversión por parte de las firmas está determinada por la  $q$  de Tobin, la cual depende de la política fiscal. En ausencia de gobierno las variaciones en la productividad reducen el crecimiento. En este caso, cuando se considera al gobierno, un incremento en el impuesto al ingreso reduce el crecimiento y un incremento en el gasto de gobierno no tiene efecto sobre el crecimiento. Asimismo, Charterjee, Sakoulis y Turnovsky (2002) analizan el proceso de desarrollo asistido por transferencias públicas de capital que estimulan la acumulación de capital privado y el crecimiento. La inversión pública en infraestructura es financiada por el gasto de gobierno. Se concluye que las transferencias sujetas al sector público generan una mayor dinámica de crecimiento sólo si los impuestos y el nivel de gasto gubernamental son óptimos. En este caso, el efecto sobre la tasa de crecimiento de largo plazo depende del tamaño de la infraestructura de la economía.

Por último, Easterly *et al.* (1994) encuentran que a través de un modelo de adopción tecnológica en donde hay acumulación de capital humano y progreso tecnológico, los subsidios a la acumulación de capital humano y a la adopción de nuevas tecnologías incrementan la tasa de crecimiento económico. De manera similar, Ludvigson (1996) muestra que el progreso tecnológico sólo se da a través de un aumento en la productividad laboral. Concluye que la inversión, el consumo y el producto responden positivamente ante cortes en el financiamiento gubernamental por medio de impuestos al ingreso. El impacto del gasto gubernamental depende de la forma en la cual dicho gasto es financiado, ya sea a través de impuestos o déficit

financiero, en cuyo caso la participación del gobierno sólo está en función de la política económica.

En lo que se refiere al gasto del gobierno como un argumento de la función de producción, Barro (1990), Barro y Sala-i-Martin (1992), Futagami-Morita-Shibata (1993), Glomm y Ravikumar (1994), Cazzavillan (1996) y Turnovsky (1996) analizan el impacto que éste tiene sobre la capacidad productiva de la economía. Por último, Gokan (2007) encuentra que si los bienes públicos incrementan la productividad del capital privado en una economía con crecimiento endógeno, entonces la tasa de crecimiento aumenta cuando aumenta el gasto.

La presente investigación, a través de un modelo de crecimiento endógeno, examina el efecto que tiene la participación del gobierno como promotor del cambio tecnológico a través del gasto gubernamental para mejorar las condiciones de producción, lo que se traduce en un aumento en la productividad marginal de los factores; lo anterior, a través de la generación de nuevas tecnologías y al aumento del capital humano. Asimismo, se mide el impacto sobre el bienestar económico por shocks en precios, salarios y gasto aplicado tanto al desarrollo tecnológico como a la capacitación laboral y se examina el efecto sobre la tasa de crecimiento de la difusión tecnológica hacia economías menos avanzadas.

La organización del presente trabajo es de la siguiente forma. En la sección 2 se establece la estructura básica de la economía. Posteriormente, en la sección 3 se introduce el papel del gobierno como agente promotor del cambio tecnológico a través de las actividades ya mencionadas. En la sección 4 se analizan los efectos sobre el

bienestar económico de un shock en el gasto público y se determina el nivel óptimo de gasto que maximiza el bienestar. A través la sección 5 se estudia el efecto de la difusión tecnológica sobre el crecimiento hacia economías menos avanzadas. Por último, en la sección 6 se presentan las conclusiones y limitaciones del modelo propuesto y se establece la agenda pendiente de investigación.

