Recursos no renovables y cambio climático: ¿Hemos vuelto al crecimiento cero?

Felix Wellschmied

Universidad Carlos III de Madrid

Crecimiento Económico

Introducción

- El crecimiento constante de la producción por trabajador en el modelo de Solow depende de la suposición de que los factores de producción no laborales no están disminuyendo.

- Sin embargo, algunos factores de producción importantes son finitos:
  - Veremos que a pesar de que algunos recursos son finitos, el crecimiento constante sigue siendo un resultado probable.
  - Además, los datos de precios sugieren que los recursos aparentemente necesarios y finitos no son necesarios o no son finitos.

- También analizamos el tema de la contaminación y la curva ambiental de Kuznets:
  - Veremos que el progreso tecnológico vuelve a dar esperanzas de crecimiento económico a largo plazo.
  - Explicaremos la curva ambiental de Kuznets mediante la dinámica de transición.

- Finalmente, consideraremos las emisiones de CO2.

Recursos no renovables

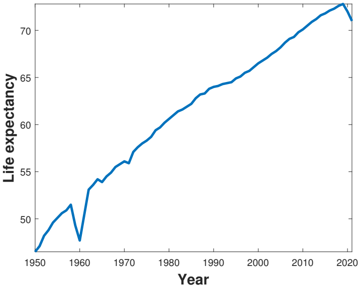
Historia

Meadows et al. (1972) en su contribución para el *Club of Rome*, realizó simulaciones por computadora para la producción mundial y la población. Hicieron especial hincapié en la cantidad finita de algunos recursos clave que harían cada vez menos factible su uso:

"Dadas las tasas actuales de consumo de recursos y el aumento proyectado en las tasas, la gran mayoría de los recursos no renovables actualmente importantes serán extremadamente costosos dentro de 100 años. [...] Los precios de los recursos con los índices de reserva estática más cortos ya han comenzado a aumentar. El precio del mercurio, por ejemplo, ha subido un 500 por ciento en los últimos 20 años; El precio del plomo ha aumentado un 300 por ciento en los últimos 30 años."

Ehrlich (1968) revivió la lógica maltusiana de una población que crece más rápido que el suministro de alimentos escribiendo:

"La batalla para alimentar a toda la humanidad ha terminado. En las décadas de 1970 y 1980, cientos de millones de personas morirán de hambre [...]. En esta fecha tardía nada puede evitar un aumento sustancial de la tasa de mortalidad mundial."



Source: United Nations

Visión general

- Vamos a introducir un recurso no renovable en el modelo Solow.
- Puede pensar en petróleo, gas, minerales y otras cosas que son finitas pero importantes en la producción.
- La diferencia clave con el capital es que estos recursos se agotarán con el tiempo.
- Tenga en cuenta que esto también es diferente de la tierra en el modelo de Malthus que era finito pero fijo.

Producción

Supongamos que la producción viene dada por

$$Y(t) = A(t)K(t)^{\alpha}E(t)^{\gamma}L(t)^{1-\alpha-\gamma}, \tag{1}$$

donde $E(t)$ es la cantidad del recurso no renovable utilizado en la producción. Tenga en cuenta que la función tiene retornos constantes a escala en $K(t), E(t), L(t)$. Como antes, tenemos

$$\frac{\dot{L}(t)}{L(t)} = n, \tag{2}$$

$$\frac{\dot{A}(t)}{A(t)} = g, \tag{3}$$

$$\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t). \tag{4}$$

Comportamiento del recurso no renovable

Supongamos que comenzamos en el período 0 con un stock del recurso no renovable $R(0)$. Tenemos que nuestro uso del recurso agota su stock:

$$\dot{R}(t) = -E(t). \tag{5}$$

Se puede demostrar que cuando las empresas competitivas poseen el recurso, el comportamiento óptimo implica que cada período se utiliza una fracción constante del stock restante:

$$s_E = \frac{E(t)}{R(t)}. \tag{6}$$

Por lo tanto, el stock debe disminuir con el tiempo a la tasa s_E:

$$\frac{\dot{R}(t)}{R(t)} = -s_E = \frac{\dot{E}(t)}{E(t)}. \tag{7}$$

Comportamiento del recurso no renovable II

$$\frac{\dot{R}(t)}{R(t)} = -s_E. \tag{8}$$

Conocemos la solución a esta ecuación diferencial:

