

## **Desarrollo sostenible y valoración intertemporal: un enfoque teórico**

*Mara Rojas<sup>1</sup>*  
*Silvia London<sup>2</sup>*

---

<sup>1</sup> Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur (IIESS), Departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur (UNS) – CONICET, Bahía Blanca, Argentina.  
Email: mrojas@uns.edu.ar

<sup>2</sup> Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales del Sur (IIESS), Departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur (UNS) – CONICET, Bahía Blanca, Argentina.  
Email: slondon@uns.edu.ar

## Resumen

Las actividades intensivas en capital natural generan una interesante contradicción: su desarrollo depende fuertemente de la calidad ambiental a la vez que producen actuales y potenciales daños al medio ambiente. El mecanismo de retroalimentación, sin acciones ambientales específicas, puede afectar significativamente el avance de la región considerada. Bajo este marco conceptual, se desarrolla un modelo básico de crecimiento, en el que el desempeño agregado depende de la conducta maximizadora de los individuos (como consumidores y productores) y de la acción gubernamental a través de la valoración intertemporal de la sociedad. Esta variable cobra particular importancia, determinando las posibles trayectorias de la economía. Los resultados sugieren la necesidad de implementar políticas ambientales específicas para alcanzar una dinámica compatible con el desarrollo sostenible.

**Palabras claves:** desarrollo sostenible, valoración intertemporal, recursos naturales, modelo

**Código JEL:** O1, O4

## Abstract

The natural capital intensive activities generate an interesting contradiction: its development depends on the environmental quality, while these activities produce current and future damages to the environment. The feedback mechanisms without specific environmental policies can affect greatly the advance of the region. On this framework, we present a basic model of growth where the performance depends on the maximizing behaviour of agents (as consumers and firms) and governmental policies through the intertemporal valuation of society. This variable takes on a particular importance by determining different trajectories of the economy. The outcomes suggest the need of environmental policies implementations in order to catch a sustainable development dynamics.

**Keywords:** sustainable development, intertemporal valuation, natural resources, model

**JEL Code:** O1, O4

## 1. Introducción

La estructura de una economía se define a partir de condiciones iniciales (o dotaciones) y, luego, endógenamente en función de la trayectoria temporal de decisiones particulares que realizan los agentes y que van conformando el devenir económico y social de una población. En base a la cantidad de capital físico, capital humano o capital natural, la humanidad ha presenciado el desarrollo de economías bajo distintos patrones de especialización. En relación a los recursos naturales en particular, para los autores clásicos como Ricardo o Malthus, estos representaban el principal limitante para el avance de las naciones. A mediados del siglo XX, autores como Habakkuk defendieron la tesis de una relación positiva entre recursos naturales y crecimiento económico. Sin embargo, otros como Hotelling o Dasgupta llamaron la atención del problema que representaría un consumo excesivo del capital natural, siendo que esto podría minar las propias bases del desarrollo social y económico (Rojas, 2017).

En un sentido amplio, considerando a los recursos naturales como el medio que rodea y sostiene la vida humana (aire, agua, suelo), ninguna economía podría subsistir en el largo plazo a partir de la destrucción de su medio ambiente. Pérez-Banco (2012) menciona que en la Teoría del Crecimiento, esto podría representarse a través de modelos de tipo *cake eater*, en donde existen “elevadas tasas de descuento ( $\delta$ ) (y) en los que el consumo y los recursos naturales tienden a cero en el límite por agotamiento” (p. 85-86). A esta situación el autor la denomina trampa de subdesarrollo. La variable “tiempo”, representada a partir de la tasa de descuento intertemporal, juega un rol preponderante en el resultado final.

El análisis económico, y más precisamente, la teoría económica, plantea distintos abordajes de la variable “tiempo” en sus formulaciones. Desde la

representación de modelos económicos basados en un “tiempo lógico” hasta la incorporación de “la flecha del tiempo”, que permite estudiar fenómenos como la irreversibilidad, la incertidumbre y la dependencia a las condiciones iniciales, la discusión ha sido abundante y ha ocupado un lugar importante en la agenda de los investigadores en economía (London 2016).

El rol del tiempo (histórico) en los modelos económicos cambia sustancialmente cuando focalizamos sobre la valoración intertemporal de los agentes. Por un lado, existe una literatura importante (aunque acotada) sobre la consideración de esta variable en forma endógena (Becker y Mullingan, 1997; Frederick et al., 2002; Gong, 2006; Stern, 2006). Por otro lado, algunos modelos plantean la importancia de la consideración temporal en los resultados, si bien las relaciones causales y su propia variación en el tiempo se encuentran relegadas (Aghion y Howitt, 2008). De esta forma, los modelos de Crecimiento, Trampas de Pobreza o Desarrollo Sostenible siguen manteniendo, aun dentro de su flexibilidad (producto de la incorporación de no linealidades), cierta rigidez en sus estructuras, particularmente sobre la consideración del largo plazo en el análisis.

Básicamente, el problema metodológico que se plantea en sistemas formales hace referencia a la propia estructura del modelo: parámetros que representan valoración o preferencia intertemporal difícilmente puedan permanecer constantes en un modelo de crecimiento, ya que la propia dinámica del sistema seguramente hace variar la visión de los agentes. Joseph Schumpeter planteaba, ya en 1911 en su Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung (“Teoría del desarrollo económico”) el cambio en las dinámicas económicas producto de visiones “emprendedoras” o situaciones de estancamiento y depresión. La asunción de riesgos, propio del espíritu emprendedor, conlleva a una valoración positiva sobre el futuro económico, aun cuando el presente se muestre deprimido y poco alentador. Sin embargo, los riesgos y beneficios asumidos por los empresarios no se mantienen en el tiempo, lo que conduce a un crecimiento económico irregular. En otras palabras, son las expectativas y valoraciones intertemporales las que producen el carácter cíclico del comportamiento macroeconómico (London, 2016) siendo que las

preferencias por el presente o futuro no tienen por qué mantenerse estables (Rojas, 2017).