## 2. La economía inicial

Considere una economía en la que los agentes económicos tienen vida infinita. Los agentes poseen dotaciones iniciales y preferencias idénticas y tienen acceso a la misma tecnología para producir un mismo bien de carácter perecedero. La economía se supone cerrada, por lo que no existen relaciones de intercambio con otras economías. Los consumidores buscan la máxima satisfacción posible entre combinaciones de consumo y ocio. De esta forma, el valor presente de la utilidad total de los individuos está dada por:

$$U = \int_0^{\infty} u(c, l) e^{-\rho t} dt, \quad (1)$$

en donde  $c$  es el consumo *per capita*,  $l$  es el ocio *per capita* y  $\rho$  es la tasa subjetiva de descuento. Este último parámetro mide qué tan ansioso está un individuo por el consumo presente. Para simplificar la notación se omitirán los subíndices  $t$ , que indican dependencia del tiempo, en las variables. De esta manera, el lector deberá tener presente que se trata de variables que dependen del tiempo en todo momento. Se propone la siguiente función de utilidad (satisfacción o felicidad) del consumidor representativo es del tipo:

$$u = \beta \ln c + \delta \ln l, \quad (2)$$

en donde  $\beta$  y  $\delta$  son parámetros positivos con  $\beta + \delta = 1$ , estos parámetros ponderan la satisfacción que proporcionan el consumo y el ocio. Esta especificación presenta utilidades marginales positivas pero decrecientes tanto para el consumo como para el ocio. Suponga también, que el individuo representativo es propietario de la empresa en la cual se produce el bien genérico de consumo. Suponga también que todos los agentes enfrentan las mismas condiciones de producción representadas por:

$$f(k; \eta) = Ak\eta, \quad (3)$$

en donde  $A > 0$  es el producto marginal del capital y expresa el nivel tecnológico existente en la economía,  $k$  es el capital físico utilizado en el proceso de producción y  $\eta$  es el número de horas que un individuo calificado destina al trabajo. Al normalizar a la unidad el total de horas biológicamente disponibles por un ser humano, se tiene que:

$$1 = l + \eta, \quad (4)$$

Equivalentemente,

$$1 - l = \eta. \quad (4')$$

Por lo tanto, el productor tiene como insumos al capital físico necesario para la producción del bien y las horas que el trabajador proporciona, utilizadas en el manejo del capital físico. En consecuencia, el individuo es dueño de la empresa y al mismo tiempo destina horas de trabajo en ella. Es importante señalar que el modelo “ $Ak$ ”, utilizado por Harrod (1939) y por Rebelo (1991), proviene de la función de producción Cobb-Douglas, es decir,  $Y = AK^\alpha L^{1-\alpha}$  y dado que los rendimientos a escala son constantes se puede obtener el producto en términos *per capita* al dividir toda la expresión entre  $L$ , obteniendo así dicho modelo. Esta simplificación permite analizar los efectos del lado del capital dejando constante la parte del trabajo, sin embargo no significa que sólo se tenga como insumo al capital físico. La función de producción representada por (3) sigue esta misma lógica, y de manera adicional supone que es

necesario una cantidad de trabajo capaz de manejar el capital físico de manera más eficiente, es decir, con un nivel de habilidad mayor. Debido a que el individuo asume los roles de consumidor y productor al mismo tiempo, la restricción presupuestal del consumidor se puede expresar como:

$$k_0 = \int_0^{\infty} pc e^{-(A\eta)t} dt + \int_0^{\infty} w\eta e^{-(A\eta)t} dt, \quad (5)$$

en donde  $p$  es el precio del bien de consumo y  $w$  es el salario que se paga al trabajador. El problema de optimización resultante está determinado por (1), (4') y (5), del cual resultan las siguientes condiciones de primer orden (véase el Apéndice A):

$$\frac{\beta}{pc} = \lambda, \quad (6)$$

$$\frac{-\delta}{wl} = \lambda, \quad (7)$$

$$\dot{k} = Ak\eta - pc - w\eta, \quad (8)$$

$$A\eta\lambda = -\dot{\lambda} + \rho\lambda, \quad (9)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} ke^{-(A\eta)t} = 0. \quad (10)$$

