

COSTO DE OPORTUNIDAD, VALOR ECOSISTÉMICO Y OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LA TIERRA

POR ROLANDO REYES*

Recibido: febrero de 2019 • Aceptado: marzo de 2019

Cómo citar: Reyes, R. (2019). Costo de oportunidad, valor ecosistémico y optimización del uso de la tierra. *Ciencia, Economía y Negocios*, 3(2), 43-60. Doi: <https://doi.org/10.22206/ceyn.2019.v3i2.pp43-60>

Resumen

Se presenta una metodología para la determinación del uso óptimo de la tierra de los ecosistemas terrestres y para la valoración de los servicios ecosistémicos que estos producen, alcanzando ambos propósitos a partir del costo de oportunidad del uso agrícola de sus territorios. Dicha metodología se fundamenta en la observación y la aceptación de que la productividad agrícola de la tierra disminuye a medida que aumenta su pendiente, tal y como se puede comprobar en muchos estudios citados sobre la planificación y la vocación de uso de la tierra. Estos estudios también concluyen que la vocación de la tierra de alta pendiente es la conservación para la producción de servicios ecosistémicos. Si la productividad agrícola y, por ende, el costo de oportunidad varían con la pendiente de la tierra, entonces debería existir un punto óptimo por debajo del cual siempre sería más conveniente producir alimentos, y por encima de él convendría más producir servicios ecosistémicos, lo cual podría asegurar que la distribución resultante entre ambos usos de la tierra concilie los objetivos 1, 2, 13 y 15 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas.

Palabras clave: costo de oportunidad; servicios ecosistémicos; uso óptimo de la tierra.

Códigos JEL: D61, Q51, Q56, Q58.

* Reyes, R., Universidad Agroforestal Fernando Arturo de Meriño. Dirección: Carretera José Durán, km 1, Jarabacoa, República Dominicana. Tel.: +1 809-574-6693, (e-mail: rectoria@uafam.edu.do).



OPPORTUNITY COST, ECOSYSTEM VALUE, AND LAND USE OPTIMIZATION

BY ROLANDO REYES^a

Received: february, 2019 • Approved: march, 2019

Abstract

A methodology is presented for the determination of the optimal use of the land of the terrestrial ecosystems, and for the valuation of the ecosystemic services that they produce, reaching both purposes based on the opportunity cost of the agricultural use of their territories. This methodology assumes that the agricultural productivity of the land decreases as its slope increases, as can be seen in many studies cited on land use planning and vocation. These studies also conclude that the vocation of high-slope land is conservation for the production of ecosystemic services. If agricultural productivity, and therefore, the opportunity cost, varies with the slope of the land, then there should be an optimal point below which it would always be more convenient to produce food, and above that it would be better to produce ecosystemic services, which could ensure that the resulting distribution between both lands uses reconciles the objectives 1, 2, 13 and 15 of the 2030 United Nations Agenda.

Keywords: opportunity cost; ecosystemic services; optimal land use.

JEL codes: D61, Q51, Q56, Q58.

^a Reyes, R., Universidad Agroforestal Fernando Arturo de Meriño. Address: Carretera José Durán, km 1, Jarabacoa, Dominican Republic. Tel.: +1 809-574-6693 (e-mail: rectoria@uafam.edu.do)

Introducción

Dado que no existe un mercado para los servicios que produce un ecosistema terrestre, el valor de uso de estos no se puede establecer de manera directa. Pero si se le pide a un agricultor que abandone la agricultura y dedique su tierra a la conservación y la producción de servicios ecosistémicos, debería esperarse que exija una compensación o un pago por dichos servicios igual al ingreso que obtendría en la actividad agrícola, es decir, el costo de oportunidad del uso agrícola de la tierra. A diferencia de los demás métodos de valoración indirecta, el costo de oportunidad se puede medir a través de los mecanismos del mercado.

La medición del costo de oportunidad a través del mercado enfrenta dos grandes retos. El primero es la medición de la productividad agrícola de la tierra, que varía a lo interno del ecosistema. Todas las metodologías de evaluación y clasificación de la tierra según su vocación para la producción agrícola, así como las de planificación y evaluación de su uso, incluyen la pendiente como factor determinante (FAO, 2006, 2018). Si todos los demás factores permanecen constantes –profundidad, fertilidad, clima, erosión y otros–, la productividad agrícola de la tierra sería inversamente proporcional a su pendiente; esto significa que, a mayor pendiente, menor es el costo de oportunidad del uso agrícola de la tierra.