La Teoría Moderna del Crecimiento Económico, de la mano de los trabajos seminales de Roy Harrod, Evsey Domar y Robert Solow coloca al análisis del largo plazo en una incómoda situación similar al corto: en el estado estacionario, todas las variables permanecen constantes, a excepción del capital que se acumula a una tasa (constante). Con la incorporación del análisis intertemporal, Ramsey, Cass y Koopmas plantearon finalmente la valoración del tiempo como una variable diferente a la tasa de interés, mientras que en los trabajos de Diamond se distinguieron generaciones a partir de la discretización del tiempo. Todos estos modelos se caracterizaron por incorporar a la valoración intertemporal como un parámetro constante, ya sea para individuos de vida infinita o en modelos de generaciones solapadas (Romer, 2002).

Son los modelos de Trampa de Pobreza que acentúan la importancia de esta variable sobre los resultados macroeconómicos. Es así que modelos como el de Chackraborty *et al.* (2010) señalan la endogeneidad de la valoración intertemporal según las condiciones socio-económicas en cada momento del tiempo. La permanencia de dicha valoración condiciona los resultados y la posibilidad de crecimiento económico se ve truncada por el surgimiento de una trampa de pobreza. Estas ideas son consideradas por Tol *et al.* (2010) para incorporar la problemática medio ambiental en la valoración intertemporal y los resultados macroeconómicos. El resultado del modelo de Chackraborty *et al.* (2010) se replica: las externalidades negativas de la producción sobre el medio ambiente incrementan la mortalidad infantil y empeoran el sistema de salud, reduciendo la esperanza de vida y reduciendo, luego, la valoración por el futuro.

Ahora bien, teniendo en consideración ambas aristas, la incorporación del medio ambiente y del tiempo al análisis económico exigiría un replanteo del concepto de valoración intertemporal de la sociedad. Los efectos sobre el ambiente de decisiones de producción y consumo son acumulativos, persistentes y en algunos casos irreversibles, afectando las actividades económicas de futuras generaciones (London, 2017). En el caso de economías

basadas en recursos naturales, este análisis debe poner especial énfasis en la sostenibilidad del crecimiento y el rol determinante de la valoración intertemporal de la sociedad.

La consideración de una tasa social de descuento plantea un horizonte de largo plazo y define preferencias sociales antes que individuales, con otras implicancias éticas. Es decir, la tasa de descuento intertemporal resume, de alguna manera, las preferencias por el futuro (y el presente) del conjunto de la sociedad a partir de algún mecanismo de agregación (Rojas, 2017). Quién o cómo se define esta tasa es una cuestión que genera amplios debates, y una variedad de estudios empíricos y teóricos que quedan fuera del alcance de este trabajo.

En función de lo anterior, el objetivo aquí es presentar un modelo sencillo de generaciones solapadas para una economía basada en la explotación de recursos naturales. Para ello, los próximos apartados se ocupan de establecer el marco formal de análisis, la dinámica del sistema y condiciones de equilibrio del modelo propuesto, para presentar finalmente una discusión general de las conclusiones.

## **2. El rol de los recursos naturales y las políticas hacia el desarrollo sostenible: Un análisis formal**

La discusión anterior puede ser captada para el caso concreto de un modelo de familias productoras basado en recursos naturales. Considerando el impacto ambiental de dicha explotación y el consecuente deterioro de tales recursos, se presenta un modelo que replique parte de esta dinámica. Sin embargo, es importante destacar que el manejo ambiental de los recursos involucrados depende crucialmente de la valoración que la sociedad en su conjunto tenga sobre el futuro.

Para captar estos fenómenos, se desarrolló un modelo de generaciones solapadas bajo el supuesto de familias productoras y en tiempo discreto. Se trata de una economía basada en la producción de un bien mediante la utilización de recursos naturales, capital físico y trabajo. Los recursos naturales tienen la particularidad de ser un bien libre y poseer características de bien

público. En principio, las firmas toman el acervo de capital natural para la producción sin pagar un precio por ello. Además, la actividad genera ciertos daños sobre el sistema (polución). Bajo este esquema, el capital natural podría estar sujeto a sobreexplotación y degradación ambiental.

Por simplicidad se asume que cada familia está compuesta por un único individuo. Cada familia representa, a su vez, una firma productora de la generación o dinastía  $i$ . Las familias tendrán una valoración respecto de la elección intertemporal. Esta valoración, representada a través de la tasa intertemporal de descuento, está directamente asociada a la apreciación que tendrán respecto del medioambiente. En función de esta valoración subjetiva, las familias actuando como productoras estarán dispuestas a destinar una mayor o menor proporción de sus beneficios a medidas de mitigación a fin de reducir el impacto de la polución que la misma actividad productiva genera.

El sector público es el encargado de, bajo alguna forma de revelación y agregación de las preferencias,<sup>3</sup> reconocer esa tasa de descuento social y, en base a ello, implementar cierta política pública a favor del medio ambiente. Esto es, el gobierno recaudará los recursos destinados a medidas de mitigación e implementará la política a partir de un gasto equivalente.

## 2.1. El problema de maximización de las familias.<sup>4</sup>

Las familias están compuestas por un único individuo, quien vive dos períodos,  $t$  y  $t+1$ . Maximiza su función de utilidad con una aversión relativa al riesgo constante en términos del consumo. En  $t$ , el individuo joven divide su ingreso laboral entre consumo y ahorro. En  $t+1$ , el mismo individuo durante su vejez, realiza su consumo en función de su ingreso por capital y su riqueza. Así, la utilidad para un agente nacido en el momento  $t$  será:

$$U_t = \ln[c_t] + \frac{1}{1+\rho} \ln[c_{t+1}], \quad \rho > -1$$

<sup>3</sup> Queda fuera del presente trabajo la determinación de dicho mecanismo. Desde la práctica podría considerarse, por ejemplo, la votación o implementación de presupuesto participativo.

<sup>4</sup> El apartado 2.2 sigue de cerca a Candías, Rojas y London (2020).

En donde  $c_t + j$  es el consumo efectivo del individuo nacido en el momento  $t$  en su período de vida  $t + j$ , siendo  $j=\{0,1\}$ , y  $\rho$  es la tasa intertemporal de descuento (subjctiva).