$$R(t) = R(0)\exp(-s_E t). \tag{9}$$

Tes decir, el stock está disminuyendo exponencialmente con el tiempo. Por último, como $E(t) = s_E R(t)$, sabemos que el consumo del recurso está disminuyendo exponencialmente con el tiempo:

$$E(t) = s_E R(0)\exp(-s_E t). \tag{10}$$

Producción a lo largo del tiempo

Comenzamos nuestro análisis reescribiendo la función de producción en términos de la relación de producción y capital:

$$Y(t) = A(t)K(t)^{\alpha}E(t)^{\gamma}L(t)^{1-\alpha-\gamma} \tag{11}$$

$$Y(t)^{1-\alpha} = A(t)\left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\alpha}E(t)^{\gamma}L(t)^{1-\alpha-\gamma} \tag{12}$$

$$Y(t) = A(t)^{\frac{1}{1-\alpha}}\left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}E(t)^{\frac{\gamma}{1-\alpha}}L(t)^{1-\frac{\gamma}{1-\alpha}} \tag{13}$$

$$Y(t) = A(t)^{\frac{1}{1-\alpha}}\left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}\left(s_E R(0)\exp(-s_E t)\right)^{\frac{\gamma}{1-\alpha}}L(t)^{1-\frac{\gamma}{1-\alpha}} \tag{14}$$

Producción a lo largo del tiempo II

$$Y(t) = A(t)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} (s_E R(0) \exp(-s_E t))^{\frac{\gamma}{1-\alpha}} L(t)^{1-\frac{\gamma}{1-\alpha}} \qquad (15)$$

Tenga en cuenta que la tasa de agotamiento s_E entra dos veces en la expresión. Por un lado, un mayor agotamiento aumenta el uso de recursos y, por lo tanto, la producción. Sin embargo, también reduce el stock de recursos a lo largo del tiempo y, por lo tanto, el uso de recursos.

Supongamos que existe un estado estacionario, donde $K(t)/Y(t)$ es constante. Tomando los logaritmos y el derivado con respecto al tiempo se obtiene el crecimiento de la producción:

$$Y(t) = A(t)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} (s_E R(0) \exp(-s_E t))^{\frac{\gamma}{1-\alpha}} L(t)^{1-\frac{\gamma}{1-\alpha}}$$

$$\ln Y(t)^* = \frac{1}{1-\alpha} \ln A(t) + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln \left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^*$$
$$+ \frac{\gamma}{1-\alpha} (\ln(s_E R(0)) - s_E t) + \left(1 - \frac{\gamma}{1-\alpha}\right) \ln L(t)$$

$$\left(\frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)}\right)^* = \frac{1}{1-\alpha} g - \frac{\gamma}{1-\alpha} s_E + \left(1 - \frac{\gamma}{1-\alpha}\right) n.$$

El estado estacionario II

$$\left(\frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)}\right)^* = \frac{1}{1-\alpha}g - \frac{\gamma}{1-\alpha}s_E + \left(1 - \frac{\gamma}{1-\alpha}\right)n.$$

- La tasa de agotamiento actúa como un progreso tecnológico negativo en el crecimiento a medida que el recurso no renovable se vuelve más escaso con el tiempo.
- La mano de obra contribuye al crecimiento con una tasa de $< n$. Debido al factor fijo, como en el modelo de Malthus, el crecimiento de la población reduce la productividad de los trabajadores a lo largo del tiempo.

El estado estacionario III

En lugar de la producción total, también podemos mirar la producción per cápita:

$$y(t) = \frac{Y(t)}{L(t)} = A(t)^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{K(t)}{Y(t)}\right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} (s_E R(0) \exp(-s_E t))^{\frac{\gamma}{1-\alpha}} L(t)^{-\frac{\gamma}{1-\alpha}}$$

$$\left(\frac{\dot{y}(t)}{y(t)}\right)^* = \frac{1}{1-\alpha} g - \frac{\gamma}{1-\alpha}(s_E + n).$$