Cuando ese menor costo de oportunidad hace factible el uso de la tierra en la producción de servicios ecosistémicos, surge el segundo reto: mientras la inversión en el uso agrícola produce ingresos a muy corto plazo, la realizada en el uso ecosistémico los produce a largo plazo, haciendo necesario el uso de una tasa de descuento que tome en cuenta el tiempo para poder comparar ambos tipos de usos.

El tipo de uso que se le dé a la tierra está directamente vinculado con el desarrollo sostenible, en general, y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, en particular. Pero los usos alternativos están en conflicto, pues la eliminación de la pobreza y el hambre cero son objetivos de desarrollo sostenible que demandan el uso de la tierra en la

generación de ingresos y en la producción de alimentos, mientras que la conservación de los ecosistemas terrestres y la mitigación y adaptación al cambio climático son ODS que requieren el uso de esta en la producción de servicios ecosistémicos.

Si la productividad agrícola y el costo de oportunidad varían con la pendiente de la tierra, entonces debería existir un punto óptimo por debajo del cual siempre sería más conveniente producir alimentos, y por encima de él convendría más producir servicios ecosistémicos. Si dicho costo de oportunidad refleja el costo social del uso de la tierra, entonces la distribución resultante entre ambos usos de la tierra sería sostenible y compatible con el alcance de los objetivos de la agenda 2030.

El propósito de este artículo es desarrollar y aplicar una metodología fundamentada en un modelo que determina el punto óptimo anteriormente citado. Con tales fines se presentan dos secciones adicionales. En la sección que sigue a continuación se muestra un resumen del estado del arte y el planteamiento del problema. En la segunda, se presenta el modelo y se ilustra la aplicación de la metodología de solución al caso de un ejemplo numérico. En la tercera y última sección se analizan las variables determinantes de la sostenibilidad de la solución a que conduce el modelo utilizado.

Estado del arte y planteamiento del problema

Según la teoría tradicional de la economía ambiental, el valor económico total de los recursos naturales es la suma de los valores de uso y el valor de no uso (Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L. & O Ryam, R., 2007). El valor de uso es, a su vez, la suma del valor de uso directo e indirecto. El valor de uso directo es representado por los bienes agrícolas que puede producir un ecosistema, para los cuales siempre existen precios de mercado. El valor de uso indirecto es representado por los servicios ecosistémicos –fijación de carbono, recarga de acuíferos y provisión de agua, protección del servicio de la biodiversidad, entre otros– para los cuales no existe un precio de mercado.

La literatura plantea diversos métodos de valoración de los servicios ecosistémicos, resaltando las diferencias entre los métodos directos e indirectos (Lomas et al., 2005), así como entre las preferencias reveladas y declaradas (Amorós, 2004). El método directo usa los precios de mercado de los bienes que producen directamente los ecosistemas. Pero, como los servicios ecosistémicos no tienen precios de mercado, es necesario recurrir a métodos indirectos, entre los cuales puede incluirse el costo de oportunidad, que es utilizado en este artículo. Las preferencias reveladas son aquellas que no se pueden observar directamente, por lo que se asocian a los métodos indirectos, y el costo de oportunidad de uso de un recurso natural como la tierra revela de manera indirecta la preferencia de usarlo siempre en la alternativa más rentable.

Si los valores de uso directo e indirecto son mutuamente excluyentes —el territorio de los ecosistemas se usa para producir bienes, con precio de mercado, o para producir servicios ambientales, sin precio de mercado—, y si los precios de mercado reflejan correctamente el valor del mejor uso de la tierra, entonces el costo de oportunidad de su uso agrícola se convierte en el instrumento más robusto para la valoración de los servicios ecosistémicos, o lo que es lo mismo, para la determinación del valor de uso indirecto.

Dos de las aplicaciones más importantes de la teoría de la valoración de los recursos naturales son la planificación del uso óptimo de la tierra y la determinación del impacto del cambio de su uso. Las metodologías de planificación para el mejor uso productivo de la tierra han sido desarrolladas por la Food and Agriculture Organization (FAO). En el año 2007, la FAO modificó su esquema de principios de uso de la tierra, planteando que se “requiere una comparación de los beneficios obtenidos y los insumos que se necesitan para diferentes tipos de uso tierra, para luego evaluar el potencial productivo en servicios ambientales y medios de vida sostenibles. La evaluación de la tierra implica una comparación de más de un tipo de uso o servicio” (FAO, 2007, p. 9).