Esta formulación permite que las familias puedan asignar un mayor peso al consumo del primer período de vida, en cuyo caso  $\rho > 0$ . En el límite, si  $\rho \rightarrow \infty$ , todo el peso se asigna al consumo del primer período y no se valora el consumo en  $t + 1$ . Contrariamente, si  $\rho$  adopta valores negativos, la mayor ponderación será para el consumo del segundo período.<sup>5</sup> De hecho, cuando  $\rho \rightarrow -1$ , se asignará toda la relevancia al consumo del segundo período. Por eso, el supuesto de que  $\rho > -1$  garantiza que el peso asignado al consumo del segundo período sea positivo. Cuando  $\rho = 0$  el consumo de ambos períodos recibe la misma ponderación.

El consumo en  $t + 1$  será el ahorro generado en el momento  $t$ , más el rendimiento de este:

$$c_{t+1} = (1 + r_{t+1})(y_t - c_t)$$

Donde  $r_{t+1}$  es la tasa de interés y  $y_t$  es el ingreso del individuo nacido en  $t$ . Reescribiendo (2) se obtiene la expresión de la restricción presupuestaria, en donde el valor presente del consumo a lo largo de la vida es igual a los ingresos actualizados:

$$c_t + \frac{1}{(1 + r_{t+1})} c_{t+1} = y_t$$

El problema de optimización, luego, se resume en maximizar la utilidad (1) sujeto a la restricción (3). Construyendo el Lagrangiano:

$$(4) \quad U_t = \ln[c_t] + \frac{1}{1+\rho} \ln[c_{t+1}] + \lambda \left[ y_t - \left( c_t + \frac{1}{(1+r_{t+1})} c_{t+1} \right) \right]$$

<sup>5</sup> Se asume que los individuos valoran el presente al menos igual que el futuro, como se desarrollará más adelante.



Las condiciones de primer orden para  $c_t$  y  $c_{t+1}$ , respectivamente, son:

$$(5) \quad (c_t)^{-1} = \lambda$$

$$(6) \quad \frac{1}{1+\rho} (c_{t+1})^{-1} = \frac{1}{1+r_{t+1}} \lambda$$

Y reemplazando la primera ecuación en la segunda, se obtiene:

$$(7) \quad \frac{1}{1+\rho} (c_{t+1})^{-1} = \frac{1}{1+r_{t+1}} (c_t)^{-1}$$

Que puede reescribirse como:

$$(8) \quad \frac{c_{t+1}}{c_t} = \frac{1+r_{t+1}}{1+\rho}$$

La ecuación (8) implica que el consumo entre  $t$  y  $t+1$  aumentará o disminuirá dependiendo de si el rendimiento real del ahorro es mayor o menor que la tasa de descuento subjetiva. Esta expresión es la tradicional ecuación de Euler, la cual, junto a la restricción presupuestaria, describe el comportamiento de los individuos respecto del consumo y del ahorro a lo largo del tiempo. Reemplazando (8) en (3), se obtiene el consumo en función de la renta y de la tasa de descuento:

$$(9) \quad c_t = \frac{1+\rho}{2+\rho} y_t$$

La relación  $\frac{1+\rho}{2+\rho}$  determina la propensión marginal a consumir, es decir, qué proporción de los ingresos del individuo se consume en el primer período. Además,  $\frac{1+\rho}{2+\rho}$  es creciente en  $\rho$ , siendo que cuanto mayor es el factor de descuento se le asigna más relevancia al consumo del primer período y, por lo tanto, se destinará una mayor proporción de la renta al consumo

en  $t$ . Es importante notar que el consumo expresado en la ecuación (9) es independiente de la tasa de interés dada la forma asumida para la función de utilidad de aversión al riesgo relativa constante y elasticidad de sustitución intertemporal unitaria

Por otro lado, la fracción de la renta que se ahorra o tasa de ahorro  $s_t = y_t - c_t$ , es decreciente en  $\rho$  y puede escribirse como:

$$(10) \quad \frac{s_t}{y_t} = \frac{1}{2+\rho}$$

El comportamiento del consumo (dependiendo de la tasa de descuento) tiene la forma funcional standard: a partir de un valor determinado de consumo autónomo es creciente a una tasa decreciente. La diferencia con la teoría tradicional del consumo radica en que, si bien a tasa decreciente, a mayores niveles relativos de  $\rho$  (impaciencia) el consumo es siempre creciente.

La contracara de la función consumo, la función ahorro, refleja este mismo comportamiento: a mayor impaciencia, menor ahorro y por lo tanto menor inversión habrá en la economía, afectando la tasa de crecimiento de transición y haciendo tender al sistema a un equilibrio de bajo nivel de ingreso (trampa de la pobreza).

## 2.2. El rol del Estado

El estado adopta un rol cuasi pasivo en la determinación del producto, en el sentido de que no actúa como productor ni consumidor. Su finalidad es la implementación de medidas a favor del medio ambiente a partir de la recaudación impositiva  $\Gamma_t$ . Esta recaudación se realiza mediante un impuesto recaudado sobre los beneficios de las firmas. Los recursos públicos así obtenidos se transforman inmediatamente en gasto público,  $G_t$ , siendo que en cada momento se cumple la premisa de presupuesto equilibrado.

$$(11) \quad G_t = \Gamma_t$$

Como se mencionó anteriormente, bajo algún mecanismo de revelación de preferencias, el Estado conoce cuál es la percepción respecto del valor asociado al tiempo de la sociedad. Por lo tanto, la recaudación impositiva se realizará mediante una tasa de impuesto establecida como una función de la tasa de descuento, y aplicada sobre los beneficios empresariales. Estos recursos serán destinados a la implementación de medidas de mitigación a fin de disminuir la degradación de los recursos causados por el proceso productivo. Luego, los recursos destinados a tal fin dependerán de la tasa de descuento subjetiva, siendo la tasa impositiva  $\tau$  una función monótona decreciente de  $\rho$ :

$$(12) \quad \Gamma_t = \tau(\rho) * (\pi_t), \text{ con } 0 < \tau(\rho) < 1, \quad \tau' < 0, \quad \tau'' \geq 0$$

El razonamiento del poder estatal es que cuanto menor sea la tasa de descuento y mayor la valoración por el futuro, es esperable que los ciudadanos tengan una mayor disponibilidad para contribuir con recursos para el cuidado del ambiente, soportando tipos impositivos mayores. Por último, como se verá a continuación,  $(\pi_t)$  representan los beneficios de las firmas.