El equilibrio macroeconómico compuesto por los niveles de consumo, ocio, trabajo, capital, producto y la tasa de crecimiento de la economía son, respectivamente:

$$c = \frac{\beta(k_0\rho - w)}{p}, \quad (11)$$

$$l = \frac{\delta(k_0\rho - w)}{w}, \quad (12)$$

$$\eta = 1 - \frac{\delta(k_0\rho - w)}{w}, \quad (13)$$

$$k = k_0, \quad (14)$$

$$y = Ak_0 \left( 1 - \frac{\delta(k_0\rho - w)}{w} \right), \quad (15)$$

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{c}}{c} = A\eta - \rho \equiv \psi, \quad (16)$$

en donde  $k_0$  es el capital inicial. Se puede observar que el consumo depende de las preferencias de los individuos, del capital inicial con que cuenta el aparato productivo, del precio del bien de consumo y del salario. Por lo tanto, un aumento en el precio del bien disminuye el nivel de consumo, mientras que un mayor capital inicial o un aumento en la ansiedad por el consumo presente, incrementa el nivel de consumo. Por otra parte, el nivel del ocio depende de manera inversa del salario, y de manera directa del capital inicial y de las preferencias de los individuos. Un Incremento en el salario disminuye el ocio y, por lo tanto, aumentan la cantidad de trabajo, al aumentar la cantidad de trabajo también lo hace el nivel de producto. Por último, la tasa de crecimiento balanceado de la economía depende del nivel tecnológico existente, de la cantidad de horas de trabajo involucradas en el proceso de producción y de las preferencias de los individuos. Si se cumple que  $A\eta > \rho$ , entonces se tendrá crecimiento; en caso contrario habrá decrecimiento. La ecuación (16) muestra que una economía con un coeficiente tecnológico mayor crece más rápido, por lo tanto, un gasto o inversión destinada al incremento de dicho coeficiente es primordial para el crecimiento de una economía. A continuación, se analiza el efecto sobre el crecimiento cuando el gobierno destina recursos para lograr este objetivo.

### **3. El gobierno y el cambio tecnológico**

Suponga ahora que el gobierno participa en la actividad económica a través de la generación de nuevas tecnologías y de la capacitación de la mano de obra necesaria para manejar dichas tecnologías. Para ello, ejerce un gasto público destinado hacia cada una de estas actividades. Tanto la generación tecnológica como la capacitación del trabajo pueden llevarse a cabo al interior de empresas paraestatales, en cuyo caso una vez creado el cambio tecnológico se le transfiere al sector empresarial. O bien, se puede

pensar en el sector empresarial de tal forma que el gasto toma el papel de un programa de incentivos al mejoramiento productivo vía el desarrollo tecnológico. Bajo cualquier alternativa, el gasto de gobierno incrementa el nivel tecnológico existente y modifica las condiciones de producción de la siguiente forma:

$$y = Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} k, \quad (17)$$

en donde  $g_a > 1$  es el gasto de gobierno destinado a la generación de nueva tecnología,  $g_n > 1$  es el gasto de gobierno utilizado para la capacitación del trabajo en el uso de la nueva tecnología y  $\gamma$  es el parámetro que mide el impacto de ambos tipos de gasto público sobre el producto. La condición de que ambos gastos sean mayores a la unidad implica que tanto el destinado a la generación de nueva tecnología como el aplicado a la capacitación del trabajo en el uso de la misma tienen que ser los suficientes como para aumentar el nivel tecnológico existente y el nivel de capacidad del trabajo, de tal forma que se cumpla con:

$$Ag_a > A \quad \text{y} \quad \eta g_n > \eta. \quad (18)$$

Como el gobierno no realiza ninguna otra actividad económica, es decir, no produce, no consume, ni genera satisfacción a los consumidores, entonces la restricción presupuestal del gobierno toma la forma:

$$G = g_a + g_n, \quad (19)$$

en donde  $G$  es el gasto total que realiza el gobierno. Con la introducción del gobierno vía la generación tecnológica y la capacitación del trabajo, la restricción presupuestal del consumidor representativo dueño de la empresa se modifica, por lo que ahora se tiene:

$$k_0 = \int_0^\infty pc e^{-(Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma})t} dt + \int_0^\infty w\eta e^{-(Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma})t} dt. \quad (20)$$

Asimismo, con las nuevas condiciones de producción, los niveles de equilibrio de la tasa de interés y del salario son:

$$\frac{\partial y}{\partial k} = Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} = r, \quad (21)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \eta} = Ag_a^\gamma g_n^{1-\gamma} k = w. \quad (22)$$