Un importante trabajo que analiza las implicaciones de cambio del uso actual hacia un uso óptimo de la tierra fue publicado por

Tisdell (2010). Después de argumentar que “el bosque natural puede ser usado de manera limitada con fines de consumo sin erosionar significativamente la provisión de servicios ecosistémicos”, este autor concluye que “la teoría económica neoclásica presta insuficiente atención a la sostenibilidad económica. Cuando la sostenibilidad económica es tomada en cuenta, una mayor conservación de los bosques y ecosistemas naturales es más conveniente que lo indicado por la economía neoclásica” (Tisdell, 2010).

Es evidente que las dos citas anteriores hacen referencia al costo de oportunidad del uso de la tierra, pues la comparación de diferentes tipos de uso alternativo, tomando en cuenta la sostenibilidad económica de todos los posibles, implica que la mejor distribución final entre ellos siempre será determinada en función de los ingresos monetarios o beneficios ambientales dejados de percibir con el uso alternativo tomado como referencia para la comparación.

Pero, para los fines de este trabajo, la aplicación más importante de la teoría de la valoración indirecta de los servicios ecosistémicos es el uso del costo de oportunidad para el establecimiento del valor de dichos servicios y su aplicación en programas de pagos por servicios ambientales. Si no existe una valoración de mercado para la cantidad de servicios ecosistémicos que puede producir determinada cantidad de tierra, entonces el valor de la producción directa que se sacrifica pasa a ser la mejor medida de aquellos, y esto es lo que explica el uso cada vez más frecuente del costo de oportunidad como fundamento para la valoración de estos servicios y su uso en los programas de pagos por servicios ambientales ya mencionados.

El costo de oportunidad es la herramienta más idónea para la determinación del monto a pagar por los servicios ecosistémicos. Pero si no existe un mercado de compra y venta, y si no representan una externalidad positiva, que es necesaria para todas las comunidades, entonces es preciso algún tipo de arreglo institucional que permita que los propietarios de las tierras dedicadas a la producción de los servicios reciban el pago correspondiente.

Vatn (2010) desarrolla un análisis de las alternativas de arreglos institucionales de los programas de pagos por servicios ambientales.

En este análisis el costo de transacción entre compradores y vendedores de un mercado de estos servicios es el elemento central. La conclusión fundamental es que si el número de proveedores de servicios ecosistémicos es grande, el pago o subsidio directo del Gobierno siempre tendrá menores costos de transacción que el intercambio a través del mercado. Pero, independientemente de los costos de transacción, quienes tienen el derecho de propiedad de la tierra no la dedicarán a la producción de servicios ecosistémicos si no reciben una compensación cuyo monto es determinado a través de los precios de mercado de la producción directa que pueden obtener con esa tierra.

El costo de oportunidad del uso agrícola de la tierra es el núcleo central o fundamento del método de valoración de REDD+, que calcula el costo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por deforestación y degradación (White & Mining, 2011). Aunque en la obra citada se consideran los co-beneficios que significan los aumentos en la producción de servicios hídricos y de conservación de biodiversidad, la metodología se centra en la aplicación del costo de oportunidad del uso de la tierra de ecosistemas forestales en la producción del servicio de mitigación del cambio climático mediante la reducción de emisiones.

La metodología de costos de oportunidad del uso de la tierra de REDD+ contempla las siguientes etapas. En primer lugar, se determinan los cambios y los usos actuales de la tierra. Segundo, se calculan las reservas de carbono y la rentabilidad en cada situación. Tercero, se calcula la matriz de emisión y de sus costos; y en quinto y último lugar, se calcula la curva de costo marginal de oportunidad de mitigar o reducir en una unidad las emisiones de gases de efecto invernadero.

Es importante mencionar que esta metodología del costo de oportunidad de REDD+ puede ser adaptada para aplicarse a otros servicios ecosistémicos de manera individual, tal como lo hizo Brunett (2012) para el caso del servicio ambiental hídrico. Pero, en cualquier caso, el costo de oportunidad tiene una relación directa con el nivel mínimo de capital natural que se requiere para producir, a

su vez, un nivel mínimo de servicios ecosistémicos. La interrogante básica a ser contestada por quienes sustentan este enfoque teórico y metodológico es si la distribución del uso de la tierra según su costo de oportunidad de uso directo puede producir este nivel mínimo. Al respecto, es necesario tomar en cuenta la diferencia entre la teoría de la sostenibilidad fuerte y la débil.