Las medidas de mitigación no se encuentran modeladas en el esquema presentado. La noción que se considera es la implementación de políticas que minimicen los impactos inevitables (o difícilmente evitables) de la explotación de recursos y la atenuación de daños potencialmente evitables. Por ejemplo, la recuperación de tierra vegetal o reforestación, el control de emisiones gaseosas o material particulado en los procesos productivos, el vertido de efluentes a los cursos de agua y mar, o el mejoramiento de los controles por sobreexplotación de recursos como el pesquero, entre muchos ejemplos.

### ***2.3. El problema de optimización del productor***

La economía está compuesta por un conjunto de firmas idénticas que actúan bajo competencia perfecta. Todas producen el mismo bien homogéneo bajo rendimientos decrecientes de los factores y constantes a escala. La tecnología se identifica como:

$$(13) \quad X_t = (K_t)^\alpha (L_t)^\beta (R_t)^\gamma, \quad 0 < \{\alpha, \beta, \gamma\} < 1, \quad \alpha + \beta + \gamma = 1$$

En donde  $X_t$  es el producto total generado en  $t$ ;  $K_t$ ,  $L_t$  y  $R_t$  son el stock de capital físico, trabajo y capital natural utilizados en la producción, y  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  son las elasticidades producto de cada uno de los factores.

La ecuación (13) plantea un supuesto extremadamente fuerte (aún en el largo plazo): la perfecta sustitución de factores, entre ellos, los recursos naturales. Esto es así porque en el horizonte temporal de los modelos de crecimiento neoclásicos el capital puede ser sustituto de los recursos naturales, aun cuando el capital use este tipo de recursos. La idea está planteada por Solow a través de la “regla de Hotelling”, que establece que la asignación intertemporal mediante equilibrio competitivo de los recursos no renovables se extiende hasta el infinito, aun cuando dicho equilibrio entrañe el agotamiento de los recursos en un tiempo finito (pues, más allá del momento del agotamiento, hay un equilibrio en el que las cantidades ofrecidas y demandadas se igualan a cero a un precio simultáneamente tan alto que la demanda se frena y tan pequeño que los explotadores de los recursos pierden interés en guardar existencias remanentes de estos durante algún tiempo) (Stern, 1997).

Luego, asumiendo que el precio del bien de consumo es igual a la unidad, la función de beneficios netos a maximizar por las firmas será:

$$(14) \quad \pi_t = [1 - \tau(\rho)] (X_t - r_t K_t - w_t L_t)$$

Lo cual establece, como se mencionó en el subapartado anterior, que el Estado recauda un impuesto  $\tau(\rho)$  sobre los beneficios empresariales.

Recordando que  $R_t$  es un recurso libre, de las condiciones de primer orden para la maximización del beneficio se obtienen las expresiones de  $r_t$  y  $w_t$ :

$$(15) \quad \alpha(K_t)^{\alpha-1}(L_t)^\beta(R_t)^\gamma = r_t$$

$$(16) \quad \beta(K_t)^\alpha (L_t)^{\beta-1}(R_t)^\gamma = w_t$$

Sustituyendo estas expresiones en (14) es fácil ver que las firmas tendrán beneficios supernormales derivados de los retornos del recurso libre, siendo que  $(\pi_t)^* = [1-\tau(\rho)] \gamma X_t$ .

Los beneficios supernormales serán mayores cuanto mayor sea la participación relativa de los recursos naturales en la producción, y menores cuanto mayor sea la preferencia por el futuro dado que se destinará un monto mayor a impuestos y gasto público.

El ingreso de las familias vendrá dado por el salario y la distribución equitativa de los beneficios supernormales:

$$(17) \quad y_t = w_t + \frac{(\pi_t)^*}{L_t}$$

## 2.4. El análisis dinámico

En cada generación, la inversión agregada neta, o la variación de capital entre  $t$  y  $t+1$ , debe igualar el ingreso total de la economía menos el consumo agregado:

$$(18) \quad K_{t+1} - K_t = y_t L_t + r_t K_t - c_{t,t} L_t - c_{t-1,t} L_{t-1}$$

Donde se asume que la tasa de depreciación del capital físico es nula por simplificación. Además,  $c_{t,t}$  y  $c_{t-1,t}$  son el consumo en el momento  $t$  de la generación joven (nacida en  $t$ ) y el consumo en  $t$  de la generación nacida en  $(t-1)$ . Dado que  $c_{t,t} = y_t - s_t$  y  $c_{t-1,t} = (1+r_t)s_{t-1}$ , reemplazando en (18) se obtiene:

$$(19) \quad K_{t+1} = s_t L_t + (1 + r_t)(K_t - s_{t-1} L_{t-1})$$

La ecuación (19) identifica la ley de movimiento del capital.

Para resolver la dinámica del problema, es necesario establecer una condición inicial. Debe considerarse que la economía comienza a existir en algún punto del tiempo con un stock de capital  $K_1$ , el cual es apropiado por las  $L_0$  familias existentes, y que en  $t = 1$  transcurren su segundo período de vida. Esta generación inicial consume un monto equivalente a:  $c_{0,1} L_0 = (1 + r_1) K_1$ , siendo  $K_1 / L_0 = s_0$ . Además, sabiendo que  $c_{1,1} + s_1 = y_1$ , si se reexpresa la ecuación (19) para  $t = 2$ , implica que:  $K_2 = s_1 L_1$ . Luego, la ecuación (19) puede escribirse como:

$$(20) \quad K_{t+1} = s_t L_t, \quad \forall t \geq 2$$

Este es un resultado común en los modelos de generaciones solapadas que no consideran cuestiones de altruismo intergeneracional, e implica que la generación vieja “venderá” todo su capital a la próxima generación joven (ver, por ejemplo, Barro y Sala-i-Martin, 1995; o Romer, 2002).

Los otros dos factores relevantes evolucionan a lo largo del tiempo de acuerdo a las siguientes leyes:

$$(21) \quad L_{t+1} = L_t$$

$$(22) \quad R_{t+1} = R_t + \phi R_t \left( \bar{R} - \frac{P_t}{M_t} \right)$$

La ecuación (21) muestra que la población permanece constante. Es decir que en cada dinastía mueren y nacen la misma cantidad de personas, por lo que el crecimiento poblacional es nulo. La ecuación (22) establece cómo se regeneran los recursos naturales en la economía. La posibilidad de los recursos libres de regenerarse disminuye con el nivel de polución,  $P_t$ . Por otra parte, se plantea un efecto de recuperación como resultado de medidas de mitigación  $M_t$ . Cuando la polución supera cierto umbral  $\bar{R}$ , la naturaleza pierde su capacidad de auto-regeneración, y el stock de recursos naturales disminuye. Es decir, si  $\frac{P_t}{M_t} > \bar{R}$ , el ambiente enfrentará un proceso de degradación y entonces  $R_{t+1} < R_t$ . El factor  $\phi$  representa la tasa de regeneración.