La tasa de agotamiento tiene el mismo efecto negativo en la producción per cápita que la tasa de crecimiento de la población. Ambos reducen la eficiencia de la mano de obra con el tiempo. Tenemos un crecimiento positivo del PIB per cápita solo si

$$g > \gamma(s_E + n).$$

El precio de las no renovables a lo largo del tiempo

Dada nuestra función de producción de Cobb-Douglas, la proporción de los ingresos destinados a las energías no renovables debería ser constante a lo largo del tiempo:

$$P_E(t)E(t) = \gamma Y(t)$$
$$P_E(t) = \gamma \frac{Y(t)}{E(t)}.$$

Tome logaritmos y la derivada con respecto al tiempo da la tasa de crecimiento en precios no renovables:

$$\frac{\dot{P}_E(t)}{P_E(t)} = \frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)} - \frac{\dot{E}(t)}{E(t)}$$
$$\frac{\dot{P}_E(t)}{P_E(t)} = \frac{1}{1-\alpha}g - \frac{\gamma}{1-\alpha}s_E + \left(1 - \frac{\gamma}{1-\alpha}\right)n + s_E$$
$$\frac{\dot{P}_E(t)}{P_E(t)} = \frac{1}{1-\alpha}g + \left(1 - \frac{\gamma}{1-\alpha}\right)(n + s_E).$$

El precio de las no renovables a lo largo del tiempo II

$$\frac{\dot{P}_E(t)}{P_E(t)} = \frac{1}{1-\alpha} g + \left(1 - \frac{\gamma}{1-\alpha}\right)(n + s_E)$$
$$\frac{\dot{P}_E(t)}{P_E(t)} = \frac{1}{1-\alpha} g + \frac{1-\alpha-\gamma}{1-\alpha}(n + s_E) > 0$$

El precio de las no renovables aumenta con el tiempo por tres razones:

- El progreso tecnológico hace que las no renovables sean más productivas con el tiempo.
- El crecimiento de la población hace que las no renovables sean más productivas con el tiempo.
- La caída del stock de no renovables los hace más productivos con el tiempo.

El precio de las no renovables en relación con el mano de obra

Para comparar las predicciones del modelo, es más simple mirar los precios relativos. Dadas las cuotas de factores constantes, tenemos:

$$\frac{P_E(t)E(t)}{w(t)L(t)} = \frac{\gamma Y(t)}{(1-\gamma-\alpha)Y(t)}$$

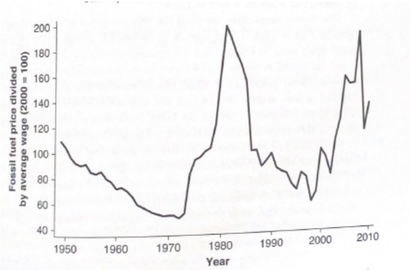
$$\frac{P_E(t)}{w(t)} = \frac{\gamma}{(1-\gamma-\alpha)}\frac{L(t)}{E(t)} = \frac{\gamma}{(1-\gamma-\alpha)}\frac{L(0)\exp(nt)}{s_E R(0)\exp(-s_E t)}$$

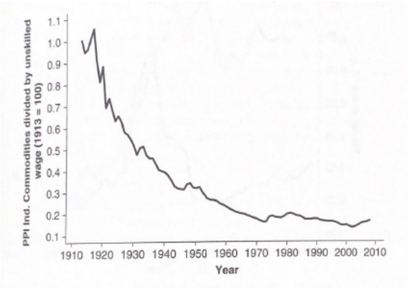
Tome logaritmos y la derivada con respecto al tiempo para obtener la tasa de crecimiento en la relación precio-salario, $RP(t) = \frac{P_E(t)}{w(t)}$:

$$\frac{\dot{RP}(t)}{RP(t)} = n + s_E.$$

Con $n > 0$, los recursos se vuelven más escasos con el tiempo en relación con la mano de obra, lo que implica que su precio relativo está creciendo.

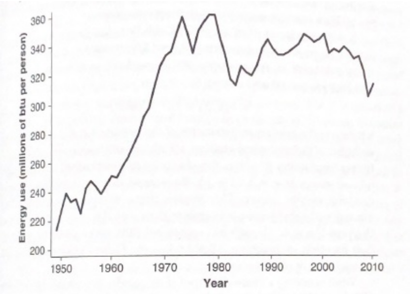
Precio de los productos básicos





En lugar de aumentar los precios de las renovables en relación con los salarios, tenemos, si es que tenemos alguno, precios a la baja.

Consumo de productos básicos



Además, no observamos una desaceleración en el uso de no renovables.

Por qué fallan las predicciones

Simon (1980) proporciona un buen ejemplo de la historia:

En el siglo 16, la mayoría de los barcos fueron construidos de madera que conduce a la deforestación de grandes partes en Europa.

$\Rightarrow$ El precio de la madera subió, lo que generó incentivos para innovar mediante el uso de otros materiales.