El asunto puede plantearse preguntando sobre las consecuencias de un sistema puro de intercambio entre un sistema productivo de bienes de mercado y otro de producción de servicios ambientales, que incluya la posibilidad de que toda la tierra se pueda utilizar solo en la producción de bienes, eliminando todo el capital natural que representa la conservación y la producción de servicios ecosistémicos, lo cual es la base de la diferencia entre la sostenibilidad fuerte y la débil.

Refiriéndose al impacto del intercambio entre los diferentes sistemas del desarrollo sostenible en el capital natural, Barbier (2017) se pregunta si el capital natural tiene un papel único o esencial en el mantenimiento del bienestar humano, y si especiales ‘reglas de compensación’ están obligadas a asegurar que las generaciones futuras no estarán peor por agotamiento del capital natural de hoy. Aquí habría que agregar la pregunta de si la compensación que impone el costo de oportunidad del uso de la tierra asegura el mínimo de capital natural requerido. En las siguientes secciones de este artículo se pretende aportar evidencias para sustentar una respuesta afirmativa a la interrogante anterior.

En la sección que sigue se aplica un nuevo enfoque metodológico para valorar de manera indirecta los servicios ecosistémicos de los ecosistemas montañosos, incluyendo a manera de ilustración un ejemplo hipotético de determinación del uso óptimo de un ecosistema montañoso. En la tercera y última sección se presenta un análisis del impacto de las variaciones de los precios agrícolas y de la tasa de costo de oportunidad o tasa con que se descuentan los valores de la producción de servicios ecosistémicos, en las variaciones del uso óptimo de la tierra, lo cual podría ser la base para evaluar el grado en que el aumento de la frontera agrícola amenaza el mínimo de capital natural que requiere la sostenibilidad fuerte.

Maximización del valor de uso de un ecosistema montañoso con base en el costo de oportunidad del uso agrícola de la tierra

Si el valor de uso directo es el valor de los bienes agrícolas y el de uso indirecto es el valor de los servicios ecosistémicos, entonces el Valor de Uso Total viene dado por:

$$VUT = P_{ag}Q_{ag} + P_{sec}Q_{sec} \quad (1)$$

Donde P_{ag} es el precio de los bienes agrícolas; Q_{ag} es la cantidad de dichos bienes; P_{sec} es el precio de los servicios ecosistémicos y Q_{sec} es la cantidad de estos servicios.

La metodología se sustenta en la observación de que para cualquier ecosistema terrestre montañoso con pendiente lineal, si todos los demás factores permanecen constante, la productividad del uso de la tierra en producción agrícola es inversamente proporcional a dicha pendiente, ya que mientras más plana es la tierra, menor es la erosión de capa vegetal, mayor es el aporte de los insumos (agua y fertilizantes), y mayor es la productividad laboral; mientras que la productividad del uso de la tierra para la producción de servicios ambientales es directamente proporcional, pues a mayor pendiente, mayor es la capacidad del bosque para almacenar agua, fijar carbono, controlar el calentamiento y conservar la biodiversidad.

Asumiendo que dicha proporcionalidad es lineal, lo anteriormente expuesto se puede resumir en las siguientes ecuaciones:

$$Q_{ag} = a_1 - b_1Pe \quad (2)$$

$$Q_{sec} = a_2 + b_2Pe \quad (3)$$

Donde Pe es la pendiente uniforme y continua del ecosistema.

Dado que la producción de los servicios ecosistémicos tarda varios

períodos, el segundo miembro del lado derecho de la ecuación 1 es un valor futuro, que debe ser descontado a la tasa social de descuento compatible con el desarrollo sostenible. Tomando en cuenta lo anterior y sustituyendo las ecuaciones 2 y 3 en la 1, se obtiene:

$$VUT = P_{ag}(a_1 - b_1Pe) + \frac{\sum_{i=1}^n P_{sec}(a_2 + b_2Pe)}{(1 + tds)^n} \quad (4)$$