Las medidas de mitigación  $M_t$  vendrán dadas por el monto asignado por el erario público, quien se encarga de la política ambiental:

$$(23) M_t = G_t$$

Y dado el supuesto de presupuesto equilibrado y la definición de los beneficios empresariales, (23) puede reescribirse como:

$$(24) M_t = \tau(\rho) \gamma X_t$$

Por otro lado, como la polución es consecuencia de la actividad productiva, se establece que el nivel de  $P_t$  es:

$$(25) P_t = \delta (X_t)^\mu$$

Donde  $\{\delta, \mu\} > 0$  determinan el ritmo al cual la economía genera polución a partir del proceso productivo. En este caso, no se consideran valores umbrales ni efectos acumulativos de la polución.

Luego, las ecuaciones (20) a (25) definen la dinámica del sistema.

## 2.5. La determinación del equilibrio

En la ecuación (20), reemplazando  $s_t$  por (10) y  $y_t$  por (17), y expresando todo en términos de tasa de cambio:

$$(26) \frac{K_{t+1} - K_t}{K_t} = \frac{1}{(2+\rho)} \{[1 - \tau(\rho)]\gamma + \beta\} (K_t)^{-(1-\alpha)} (L_t)^\beta (R_t)^\gamma - 1$$

La ecuación (26) presenta el resultado típico de una relación negativa entre el stock de capital y su tasa de acumulación, debido a la presencia de rendimientos marginales decrecientes y la ausencia de cualquier otra fuente de crecimiento exógeno.

Lo interesante es analizar qué rol juega la tasa de descuento. La misma tendrá un efecto negativo directo, dado que una mayor preferencia por

el consumo actual reducirá las posibilidades de ahorro y, por lo tanto, de inversión y acumulación de capital. Sin embargo, también tendrá un efecto positivo sobre la tasa de acumulación de capital físico, siendo que también reducirá el monto destinado al cuidado del ambiente a través de una menor tasa  $\tau(\rho)$ .

De la misma forma, usando las ecuaciones (22) a (25) puede derivarse el recorrido del stock de capital natural:

$$(27) \quad \frac{R_{t+1}-R_t}{R_t} = \phi \left\{ \bar{R} - \frac{\delta}{\tau(\rho)^\gamma} [(K_t)^\alpha (L_t)^\beta (R_t)^\gamma]^{\mu-1} \right\}$$

La tasa de incremento del capital natural será mayor si el tipo impositivo  $\tau(\rho)$  es mayor, dado que incrementa los recursos que el Estado destina a medidas precautorias. La elasticidad del capital natural en la producción también posee una relación positiva con la tasa de acumulación de los recursos naturales, dado que ante una mayor elasticidad, será necesaria una menor cantidad de recursos naturales para obtener el mismo monto de producción. A su vez, la tasa de variación de los recursos naturales será menor cuanto mayor sea el ritmo al cual la producción genera polución ( $\delta$ ). De manera que cuanto más “sucia” sea la producción, menor será el stock final de capital natural. Por supuesto, una mayor tasa de regeneración  $\phi$  y un mayor umbral  $\bar{R}$  permiten una mejor recuperación del ambiente, por lo que  $\frac{R_{t+1}-R_t}{R_t}$  será mayor.

En el equilibrio,  $K_{t+1} = K_t = K$ , y  $R_{t+1} = R_t = R$ . Normalizando  $L_t = 1^6$  y despejando de las condiciones anteriores los niveles de equilibrio para el estado estacionario,  $K^*$  y  $R^*$ , se obtiene:

$$(28) \quad K^* = \left[ \frac{1}{(2+\rho)} \{ \gamma [1 - \tau(\rho)] + \beta \} \right]^{1/1-\alpha} (R^*)^{\gamma/1-\alpha}$$

<sup>6</sup> La normalización se realiza para llegar a un resultado cerrado en función de los valores de  $K$  y  $R$ . Puede verse que el tamaño poblacional aumenta el nivel de capital de estado estacionario, pero reduce el nivel de recursos naturales.



$$(29) \quad R^* = \left[ \frac{\delta}{\bar{R}\tau(\rho)\gamma} \right]^{1/\gamma(1-\mu)} (K^*)^{-\alpha/\gamma}$$

De (28) y (29) se desprende que, en el cuadrante  $\{K_t, R_t\}$ ,  $K_t$  y  $R_t$  guardan una relación positiva sobre la traza que define  $\frac{K_{t+1}-K_t}{K_t} = 0$ . Por el contrario, guardan una relación negativa sobre  $\frac{R_{t+1}-R_t}{R_t} = 0$ . La figura 1 muestra el diagrama de fases establecido por estas expresiones.

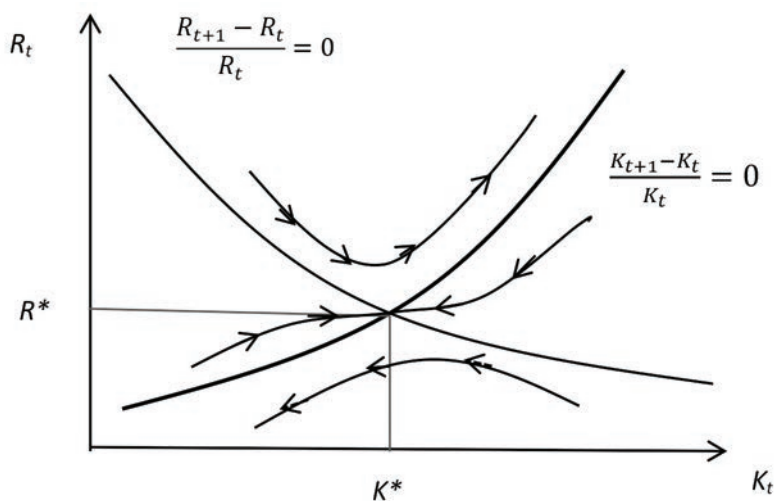


Figura 1. Diagrama de fases. Fuente: Elaboración propia.