$\Rightarrow$ Con el tiempo, los barcos se construyeron de hierro y más tarde de acero. Además, inventamos formas de reciclar estos recursos.

Por qué fallan las predicciones II

Las críticas pueden responder que, en última instancia, el stock total de recursos no renovables es finito. Sin embargo

- prácticamente, algunos recursos son casi infinitos, simplemente se vuelven más caros de extraer (en la tecnología actual).
  - La cantidad de reservas probadas de petróleo se duplicó entre 1980 y 2009.
  - Hasta ahora, hemos extraído 700 millones de toneladas métricas de cobre. Se estima que 6.300 millones todavía están en la corteza terrestre. A continuación, podemos ir al espacio.
- En un nivel superior de abstracción, la física nos dice que no usamos nada, simplemente transformamos el material en otro material que nos es más útil. Lo buenos que somos en esto depende de nuestra tecnología, es decir, recetas. En consecuencia, Simon (1980) identifica el ingenio humano como el recurso último.

Recursos minerales

Mineral	1950 Reserves	Production 1950–2000	2000 Reserves
Tin	6	11	10
Copper	100	339	340
Iron Ore	19,000	37,583	140,000
Lead	40	150	64
Zinc	70	266	190

Source: Blackman and Baumol (2008)

Un modelo Solow verde

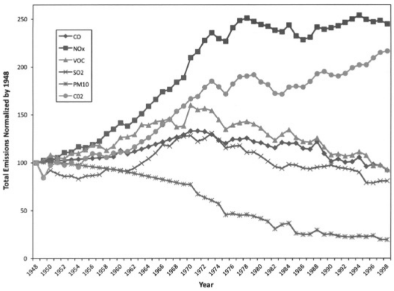
- Uno puede pensar en el medio ambiente como un recurso no renovable. A medida que aumenta la contaminación, el recurso se agota.
- La contaminación puede ser mejor pensada en algo por lo que podemos pagar recursos para evitarla:
  - Utilice tecnologías de producción que generen menos contaminación (energía) pero que sean más caras.
  - Crear energía a partir de fuentes verdes y costosas.
- Brock and Taylor (2010) presentan datos sobre la contaminación y un modelo para comprender los datos.
- Después de comprender el flujo de contaminación, pensaremos en el stock, es decir, el medio ambiente.

Datos sobre la contaminación

Brock and Taylor (2010) destacan 3 datos sobre la contaminación:

1. La contaminación aumenta inicialmente con el ingreso per cápita, pero comienza a caer en algún momento, una curva de Kuznets ambiental.
2. La contaminación por unidad producida disminuye con el tiempo.
3. Los costos de reducción son una parte pequeña y constante de la producción nacional.

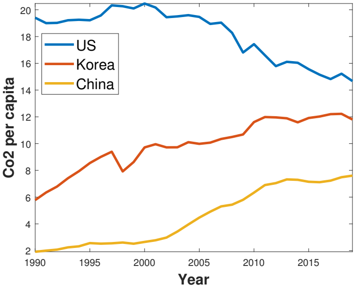
Una curva de Kuznets ambiental



Source: Brock and Taylor (2010)

En los Estados Unidos, a pesar del crecimiento de los ingresos, la mayoría de las emisiones contaminantes están disminuyendo desde 1984.

Una curva de Kuznets ambiental II



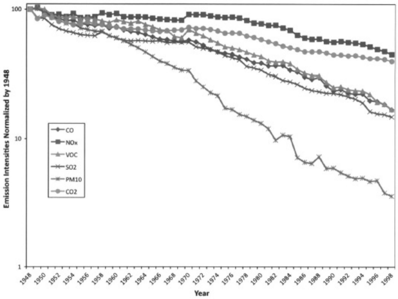
Desde el año 2000, esto también es cierto para las emisiones de CO_2. Los países más pobres siguen aumentando sus niveles de emisión.

Una curva de Kuznets ambiental III

Source: World Bank

En 1952 y 1969, una sección del río Cuhayoga en Ohio estaba tan cubierta de petróleo que se incendió. Este último incidente contribuyó a las enmiendas a la Ley de Agua Limpia y a la fundación de la Agencia Federal de Protección Ambiental.