En consecuencia, el nuevo problema de optimización ahora está determinado por (1), (4') y (20), y sus condiciones de primer orden son:

$$\frac{\beta}{pc} = \lambda, \quad (23)$$

$$\frac{-\delta}{wl} = \lambda, \quad (24)$$

$$\dot{k} = Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} k - pc - w\eta, \quad (25)$$

$$Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} \lambda = -\dot{\lambda} + \rho \lambda, \quad (26)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} k e^{-(Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma})t} = 0. \quad (27)$$

El nuevo equilibrio macroeconómico compuesto por los niveles de consumo, ocio, trabajo, capital, producto y la tasa de crecimiento de la economía está dado por:

$$c = \frac{\beta(k_0 \rho - Ag_a^\gamma g_n^{1-\gamma} k_0)}{p}, \quad (28)$$

$$l = \frac{\delta(k_0 \rho - Ag_a^\gamma g_n^{1-\gamma} k_0)}{Ag_a^\gamma g_n^{1-\gamma} k_0}, \quad (29)$$

$$\eta = 1 - \frac{\delta(k_0 \rho - Ag_a^\gamma g_n^{1-\gamma} k_0)}{Ag_a^\gamma g_n^{1-\gamma} k_0}, \quad (30)$$

$$k = k_0, \quad (31)$$

$$y = Ak_0 \left( 1 - \frac{\delta(k_0 \rho - Ag_a^\gamma g_n^{1-\gamma} k_0)}{Ag_a^\gamma g_n^{1-\gamma} k_0} \right), \quad (32)$$

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{k}}{k} = \frac{\dot{c}}{c} = Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} - \rho \equiv \varphi. \quad (33)$$



A partir de la relación establecida en (22), se deduce que aumentos en el gasto de gobierno destinado tanto a la generación de nueva tecnología como a la capacitación del trabajo en el uso de la misma, incrementa el nivel de salario y, en consecuencia, cae el ocio, lo que se traduce en un aumento de las horas trabajadas, lo que finalmente conduce a un mayor nivel de producto. Por otra parte, se mantiene la relación inversa entre el precio del bien y el consumo, por lo que, aumentos en los precios disminuyen el consumo. La tasa de crecimiento balanceado de la economía es mayor ya que  $\varphi > \psi$ , es decir:

$$(Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} - \rho) > (A\eta - \rho). \quad (34)$$

Es importante recordar que se tiene crecimiento siempre que  $A\eta > \rho$ . Por lo tanto, la participación del gobierno en la generación de un cambio tecnológico a través del gasto de gobierno en la generación de nueva tecnología y en la capacitación del trabajo en el uso de la misma, tiene un efecto positivo. Lo anterior, se debe a que la inclusión del gobierno genera un incremento en el nivel tecnológico existente, un aumento de la productividad de los factores, un aumento en el salario y una tasa de crecimiento mayor.

#### 4. Determinación del nivel óptimo del gasto

A través de la función de utilidad indirecta,  $W$ , se evalúa el impacto sobre el bienestar económico debido a cambios en los niveles de gasto ya mencionados. Dicha función se obtiene al sustituir las trayectorias óptimas de consumo y ocio en la función de utilidad total descontada, dada en (1), por lo tanto:

$$W = \int_0^\infty \beta \ln \left[ \frac{\beta(k_0 \rho - w)}{p} \right] e^{(Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} - \rho)t} e^{-\rho t} dt + \int_0^\infty \delta \ln \left[ \frac{\delta(k_0 \rho - w)}{w} \right] e^{(Ag_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} - \rho)t} e^{-\rho t} dt. \quad (35)$$

Al sustituir (22) en (35) y tomar en cuenta que los gasto de óptimo del gobierno destinado a la promoción del cambio tecnológico,  $g_a$  y  $g_n$ , son constantes (véase el Apéndice B), se tiene que:

$$W = \beta \ln \left[ \frac{\beta (k_0 \rho - A g_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} k_0)}{\rho p} \right] + \frac{\beta (A g_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} - \rho)}{\rho^2} \\ + \delta \ln \left[ \frac{\delta (k_0 \rho - A g_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} k_0)}{A g_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} k_0} \right] + \frac{\delta (A g_a^\gamma \eta g_n^{1-\gamma} - \rho)}{\rho^2}. \quad (36)$$