El equilibrio observado en la figura anterior corresponde a un punto de silla, en donde la trayectoria estable dependerá de las condiciones iniciales y de transversalidad. Como se demuestra en el apéndice del trabajo, la condición necesaria y suficiente para la existencia de un equilibrio de silla es que  $0 < \mu < 1$ , lo cual implica que la actividad productiva no genere polución de manera explosiva.

De forma recursiva, reemplazando (28) en (29) y viceversa, se obtienen los valores de equilibrio para los stocks de capital físico y natural, en función de los parámetros del modelo y del tipo impositivo:

$$(30) \quad K^* = \frac{1}{(2+\rho)} \{ \gamma[1 - \tau(\rho)] + \beta \} \left[ \frac{\delta}{\bar{R} \gamma \tau(\rho)} \right]^{1/1-\mu}$$

$$(31) \quad R^* = \left( \frac{1}{(2+\rho)} \{ \gamma[1 - \tau(\rho)] + \beta \} \right)^{-\alpha/\gamma} \left[ \frac{\delta}{\bar{R} \gamma \tau(\rho)} \right]^{1-\alpha/\gamma(1-\mu)}$$

De (30) se desprende que un menor valor de  $\rho$  incrementa el stock de capital final siendo que una mayor preferencia por el futuro incrementa el ahorro total de la economía (y la inversión). A su vez, incrementa el monto destinado a medidas precautorias, lo que reducirá el nivel de  $K^*$ .

La tasa  $\rho$  también juega un doble rol en la determinación de  $R^*$ : por un lado, favorece la regeneración de los recursos a partir de las medias de mitigación; por otro, reduce la cantidad de recursos siendo que un mayor nivel de capital y producción requiere de un mayor consumo de recursos.

Es de notar que si el Estado no recaudara el impuesto para implementar medidas de mitigación y  $\tau(\rho) \rightarrow 0$ , tanto  $R^*$  como  $K^*$  se aproximarían a un valor nulo, por lo que este es un resultado no plausible. Por otra parte, si  $\tau(\rho) \rightarrow 1$ , aún podría obtenerse un equilibrio con valores positivos de capital físico y natural, siendo que la economía posee beneficios supernormales devenidos del uso de los recursos libres.

## 2.6. La dinámica y el equilibrio en ausencia de externalidades y con pago por servicios ambientales.

Como se vio en el apartado anterior, la omisión de medidas de mitigación como la propuesta en el esquema anterior, con una tasa de recaudación nula, llevaría a la imposibilidad de un resultado plausible. Ahora, la pregunta que cabe hacerse es qué sucedería si en lugar del accionar público se deja al propio mercado actuar a fin de valorar los recursos naturales como bienes económicos y ya no como bienes libres. Esto es, se asume la internacionalización del uso de dichos recursos.

Esta propuesta no implica la no existencia de políticas ambientales, sino

una política directa y determinada por los mecanismos de mercado como ser, por ejemplo, el pago por **servicio** ambientales.

En este caso, el factor  $R_t$  recibe también una retribución por su uso, igual al valor de su productividad marginal. Se denomina  $\omega_t$  a dicha remuneración. Luego, a las condiciones de primer orden para el caso de la maximización de las firmas (ecuaciones 15 y 16), se agrega la condición correspondiente al pago del factor natural en función de su productividad marginal:

$$(32) \quad \gamma(K_t)^\alpha (L_t)^\beta (R_t)^{\gamma-1} = \omega_t.$$

Lo anterior determina que las firmas ya no posean beneficios supernormales y las familias recibirán exactamente el salario correspondiente al factor trabajo. Este resultado modifica la determinación de la dinámica. En particular, reescribiendo la ecuación (18), la misma queda establecida como:

$$(18') \quad K_{t+1} - K_t = w_t L_t + r_t K_t + \omega_t R_t - c_{t,t} L_t - c_{t-1,t} L_{t-1}$$

Por su parte, las medidas de mitigación ahora vienen establecidas por los recursos destinados al pago del factor natural. Es decir, la ecuación (23) es ahora:

$$M_t = \omega_t R_t$$

Resolviendo de modo similar al anterior para las tasas de incremento del capital físico y natural, las equivalentes a las ecuaciones (26) y (27) son ahora:

$$(26') \quad \frac{K_{t+1} - K_t}{K_t} = \left[ \gamma + \frac{\beta}{(2+\rho)} \right] (K_t)^{-(1-\alpha)} (L_t)^\beta (R_t)^\gamma - 1$$

$$(27') \quad \frac{R_{t+1} - R_t}{R_t} = \phi \bar{R} - \phi \frac{\delta [(K_t)^\alpha (L_t)^\beta (R_t)^\gamma]^{\mu-1}}{\gamma}$$

Si se comparan estas expresiones con las originales, puede verse que (26) y (26') difieren en los factores  $\left[\gamma \frac{1-\tau(\rho)}{2+\rho} + \frac{\beta}{2+\rho}\right]$  versus  $\left[\gamma + \frac{\beta}{(2+\rho)}\right]$ . Siendo que  $\frac{1-\tau(\rho)}{2+\rho} < 1$ , es fácil concluir que la tasa de acumulación de capital físico es menor en el primer caso, sin la internacionalización de externalidades.

Por su parte, las expresiones (27) y (27') difieren en:  $\left(-\frac{\phi\delta}{\gamma\tau(\rho)}\right)$  versus  $\left(-\frac{\phi\delta}{\gamma}\right)$ ; y siendo que  $0 < \tau(\rho) < 1$ , la tasa de acumulación de recursos también será menor en un contexto con externalidades. Por lo tanto, en la dinámica hacia el estado estacionario, el primer caso muestra tasas de crecimiento de corto plazo, tanto del capital físico como natural, menores.