Donde es la tasa de descuento sostenible. El Valor de Uso Total del ecosistema se maximiza cuando el ingreso marginal agrícola que se gana (pierde) subiendo en un grado o una unidad la pendiente es igual al ingreso marginal ecosistémico que se pierde (gana) con la sustitución de la producción de servicios ecosistémicos. Matemáticamente esto ocurre cuando la derivada de la ecuación 4 con respecto a la pendiente es igual a cero, lo que después de reordenar queda expresado de la siguiente manera:

$$\frac{\sum_{i=1}^n P_{sec}b_2}{(1 + tds)^n} = P_{ag}b_1 \quad (5)$$

El cumplimiento de la condición de la ecuación 5 debe producir un equilibrio estable en la distribución de la tierra entre ambos tipos de usos, que a su vez debe producir una igualación de la tasa de rendimiento o rentabilidad del uso agrícola y el uso ecosistémico de la tierra, lo que se puede expresar de la siguiente manera:

En la que I_{ag} y I_{sec} representan los montos de la inversión en producción agrícola y en producción de servicios ecosistémicos, respectivamente, y también se asume que el VUT no genera costos.

$$\frac{P_{ag}Q_{ag}}{I_{ag}} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_{sec}Q_{sec}}{(1 + i)^n}}{I_{sec}} \quad (6)$$

Si todo el ecosistema se divide en tramos de pendiente de igual tamaño, entonces el equilibrio del VUT óptimo del ecosistema con base en el costo de oportunidad del uso agrícola requiere que se tome en cuenta el valor de dicha producción, que se puede obtener a un solo período en cada tramo del ecosistema. En el cálculo de ese valor se asume que no existe ningún uso actual de la tierra y que la transición hacia el uso agrícola es inmediata y sin costo.

Pero el planteamiento del uso de la tierra según su vocación y productividad predice que el costo de oportunidad del uso agrícola del tramo de mayor pendiente del ecosistema es bajo, y que este debería usarse en la producción de servicios ecosistémicos; una vez tomada tal decisión, el costo de oportunidad es ahora la tasa de rendimiento del uso agrícola de ese tramo, a la cual se renuncia cuando este es utilizado en la producción de servicios ecosistémicos.

Por tanto, el primer paso para la obtención del máximo VUT de equilibrio es calcular el valor del lado izquierdo de la ecuación 6 para cada uno de los posibles tramos de pendiente en que puede dividirse el ecosistema, que representa la tasa de rentabilidad que se puede obtener con el mejor uso agrícola de todo territorio del ecosistema; esa tasa, según lo planteado, será decreciente con respecto a la pendiente.

El segundo paso consiste en hacer el ejercicio inverso; es decir, calcular la rentabilidad del uso del ecosistema para producir solo servicios ecosistémicos, pero empezando a la inversa con respecto a la pendiente, o sea, desde arriba hacia abajo. Pero, lo más importante a tomar en cuenta es que ahora el valor de uso indirecto asignado a los servicios ecosistémicos del tramo de más alta pendiente se calcula con base en el costo de oportunidad que representa la tasa de rentabilidad del uso agrícola del tramo de más baja pendiente, pues el costo de oportunidad es el mejor uso al cual se renuncia.

Si el ecosistema se divide en orden ascendente en tramos de pendiente, siendo k el de mayor pendiente, el valor de los servicios ecosistémicos requerido a dicho tramo, medido al costo de oportunidad de su uso agrícola, es el producto de la tasa de rentabilidad obtenida con el uso agrícola del tramo 1 de menor pendiente y la inversión

requerida para la producción de servicios ecosistémicos en ese tramo k , es decir:

$$(P_{sec}Q_{sec})_k = \left(\frac{P_{ag}Q_{ag}}{I_{ag}} \right)_1 * I_{(sec)k} \quad (7)$$

Una vez determinado el valor de los servicios ecosistémicos en el tramo k , este se descuenta a una tasa que representa el costo de oportunidad de la tasa de rentabilidad que se podría obtener en el uso agrícola del tramo k , por lo que su Valor Presente (VP) toma la siguiente expresión:

$$VP (P_{sec}Q_{sec})_k = \frac{\left(\frac{P_{ag}Q_{ag}}{I_{ag}} \right)_1 * I_{(sec)k}}{1 + \left\{ \left(\frac{P_{ag}Q_{ag}}{I_{ag}} \right)^n \right\}^k} \quad (8)$$