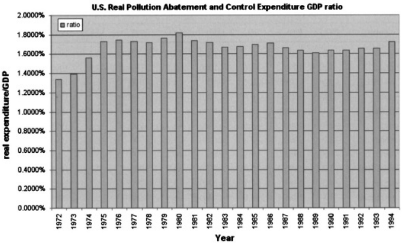
Disminución de la intensidad de las emisiones



Source: Brock and Taylor (2010)

- Las emisiones por unidades producidas están disminuyendo con el tiempo para una gran variedad de emisiones.
- La tasa de crecimiento es casi constante en el tiempo.

Participación constante en los costos de la reducción



Source: Brock and Taylor (2010)

Desde 1975, los costes de reducción como porcentaje del PIB se han mantenido constantes en torno al 1.7%.

¿Cuáles son las implicaciones de estos datos?

Usted puede pensar que a medida que nos hacemos más ricos, podemos desviar más recursos a la reducción, es decir, el medio ambiente es un bien de lujo. Pero

- Esto implicaría que la participación en los costos de la reducción debería aumentar a medida que nos volvemos más ricos.

En cambio, una participación constante en los costos con una reducción creciente sugiere que nos volvemos más productivos con el tiempo en la reducción.

- Desarrollamos tecnologías de producción menos intensivas en recursos.
- Cambiamos a bienes que consumen menos recursos.

Un modelo de emisiones a lo largo del tiempo

- Ahora estamos listos para pensar en un modelo de emisiones a lo largo del tiempo.
- El lado de la producción y el lado de la acumulación de capital son como en el modelo de Solow.
- Añadimos a esto que la producción crea contaminación.
- Podemos someternos a una reducción para reducir la contaminación, pero esto reduce nuestro consumo.
- Las mejoras en la tecnología de reducción son la clave para la dinámica de emisiones a largo plazo.

Producción y acumulación de capital

Utilizamos de nuevo una función de producción de Cobb-Douglas:

$$Y(t) = K(t)^{\alpha} \left(B(t)L(t)\right)^{1-\alpha} \tag{16}$$

con nuestras conocidas leyes de movimientos:

$$\frac{\dot{L}(t)}{L(t)} = n \tag{17}$$

$$\frac{\dot{B}(t)}{B(t)} = g. \tag{18}$$

Contaminación y reducción

Cada unidad de producción Y crea Ω unidades de contaminación. La cantidad de esta contaminación que se emite depende de la cantidad total de reducción:

$$E(t) = Y(t)\Omega(t) - \Omega(t)A(t). \tag{19}$$

Suponemos que la tecnología de reducción, A, es una función constante de retorno a escala dependiendo de la producción total, Y, y el esfuerzo que ponemos en la reducción, $F^A(t) = \theta F(t)$:

$$A(t) = A(F(t), F^A(t)) \tag{20}$$

Idea:

- Cuanto más contaminamos, es decir, producimos, más podemos reducir las emisiones.
- La cantidad de contaminantes que reducimos depende de nuestro esfuerzo.

Emisiones, identidad del ingreso nacional y dinámica del capital

$$E(t) = Y(t)\Omega(t) - \Omega(t)A(F(t), F^A(t)) \tag{21}$$

$$E(t) = Y(t)\Omega(t)\left[1 - A(1,\theta)\right] \tag{22}$$

Para hacer coincidir los datos, asumiremos que nos volvemos más eficientes en la reducción de emisiones con el tiempo, es decir, $\Omega(t)$ crece a un ritmo $-g_A$.

Finalmente, dado que usamos $\theta Y(t)$ en la reducción, tenemos para el consumo y la inversión:

$$I(t) + C(t) = (1-\theta)Y(t). \tag{23}$$

Por lo tanto, la ley del movimiento para el capital es

$$\dot{K}(t) = (1-\theta)sK(t)^{\alpha}\left(B(t)L(t)\right)^{1-\alpha} - \delta K(t) \tag{24}$$

Dividir todo por unidades de eficiencia

$$\tilde{y}(t) = \tilde{k}(t)^{\alpha} \tag{25}$$

$$\dot{\tilde{k}}(t) = (1-\theta)s\tilde{k}(t)^{\alpha} - [\delta + n + g]\tilde{k}(t) \tag{26}$$

$$\tilde{e}(t) = \tilde{k}(t)^{\alpha}\Omega(t)\left[1 - A(1,\theta)\right] \tag{27}$$

que se parece mucho al modelo original de Solow. Es importante destacar que el sistema depende nuevamente del capital en unidades de eficiencia, y existe un estado estacionario en $\tilde{k}$.