En consecuencia, el bienestar económico depende de las preferencias, de los parámetros que miden la satisfacción obtenida por el consumo y el ocio, del capital inicial, del trabajo, del nivel tecnológico existente, de los precios y del gasto de gobierno destinado a la generación de un cambio tecnológico y a la capacitación del trabajo. Por lo tanto, aumentos en el nivel gasto de gobierno destinado a la generación de nuevas tecnologías,  $g_a$ , incrementa el bienestar económico de los hogares, ya que:

$$\frac{\partial W}{\partial g_a} = \frac{\gamma r}{g_a \rho^2} - \frac{\gamma}{g_a} (\beta - 2\delta) > 0. \quad (37)$$

Dado que el gasto de gobierno dirigido a la generación de tecnología tiene un impacto positivo, entonces el nivel óptimo de gasto de gobierno, tal que maximiza el bienestar económico de los hogares, el cual se obtiene al resolver  $\partial W / \partial g_a = 0$ , que se debe destinar para dicha actividad está dado por:

$$g_a = \left[ \frac{(\beta - 2\delta) \rho^2}{A g_n^{1-\gamma} \eta} \right]^{\frac{1}{\gamma}}. \quad (38)$$

Por su parte, aumentos en el nivel de gasto utilizado en la capacitación del trabajo para el manejo de la nueva tecnología también incrementan el bienestar económico, como lo muestra la siguiente relación:

$$\frac{\partial W}{\partial g_n} = (1-\gamma) \left[ \frac{A g_a^\gamma \eta}{g_n^\gamma \rho^2} \right] - \frac{1-\gamma}{g_n} (\beta - 2\delta) > 0. \quad (39)$$

Dado que el gasto de gobierno utilizado en la capacitación del trabajo tiene un impacto positivo, entonces el nivel óptimo de gasto de gobierno que se debe destinar para dicha actividad, el cual maximiza el bienestar económico de los hogares, se obtiene al resolver  $\partial W / \partial g_n = 0$ , esto es:

$$g_n = \left[ \frac{(\beta - 2\delta) \rho^2}{A g_a^\gamma \eta} \right]^{\frac{1}{1-\gamma}}. \quad (40)$$

Por otro lado, aumentos en el precio del bien de consumo generan una caída en el bienestar económico, como lo muestra la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial W}{\partial p} = -\frac{\beta}{p} < 0. \quad (41)$$

Por último, de (37) y (39) se deduce que un aumento en el salario mejora las condiciones de vida de los agentes, ya que aumenta el bienestar económico. Lo anterior resulta evidente toda vez que el nivel de salario, el cual está en función de  $g_a$  y de  $g_n$ , depende de manera positiva de ambos tipos de gasto, como se determinó en la ecuación (22). Por lo tanto, el gasto de gobierno destinado a la capacitación del trabajo en el manejo de una nueva tecnología tiene efectos directos sobre el nivel de empleo de la economía.

## 5. La difusión tecnológica

Del análisis previo se desprende que una economía tiene un nivel tecnológico mayor cuando el gobierno destina recursos para generar un cambio tecnológico. En específico, tanto el gasto de gobierno en la generación de nuevas tecnologías, como en la capacitación laboral para el manejo de la misma, conducen un aumento en el nivel

tecnológico. En este apartado se analizan los efectos, sobre la tasa de crecimiento, de la difusión tecnológica en una economía menos avanzada. Para ello, de las condiciones establecidas en (18), se sabe que, cuando no existe cambio tecnológico y que cuando dicho cambio está determinado por el gobierno, el nivel tecnológico de una economía es respectivamente:

$$A \quad \text{y} \quad Ag_a^\gamma. \quad (42)$$

De esta forma, se define como la economía líder ( $m$ ) aquella cuyo nivel tecnológico es  $Ag_a^\gamma$ , mientras la economía seguidora ( $n$ ) tiene un nivel tecnológico igual a  $A$ . Para medir los efectos de la difusión tecnológica bajo estas condiciones se utiliza, el modelo propuesto por Nelson y Phelps (1966), el cual establece que

$$\frac{\dot{A}_n}{A_n} = \eta g_n \left[ \frac{A_m - A_n}{A_n} \right], \quad (43)$$

en donde  $(A_m - A_n)/A_n$  mide la brecha tecnológica existente entre ambas economías.