Este VP, dividido entre la inversión necesaria para producir servicios ecosistémicos en el tramo de mayor pendiente, es el lado derecho de la ecuación 6, razón por la cual esta toma ahora la siguiente forma específica para el tramo k :

$$\frac{\left(\frac{P_{ag}Q_{ag}}{I_{ag}} \right)_1 * I_{(sec)k}}{1 + \left\{ \left(\frac{P_{ag}Q_{ag}}{I_{ag}} \right)^n \right\}^k} = \frac{P_{sec}Q_{sec}}{I_{(sec)k}} = \frac{P_{sec}Q_{sec}}{(1+i)^n} \quad (9)$$

El proceso de cálculo se continúa hacia abajo y a medida que se descienda hacia la pendiente más baja, menor será la rentabilidad de la producción de servicios ecosistémicos o valor de uso indirecto del ecosistema, pues el costo de oportunidad de este es una tasa de rentabilidad agrícola cada vez mayor.

El tercer y último paso consiste en determinar el tramo de pendiente en el que ambas tasas de rentabilidad se igualan, según el orden ascendente del primer paso, hasta el tramo m , y el descendente del segundo paso hasta el tramo j . En general, si el ecosistema se divide hasta k tramos de pendiente, lo anterior sucederá cuando cumpla la siguiente condición, que es la forma general de la ecuación 6:

$$\left(\frac{P_{ag} Q_{ag}}{I_{ag}}\right)_{1+m} = \left\{\frac{\frac{P_{sec} Q_{sec}}{(1+i)^n}}{I_{sec}}\right\}_{k-j} \quad (10)$$

En la que los tramos m y j son los mismos.

El proceso anterior se puede ilustrar mediante el ejemplo hipotético contenido en el cuadro anexo. La columna 1 presenta cada uno de los tramos de pendiente en que se puede dividir el ecosistema montañoso. Las columnas 2 y 3 contienen los ingresos netos y las inversiones requeridas para el mejor uso agrícola de cada tramo, mientras que la 4 representa la rentabilidad de dicho uso, igual al cociente entre ambas variables; con esto se completa el primer paso del proceso, en el cual se ha calculado la rentabilidad del uso agrícola de todo el territorio del ecosistema desde abajo hacia arriba. Obsérvese que la rentabilidad del uso agrícola es decreciente a medida que se asciende por la pendiente, pues mientras el ingreso disminuye, la inversión requerida para ese uso aumenta.

La columna 5 es la inversión requerida para el uso del territorio del ecosistema montañoso en la producción de servicios ecosistémicos. La columna 6 es el ingreso ecosistémico requerido por esa inversión, medido al costo de oportunidad representado por el tramo de uso agrícola de mayor rentabilidad, calculado ahora desde el tramo más alto hacia el más bajo.

Así, según la ecuación 6, el ingreso ecosistémico del costo de oportunidad del mejor uso agrícola del último tramo k es el producto de la inversión para el uso ecosistémico de ese tramo y la tasa de rentabilidad del uso agrícola del primer tramo, el cual corresponde al tramo de mayor rentabilidad de uso agrícola de todo el ecosistema. En

el caso del cuadro anexo, el ingreso ecosistémico requerido para el uso ambiental del último tramo es el producto del monto de la inversión para ese uso (247.89) multiplicado por la rentabilidad agrícola del primer tramo (15.4 %).

La columna 7 es el Valor Presente del ingreso ecosistémico calculado en la sexta columna, y la 8 es la rentabilidad de ese uso, igual al cociente entre el Valor Presente y la inversión de la quinta columna. Dado el período requerido para obtener la producción de dichos servicios (en el caso del ejemplo, 5 años) y el valor a descontar (en el caso del último tramo, 38.19), la tasa de descuento para el cálculo del valor presente, según la ecuación 7, es la tasa de rentabilidad del mejor uso agrícola de ese último tramo, pues esta representa el costo de oportunidad de fijar el uso de ese tramo durante 5 años solo para la producción de servicios ecosistémicos. Con este cálculo se completa el segundo paso del proceso.

En este punto es importante observar que mientras para el cálculo del ingreso ecosistémico requerido para cualquier tramo se toma en cuenta el costo de oportunidad del uso agrícola de todos los tramos del ecosistema, para el cálculo del valor presente de ese ingreso se utiliza una tasa de descuento igual a la rentabilidad agrícola del tramo específico, la cual sería sacrificada durante el período en que aquel tramo sería dedicado a la producción de servicios ecosistémicos. A corto plazo, o antes de decidir la distribución del uso de la tierra, el costo de oportunidad de todos los usos posibles determina el ingreso. Pero a largo plazo, una vez tomada la decisión de usar un determinado tramo para producir servicios ecosistémicos, el Valor Presente queda determinado por la tasa de rentabilidad agrícola, sacrificada, de este tramo.