El estado estacionario

En estado estacionario, tenemos

$$\frac{\dot{\tilde{k}}(t)}{\tilde{k}(t)} = \frac{\dot{\tilde{y}}(t)}{\tilde{y}(t)} = 0 \tag{28}$$

$$\left(\frac{\dot{Y}(t)}{Y(t)}\right)^{*} = n + g. \tag{29}$$

De $E(t) = Y(t)\Omega(t)\left[1 - A(1,\theta)\right]$ tenemos en estado estacionario

$$g_E^{*} = \frac{\dot{E}(t)}{E(t)} = n + g - g_A. \tag{30}$$

Si las emisiones totales disminuyan en estado estacionario depende de la carrera entre el crecimiento de la producción y la tasa de crecimiento de las mejoras de reducción. Los datos de Estados Unidos sugieren que en estado estacionario, las emisiones totales caen, es decir, $g_A > n + g$.

Crecimiento fuera del estado estacionario

De nuestra definición de $\tilde{y}(t)$:

$$
\begin{aligned}
Y(t) &= \tilde{y}(t)B(t)L(t) && (31)\\
&= \tilde{k}(t)^{\alpha}B(t)L(t) && (32)
\end{aligned}
$$

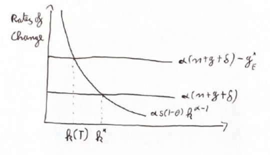
y, por lo tanto,

$$E(t) = \tilde{k}(t)^{\alpha}B(t)L(t)\Omega(t)\left[1 - A(1,\theta)\right] \tag{33}$$

$$
\begin{aligned}
\frac{\dot{E}(t)}{E(t)} &= g_E^{*} + \alpha\frac{\dot{\tilde{k}}(t)}{\tilde{k}(t)} && (34)\\
\frac{\dot{\tilde{k}}(t)}{\tilde{k}(t)} &= (1-\theta)s\tilde{k}(t)^{\alpha-1} - [\delta + n + g]. && (35)
\end{aligned}
$$

Cuando la economía acumula capital en unidades de eficiencia, la producción crece y, por lo tanto, las emisiones crecen más rápido que en estado estacionario.

La curva de Kuznets ambiental



Source: Brock and Taylor (2010)

- En $\tilde{k}^*$, $(1-\theta)s\tilde{k}(t)^{\alpha-1} = [\delta+n+g]$, estamos en estado estacionario, y $\frac{\dot{E}(t)}{E(t)} = g_E^*$.
- En $\tilde{k}(T)$, $\alpha(1-\theta)s\tilde{k}(t)^{\alpha-1} - \alpha[\delta+n+g] = \alpha\frac{\dot{\tilde{k}}(t)}{\tilde{k}(t)} = g_E^*$: El crecimiento de las emisiones es cero.
- En cualquier punto a la izquierda de $\tilde{k}(T)$, el crecimiento de las emisiones es positivo, a la derecha, es negativo.
- A medida que los países pobres convergen a un estado estacionario, su crecimiento de emisiones está disminuyendo.

Convergencia al estado estacionario

De manera similar al modelo de Solow, podemos resolver la dinámica de la contaminación a medida que convergemos al estado estacionario.

$$\frac{\dot{E}(t)}{E(t)} = g_E^* + \alpha \left[(1-\theta) s \tilde{k}(t)^{\alpha-1} - (\delta + n + g) \right], \tag{36}$$

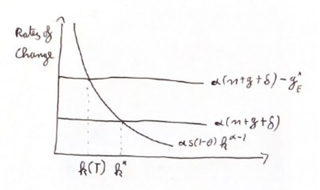
con

$$\tilde{k}(t)^{1-\alpha} = \frac{s(1-\theta)}{n+g+\delta} + \left[\tilde{k}(0)^{1-\alpha} - \frac{s(1-\theta)}{n+g+\delta} \right] \exp(-\beta t) \tag{37}$$

$$\beta = (1-\alpha)(n+g+\delta). \tag{38}$$

Por lo tanto, cuanto más por debajo está una economía de su estado estacionario, más rápido es el crecimiento de sus emisiones.

Estática comparativa: Cambiar el esfuerzo de reducción



Source: Brock and Taylor (2010)

Un θ más alto desplaza $\tilde{k}(T)$ hacia la izquierda, es decir, países más pobres ya alcanzan un crecimiento de emisiones cero.