Finalmente, las expresiones de  $R^*$  y  $K^*$  en el equilibrio para el caso de pago por servicios ambientales serán:

$$(30') \quad K^* = \left[\gamma + \frac{\beta}{(2+\rho)}\right] \left[\frac{\delta}{R\gamma}\right]^{1/1-\mu}$$

$$(31') \quad R^* = \left(\frac{\delta}{R\gamma}\right)^{1-\alpha/\gamma(1-\mu)} \left(\gamma + \frac{\beta}{(2+\rho)}\right)^{-\alpha/\gamma}$$

Como puede verse, el equilibrio final será mayor aquí que en presencia de externalidades y medidas de mitigación impulsadas a través de una recaudación impositiva. Para verlo de una manera sencilla, aún si se asume que todos los beneficios supernormales se destinan a medidas de mitigación (esto es, si en las ecuaciones 30 y 31 se asume  $\tau = 1$ ), puede verse que  $K^*$  y  $R^*$  serán mayores en este segundo caso.

Véase que en este caso extremo, los equilibrios dados por las ecuaciones (30) y (31) quedan definidos como

$$K^* = \frac{\beta}{(2+\rho)} \left[\frac{\delta}{R\gamma}\right]^{1/1-\mu} \text{ y } R^* = \left[\frac{\delta}{R\gamma}\right]^{1-\alpha/\gamma(1-\mu)} \left(\frac{\beta}{(2+\rho)}\right)^{-\alpha/\gamma} .$$

Pero en el caso de implementarse el pago por servicios ambientales y el reconocimiento de los recursos naturales como bienes económicos, tanto el

stock final de capital natural como el de capital físico están determinados, adicionalmente, por  $\gamma$ , mostrando niveles superiores de equilibrio que en el caso anterior.

### *Consideraciones finales*

El crecimiento económico basado en recursos naturales ha sido y sigue siendo de interés, especialmente para la agenda de los países de América Latina (Ramos, 1998; Pérez 2010, 2012). El objetivo del crecimiento sostenible plantea, por otra parte, la necesidad de establecer medidas de remediación y mitigación frente a la degradación de dichos recursos, a partir de los procesos productivos.

Sin embargo, la búsqueda de rentas inmediatas, la subestimación de efectos contaminantes, y en muchos casos, la urgencia de resultados económicos, conduce a una sobreexplotación de los recursos. Dicho accionar redundaría en una disminución tanto del propio crecimiento contemporáneo como de oportunidades futuras. En algunas ocasiones estos efectos se postergan en el tiempo, pero manteniendo sus consecuencias negativas. El ejemplo de bosques, suelos, pesca y recursos naturales turísticos da cuenta de este delicado equilibrio. En todo caso, la valoración intertemporal de la sociedad es determinante para el resultado final.

Bajo estos conceptos, se presentó un modelo sencillo de crecimiento económico basado en recursos naturales, con el propósito de subrayar el rol de dicha valoración en los resultados económicos. En un modelo donde los recursos naturales se comportan como un bien libre, las medidas de mitigación dependerán de tal valoración. El principal resultado (muchas veces base de políticas económicas adversas para las generaciones futuras) es que el establecimiento de medidas paliativas o de prevención conlleva la detracción de recursos económicos para la producción actual.

Los resultados son sensibles a la internalización de los efectos provenientes de la contaminación y de la mitigación. El equilibrio final es mayor en el caso en que se produzca un pago por servicios ambientales. En ambos casos, los resultados también son sensibles a las características físico-naturales de los

bienes involucrados.

En relación a los supuestos hechos acerca del comportamiento gubernamental, es de esperar que la imagen de dictador omnisciente y benevolente que se introdujo aquí por simplicidad no sea del todo la más adecuada. La valoración subjetiva del futuro por parte de los agentes actuando como consumidores-productores no tiene por qué ser la misma que la de quienes detentan el poder e implementan política pública. Como menciona la Teoría de la Burocracia y de la Elección Pública, el burócrata incorpora su propia lógica y preferencias al proceso de decisión. Es de esperar que, si no actúa con un altruismo lo suficientemente elevado o algún mecanismo de castigo o coerción social, el objetivo más próximo sea ganar las subsecuentes elecciones, destinando los fondos recaudados a complimentar dicho objetivo antes que a políticas ambientales.

Luego, esto abre un amplio debate a futuras líneas de investigación. Por un lado, es necesario ampliar y profundizar el modelo para incorporar otro tipo de lógica gubernamental en donde los intereses sociales y estatales podrían, incluso, entrar en conflicto. Adicionalmente, sería de gran utilidad analizar la interdependencia que podría existir entre sectores principalmente contaminantes (como el industrial) y sectores altamente dependientes de recursos naturales renovables como dos sectores diferenciados. Por último, sería menester realizar un abordaje empírico que permita contrastar los modelos, con el propósito de delinear políticas ambientales específicas.

## Bibliografía

- Aghion P, Howitt, PW. (2008). *The economics of growth*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts London, England
- Álvarez-Albelo, C. and Hernández-Martín, R. (2007). “Explaining high economic growth in small tourism countries with a dynamic general equilibrium model”. Xarxa de Referència en Economia Aplicada (XREAP).
- Azariadis Costas – Stachurski John (2005). Poverty Traps, Handbook of Economic Growth, en Philipp Aghion – Steven Durlauf Eds. Elsevier.

- Banco Mundial (2011) <http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GNP.PCAP.CD>
- Becker Gary S., Mulligan Casey B. (1997) The Endogenous Determination of Time Preference, *The Quarterly Journal of Economics*, Volume 112, Issue 3, 1 August 1997,
- Boules S, Durlauf S, Hoff K.(edts) :Poverty Traps, Princeton University Press, 2006.
- Chakraborty Shankha, (2002.) Endogenous Lifetime and Economic Growth, University of Oregon Economics Department Working Papers 2002-03, University of Oregon Economics Department.
- Candias, K., Rojas, M. L. & London, S. (2020). Turismo y crecimiento en América Latina y Caribe. *Economía Coyuntural, Revista de temas de perspectivas y coyuntura*, 5(3), 87-123. DOI: 10.5281/zenodo.4061875
- Chakraborty, S., C.Papageorgiou, and F.Pérez Sebastián (2010), 'Diseases, infection dynamics, and development', *Journal of Monetary Economics*, 57, (7), pp. 859-872.
- Frederick, Shane, George Loewenstein, and Ted O'Donoghue. (2002) "Time Discounting and Time Preference: A Critical Review." *Journal of Economic Literature*, 40 (2): 351-401. DOI: 10.1257/0022051022320161311
- Gong Liutang (2006) Endogenous Time Preference, Inflation, and Capital Accumulation, *Journal of Economics*, April, Volume 87, Issue 3
- Hubbard, R.G., Skinner J. - Zeldes S.P. (1993), The importance of precautionary motives in explaining individual and aggregate saving NBER Working Paper 4519, 1993.
- London Silvia (2017) A Methodological Note about the Analysis of the Economic Growth and Environment, *MOJ Ecology & Environmental Science* Volume 2 Issue 8, DOI: 10.15406/mojes.2017.02.00053.
- London Silvia (2016): Sobre la consideración del tiempo en el análisis económico. XXII Jornadas de Epistemología UBA-IIIEP, Octubre
- Lozano, J., Gómez, C.; Rey-Maqueira, J. (2008) "The TALC hypothesis and economic growth theory". *Tourism Economics*, 14 (4), 727-749.
- ONU (1988). *Nuestro Futuro Común*. Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Brundtland, Gro Harlem (pref.), Madrid.