Por otro lado, al utilizar el modelo propuesto por Banks (1994), se tiene que:

$$\frac{\dot{A}_n}{A_n} = \eta g_n + \eta \mu \left[ \frac{A_m}{A_n} - 1 \right], \quad (44)$$

en donde  $\mu$  mide la proporción utilizada de trabajo de la economía seguidora. Observe que, a partir de (44), si  $\mu$  es pequeña, se sigue que

$$\frac{\dot{A}_n}{A_n} \approx \eta g_n, \quad A_n = A,$$

lo cual conduce a  $A_n(t) = Be^{\eta g_n t}$ , donde  $B$  es una constante. De esta forma la velocidad de difusión en capacitación laboral hacia la economía seguidora depende de la magnitud de  $g_n$ , es decir, depende del gasto que la economía seguidora destina al capital humano. En consecuencia, el cambio tecnológico llevado a cabo por la economía líder sólo puede

tener un efecto positivo sobre la tasa de crecimiento de la economía seguidora sí, y sólo sí, está última realiza la inversión necesaria para absorberla. Lo anterior significa que una economía, que no se caracteriza por realizar innovación tecnológica, tiene mayores posibilidades de crecimiento cuando es capaz de absorber, aprender a usar e imitar los avances tecnológicos generados por una economía líder.

Por lo tanto, ya sea porque se quiere realizar actividades relacionadas con la generación de un cambio tecnológico, o bien porque se desea aprovechar uno realizado por otra economía, el gobierno debe destinar los recursos suficientes para poder lograr un incremento en la tasa de crecimiento económico vía el cambio tecnológico.

## **6. Conclusiones**

En un modelo de crecimiento endógeno con agentes que tiene vida infinita, la participación del gobierno en las actividades económicas a través de la generación del cambio tecnológico y la capacitación del trabajo en el uso de nueva tecnología, por medio del gasto gubernamental, tiene efectos positivos en el nivel de consumo, trabajo y producto *per capita*, así como en la tasa de crecimiento económico. Además el nivel de consumo depende inversamente del nivel de precios, mientras que el nivel de ocio tiene la misma relación con respecto al salario. Por lo tanto, aumentos en los precios y en el salario disminuyen, respectivamente, los niveles de consumo y ocio.

El impacto sobre el bienestar económico de los hogares por un aumento en el nivel de gasto, tanto en el desarrollo de nueva tecnología como en la capacitación del trabajo para el manejo de la misma, es positivo. Por otra parte, un aumento en el nivel de precios de los bienes de consumo tiene un impacto negativo sobre el bienestar

económico. En consecuencia, políticas gubernamentales destinadas a la generación de nueva tecnología y a la capacitación del trabajo, vía el gasto público, son deseables en economías emergentes. Lo anterior, con el objetivo de alcanzar mayores tasas de crecimiento económico que se traduzcan en mayores niveles de calidad de vida para sus habitantes, tal y como sucede en países desarrollados.

Dentro de las principales limitaciones que caracterizan este tipo de análisis se pueden enlistar las siguientes: suponer que el gobierno sólo interviene en la generación de nueva tecnología y en la capacitación del trabajo es poco real, ya que existen muchas otras más actividades que realiza este agente económico, por lo que ampliar el papel del gobierno resulta necesario. Análogamente, suponer que la economía es cerrada elimina los posibles efectos que pueda tener el comercio internacional sobre el crecimiento. Finalmente, modelar las variables de manera determinista limita los efectos de las mismas, en específico se omite el tratamiento de la volatilidad inherente a la tasa de interés y a los precios. En consecuencia, futuros desarrollos teóricos deberán extender el análisis a una economía estocástica y abierta, incorporar otras variables financieras relevantes y establecer actividades económicas gubernamentales más amplias.