Compromiso entre la reducción y el consumo

El nivel de capital por trabajador eficiente en estado estacionario es:

$$\tilde{k}^* = \left(\frac{(1-\theta)s}{\delta + n + g} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \tag{39}$$

que es decreciente en θ. Un mayor esfuerzo de reducción implica que hay menos recursos disponibles para inversión y, por lo tanto, un menor stock de capital. El consumo por trabajador cae además a medida que queda una proporción menor de la producción después de la reducción:

$$\left(\frac{C(t)}{L(t)} \right)^* = (1-s)(1-\theta)\tilde{y}^* B(t) = (1-s)(1-\theta)(\tilde{k}^*)^{\alpha} B(t). \tag{40}$$

De las emisiones al cambio climático

- El modelo nos ayuda a comprender las emisiones a lo largo del tiempo.
- No puede decirnos cuánto consumo debemos sacrificar para reducir las emisiones.
- Ahora veremos un modelo en el que las emisiones conducen al cambio climático que reduce la producción.
- Desafortunadamente, tendremos que confiar en simulaciones numéricas para resolver el modelo.

Producción

Utilizamos nuevamente una función de producción de Cobb-Douglas, donde las emisiones aumentan la productividad laboral:

$$Y(t) = \frac{1}{\exp(\theta D(t))} K(t)^{\alpha} \left((E(t) + B(t))L(t)\right)^{1-\alpha}. \tag{41}$$

Las emisiones más altas permiten una producción más barata:

- Las fuentes de energía fósil son más baratas y fáciles de gestionar que las renovables.
- Menos necesidad de reducción.

La función de daño

$D(t)$ es una función del daño ambiental (temperatura) causado por las emisiones:

$$\dot{D}(t) = E(t) - \delta_D D(t), \tag{42}$$

donde δ_D mide la depreciación natural (o provocada por el hombre) de las emisiones en el aire.

La función de daño II

- Los costos económicos del calentamiento global son muy debatidos.
- Los costos más obvios son la desertificación de las tierras de cultivo. Sin embargo, al mismo tiempo, Siberia y Canadá se convertirán en alternativas viables.
- El aire acondicionado tendrá que ser más frecuente en algunos países, pero ahorraremos en calefacción en otros países.
- Probablemente, la migración fuera de las regiones más afectadas resultará y los costos resultantes dependerán de los sistemas de inmigración en el norte.
- Además de los efectos sobre la producción, puede haber otros costos.
- No intentaré cuantificar estos costos, sino que solo usaré el modelo para resaltar algunas compensaciones económicas.

Leyes del movimiento

Usando los conocimientos de nuestro tratamiento de la reducción, asumiré que las emisiones están disminuyendo con el tiempo:

$$\frac{\dot{E}(t)}{E(t)} = -g_E. \tag{43}$$

Finalmente, tenemos el crecimiento de la población, el progreso tecnológico y la acumulación de capital:

$$\frac{\dot{L}(t)}{L(t)} = n, \tag{44}$$

$$\frac{\dot{B}(t)}{B(t)} = g, \tag{45}$$

$$\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t). \tag{46}$$

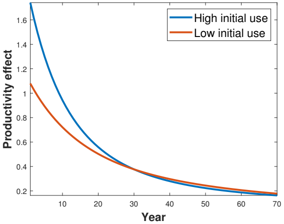
El estado estacionario a muy largo plazo

Como el crecimiento de las emisiones es negativo, tanto $E(t)$ como $D(t)$ convergerán a cero y, por lo tanto, a largo plazo:

$$Y(t) = K(t)^{\alpha} \left(B(t)L(t)\right)^{1-\alpha} \tag{47}$$

que es nuestro modelo estándar de Solow.

La carrera entre la producción barata y el daño ambiental

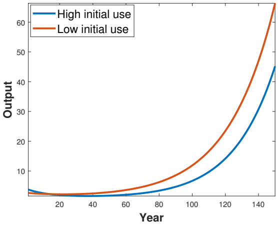


Si bien convergen a este estado estacionario, la productividad laboral cambiará con el tiempo. Suponiendo por el momento que no hay progreso tecnológico y $B(t) = 0$, el efecto de las emisiones en la productividad total es

$$\frac{E(t)^{1-\alpha}}{\exp(\theta D(t))}. \tag{48}$$

Un alto nivel de emisiones iniciales aumenta la producción hoy pero, al acumular daños ambientales, reduce la producción en el futuro.

Producción a lo largo del tiempo



Inicialmente, las emisiones más altas conducen a una mayor producción. Sin embargo, con el tiempo, la producción es menor porque el daño ambiental es mayor.