- Pérez Carlota (2012) Una visión para América Latina: Dinamismo tecnológico e inclusión social mediante una estrategia basada en los recursos naturales. *Revista Económica* v. 14, n. 2
- Pérez Carlota (2010) Dinamismo tecnológico e inclusión social en América Latina: una estrategia de desarrollo productivo basada en los recursos naturales. *Revista de la CEPAL* 100.
- Pérez-Blanco, C. D. (2012). La dinámica del subdesarrollo y su relación con el deterioro ambiental. *Economía, sociedad y territorio*, 12(38), 81-105.
- Ramos, Joseph (1998) Una estrategia de desarrollo a partir de los complejos productivos en torno a los recursos naturales. *Revista CEPAL* No.66
- Rojas, M. (2017). El tiempo perdido: dinámica y decisiones intertemporales en la teoría del crecimiento. *Actas de las XXIII Jornadas de Epistemología UBA-IIEP*. Disponible en: <http://www.economicas.uba.ar/wp-content/uploads/2015/11/I%C2%BA-Simposio-Internacional-de-Teor%C3%ADa-Contable-LA-OBRA-DE-RICHARD-MATTESSICH.pdf> [descargado el 22 de febrero de 2021].
- Rojas Mara (2017). Recursos naturales y crecimiento: de la maldición de los recursos a la maldición institucional. *Instituto Argentino para el Desarrollo Económico; Realidad Económica*; 308(3); 101-116.
- Romer David (2002) *Macroeconomía Avanzada*, McGraw Hill, España
- Saez-Martia Maria, Weibullb Jörgen (2005) W Discounting and altruism to future decision-makers, *Journal of Economic Theory* 122254 – 266
- Stern David (1997) “Limits to substitution and irreversibility in production and consumption: A neoclassical interpretation of ecological economics.” *Ecological Economics*, Vol. 21, No. 3, June, pp. 197-215.
- Stern Michael L. (2006) Endogenous time preference and optimal growth, *Economic Theory*, September, Volume 29, Issue 1,
- Tol, Richard. (2011). *Poverty Traps and Climate Change*, ESRI Working Paper 413.



## Apéndice

Reescribiendo (26) y (27) asumiendo ausencia de crecimiento poblacional y población inicial normalizada:

$$(A.1) \quad \frac{\Delta K_t}{\Delta t} = A (K_t)^{-(1-\alpha)} (R_t)^\gamma - 1$$

$$(A.2) \quad \frac{\Delta R_t}{\Delta t} = \frac{\phi \bar{R}}{R_t} - B [(K_t)^\alpha (R_t)^{-(1-\gamma)}]^{-(1-\mu)}$$

Con  $A = \frac{1}{(2+\rho)} \{ [1 - \tau(\rho)]\gamma + \beta \}$ ,  $B = \frac{\phi \delta}{\tau(\rho)\gamma}$ ,  $\frac{\Delta K}{\Delta t} = \frac{K_{t+1} - K_t}{K_t}$ ,  $\frac{\Delta R}{\Delta t} = \frac{R_{t+1} - R_t}{R_t}$ .

Log-linealizando las expresiones anteriores:

$$(A.3) \quad \frac{\Delta K_t}{\Delta t} = A e^{-(1-\alpha) \log(K_t) + \gamma \log(R_t)} - 1$$

$$(A.4) \quad \frac{\Delta R_t}{\Delta t} = \phi \bar{R} e^{-\log(R_t)} - B e^{\alpha(\mu-1) \log(K_t) + \gamma(\mu-1) \log(R_t)}$$

Tomando una expansión de Taylor de 1er Orden alrededor del estado estacionario se definen las ecuaciones:

$$(A.5) \quad \frac{\Delta K_t}{\Delta t} = [-(1-\alpha)] \log\left(\frac{K}{K^*}\right) + \gamma \log\left(\frac{R}{R^*}\right)$$

$$(A.6) \quad \frac{\Delta R_t}{\Delta t} = -\phi \bar{R} \alpha (\mu - 1) \log\left(\frac{K}{K^*}\right) - \phi \bar{R} (\mu - 1) \gamma \log\left(\frac{R}{R^*}\right)$$

O de forma matricial:

$$(A.7) \quad \begin{bmatrix} \Delta K_t / \Delta t \\ \Delta R_t / \Delta t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(1-\alpha) & \gamma \\ -\phi \bar{R} \alpha (\mu - 1) & -\phi \bar{R} \gamma (\mu - 1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \log(K/K^*) \\ \log(R/R^*) \end{bmatrix}$$

El determinante D de la matriz característica se expresa como:

$$(A.8) \quad D = [-(1-\alpha)] * [-\phi \bar{R} \gamma (\mu - 1)] - \gamma * [-\phi \bar{R} \alpha (\mu - 1)]$$

El determinante se define negativo sí y solo sí  $0 < \mu < 1$ , lo cual implica que la producción no genere polución de forma exponencial. Con el determinante definido negativo, los dos eigenvalores del sistema poseen signo opuesto, resultado que implica que el equilibrio es un punto de silla.

Tal como muestra la figura 1, habrá valores determinados de condiciones iniciales y transversalidad para los cuáles el sistema alcance el estado estacionario. Fuera de esos valores, el sistema puede caer en trayectorias explosivas.

-----

-----

-----

-----