## **Referencias**

- Arrow, K. 1962. The Economic Implications of Learning by Doing, *Review of Economic Studies*, Vol. 29, No. 3, pp. 155-173.
- Banks, R.B. 1994. Growth and Diffusion Phenomena, Springer, Berlin.
- Barro, R. 1990. Government Expending in a Simple Model of Endogenous Growth, *Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 5, pp. S103-S125.
- Barro, R. y X. Sala-i-Martin. 1992. Public Finance in Models of Economic Growth, *Review of Economic Studies*, Vol. 59, pp. 654-661.

- Barro, R. y X. Sala-i-Martin. 1997. Technological Diffusion, Convergence, and Growth, *Journal of Economic Growth*, Vol. 2, pp.1-27.
- Benavie, A., E. Grinols, S. Turnovsky. 1996. Adjustment Costs and Investment in a Stochastic Endogenous Growth Model, *Journal of Monetary Economics*, Vol.38, pp. 77-100.
- Cazzavillan, G. 1996. Public Spending, Endogenous Growth and Endogenous Fluctuations, *Journal of Economic Theory*, Vol. 71, pp. 394-415.
- Chatterjee, S., G. Sakoulis, S. Turnovsky. 2002. Unilateral Capital Transfers, Public Investment and Economic Growth, *European Economic Review*, Vol. 47, pp. 1077-1103.
- Easterly, W., R. King, R. Levine, S. Rebelo. 1994. Policy, Technology Adoption and Growth, Economic Growth and the Structure of Long-Term Development: Proceedings of the IEA Conference, Varenna Italy, pp. 75-89.
- Eurostat. 2008. Indicadores GERD (Gross Expenditure in Research And Development). <http://epp.eurostat.ec.europa.eu> (4 de mayo 2008).
- Futagami, Koichi, Morita, Yuichi, y Akihisa Shibata. 1993. Dynamic Analysis of a Endogenous Growth Model with Public Capital, *The Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 95, No.4, pp. 607-625.
- Glomm, G. y B. Ravikumar. 1994. Public Investment in Infrastructure in a Simple Growth Model, *Journal of Economics Dynamics and Control*, Vol. 18, pp. 1173-1187.
- Gokan, Y. 2007. Infrastructure, Alternative Government Finance and Stochastic Endogenous Growth, *Journal of economic Dynamics and Control*, doi:10.1016/j.jedc.2007.01.029.

- Harrod, R. 1939. An Essay in Dynamic Theory, *The Economic Journal*, Vol. 49, No. 193, pp. 14-33.
- Ludvigson, S. 1996. The Macroeconomic Effects of Government Debt in a Stochastic Growth Model, *Journal of Monetary Economics*, Vol. 38, pp. 25-45.
- Nelson, R. y E. Phelps. 1966. Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth, *The American Economic Review*, Vol. 56, No. 1/2, pp. 69-75.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. 2008. OECD Statistical Profile by Country. <http://www.oecd.org> (4 de mayo 2008).
- Rebelo, Sergio. 1991. Long Run Policy Analysis and Long Run Growth, *The Journal of Political Economy*, Vol. 99, No. 3, pp. 500 – 521.
- Rivera-Batiz L. y P. Romer. 1991. Economic Integration and Endogenous Growth, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 106, No. 2, pp. 531-555.
- Romer, P. 1986. Increasing Returns and Long-Run Growth, *The Journal of Political Economy*, Vol. 94, No. 5, pp. 1002-1037.
- Romer, P. 1990. Endogenous Technological Change, *The Journal of Political Economy*, Vol. 98, No. 5, Part 2: The Problem of Development: A Conference of the Institute for the Study of Free Enterprise System, pp. S71-S102.
- Turnovsky, S. 1993. Macroeconomic Policies, Growth, and Welfare in a Stochastic Economy, *International Economic Review*, Vol. 34, No. 4, pp. 953-981.
- Turnovsky, S. 1996. Optimal Tax, Debt, and Expenditure Policies in a Growing Economy, *Journal of Public Economics*, Vol. 60, pp. 21-44.