¿Deberíamos reducir las emisiones hoy?

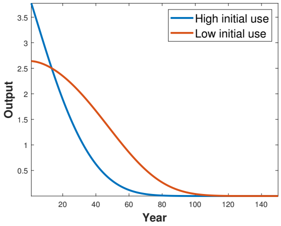
- La respuesta depende de la pregunta cuánto valoramos los recursos (consumo) hoy en relación con el futuro.

- Los modelos económicos de cambio climático más destacados sugieren que tenemos que descontar el futuro para justificar los costos de la reducción de emisiones: $0.96^{100} < 0.02$.

- Cómo debemos descontar el futuro: En última instancia, la respuesta depende de la pregunta sobre cuánto valoramos a las generaciones futuras.

- Uno puede adoptar la postura de que no debemos descartar el bienestar de las generaciones futuras en absoluto. Sin embargo, en ese caso, es difícil explicar por qué ahorramos tan poco capital físico (recuerde, el PMK es mucho más alto de lo que sugiere la regla de oro).

El supuesto de reducción de emisiones



He asumido a lo largo de todo el tiempo que las emisiones no aumentarán en el futuro. Si aumentan demasiado rápido, el modelo implica que la economía se destruirá independientemente del nivel inicial de emisiones.

Haciendo balance: ¿volvemos al crecimiento cero?

El problema del uso excesivo de un factor suena muy familiar para los modelos de factores fijos (finitos). Sin embargo, hemos superado la trampa de la pobreza de Malthus y la escasez de otros factores finitos de producción. ¿Deberíamos esperar lo mismo con la contaminación?

En abstracto, podemos superar nuevamente el problema de la escasez mediante el uso de energías verdes o reducción. Al igual que en el modelo de Solow, esto es algo en lo que podemos invertir (ya no es un factor fijo) y teóricamente en un suministro infinito.

Haciendo balance: ¿volvemos al crecimiento cero? II

Lo que hace que el problema sea más difícil es la falta de derechos de propiedad. Con otros recursos no renovables, los precios aumentan cuando el recurso experimenta escasez. Con la contaminación, tenemos una *tragedia de lo común*.

En los casos de contaminación del agua y del aire, el problema puede resolverse a nivel nacional a través de impuestos y regulaciones. Sin embargo, los gases de efecto invernadero requieren una solución internacional.

El economista ganador del premio Nobel advierte en Nordhaus et al. (1992) traducir las lecciones de otras energías no renovables uno a uno al caso de los gases de efecto invernadero:

"Los economistas a menudo han desmentido su tradición como la ciencia sombría al minimizar tanto las preocupaciones anteriores sobre las limitaciones de los recursos agotables como la alarma actual sobre una posible catástrofe ambiental. Sin embargo, descartar las preocupaciones ecológicas de hoy sería imprudente. El hecho de que los niños hayan gritado lobo por error en el pasado no significa que el bosque sea seguro."

Volviendo a nuestras tres grandes preguntas

1. ¿Por qué somos tan ricos y ellos tan pobres?
   - Diferentes tasas de ahorro, tasas de crecimiento de la población, reservas de recursos y tasas de uso de recursos, y niveles de tecnología.
2. ¿Por qué hay milagros de crecimiento?
   - Rápida acumulación de capital físico.
3. ¿Cuáles son los motores del crecimiento económico a largo plazo?
   - El progreso tecnológico y el progreso de la reducción en lo positivo, el crecimiento de la población y el uso de recursos en lo negativo.

References

Blackman, S. A. B. and W. J. Baumol (2008): "Natural resources," *The Concise Encyclopedia of Economics, edited by David R. Henderson. Indianapolis, Ind.: Liberty Fund. At http://www. econlib. org/library/Enc/NaturalResources. html*.

Brock, W. A. and M. S. Taylor (2010): "The green Solow model," *Journal of Economic Growth*, 15, 127–153.

Ehrlich, P. (1968): *The Population Bomb*, Sierra Club/Ballantine.

Meadows, D. H., D. L. Meadows, J. Randers, and W. W. Behrens III (1972): *The limits to growth*, Club of Rome.

Nordhaus, W. D., R. N. Stavins, and M. L. Weitzman (1992): "Lethal model 2: The limits to growth revisited," *Brookings papers on economic activity*, 1992, 1–59.

Simon, J. (1980): *The Ultimate Resource*, Princeton University Press.