Por último, el proceso de cálculo se completa cuando se determina el tramo o grado de pendiente en el que la tasa de rentabilidad del uso agrícola se iguala con la tasa de rentabilidad del uso ambiental o ecosistémico, y según el ejemplo numérico del cuadro anexo, eso sucede en el tramo o grado de pendiente del 28 %, en el que ambas tasas son prácticamente iguales, lo cual significa que cuando todo el territorio por encima de ese tramo se utiliza en la producción de

servicios ecosistémicos, y por debajo de él en la producción agrícola, la rentabilidad y el Valor de Uso Total del ecosistema se maximiza.

Conclusiones: el impacto de los precios agrícolas y de la tasa de descuento en la sostenibilidad fuerte

La pendiente óptima (tramo específico) que maximiza la rentabilidad del uso de todo el territorio del ecosistema se puede obtener si se sustituye el valor de la ecuación 2 en la 6, y luego se despeja el valor de P_e :

$$P_e = \frac{I_{sec}P_{ag}a_1 - I_{ag} \sum_{i=1}^n \frac{P_{sec}Q_{sec}}{(1+i)^n}}{P_{ag}I_{sec}b_1} \quad (11)$$

Tal y como predice la teoría de la optimización del uso del territorio con respecto a la pendiente, un aumento en los precios agrícolas y de la tasa de descuento aumenta el costo de oportunidad del uso agrícola, lo que a su vez producirá un desplazamiento de la frontera agrícola hacia arriba. El mismo efecto produciría un aumento de la inversión requerida para el uso del territorio en la producción de servicios ecosistémicos, pues con esta se reduce la rentabilidad de ese uso.

Pero la elasticidad de la pendiente con respecto a los precios y la tasa de descuento es un asunto fundamental para la determinación de la frontera agrícola de la sostenibilidad fuerte. Un análisis de los datos del cuadro adjunto muestra que cuando el ingreso agrícola aumenta un 5 %, la pendiente óptima no cambia, lo que significa que la frontera que divide el uso del ecosistema es muy inelástica con respecto a los precios agrícolas.

Si en vez de utilizar el costo de oportunidad como tasa de descuento del ingreso ecosistémico (calculado según la tasa de rentabilidad del mejor uso agrícola de todo el ecosistema), se utiliza una tasa de descuento del 3 %, el tramo o la pendiente óptima no cambia, lo cual significa que una tasa de descuento de esa magnitud representa el costo

de oportunidad del uso de todo el ecosistema. Pero otro resultado de gran importancia es la poca elasticidad de la frontera agrícola a la tasa de descuento, pues solo cuando esta aumenta al 5 %, dicha frontera aumenta tres tramos, pasando del 28 al 31.

Por tanto, contrario a la creencia tradicional, el caso del ejemplo aquí analizado sugiere que un aumento de la tasa de interés o de los precios agrícolas tiene poca o casi ninguna influencia en el cambio del uso de la tierra para la producción agrícola, lo cual significa a su vez que dichas variables no serían una amenaza al nivel mínimo de capital natural que requiere la sostenibilidad fuerte.

Referencias

- Amorós, J. M. (2004). Métodos de Preferencia Reveladas y Declaradas en la Valoración de Impactos Ambientales. *Ekonomiaz* 57, 12-29.
- Azqueta, D., Alviar, M., Domínguez, L. & O Ryam, R. (2007). *Introducción a la Economía Ambiental*, (2da ed). Madrid, España: McGrawHill.
- Barbier, E. B. y Burgess, J. C. (2017). The Sustainable Development Goals and the systems approach to sustainability. *Economics: The Open Access, Open Assessment E Journal* 11, 1-23.
- Brunett, E. (2012). *El costo de oportunidad como instrumento de apoyo para el pago por servicios ambientales*. Caso de estudio: Programa de pago por servicios ambientales hidrológicos en el Estado de México. Colegio de la Frontera Norte, CISESE.
- Food and Agriculture Organization. (2007). *Land evaluation Towards a revised framework*. Land And Water Discussion Paper 6. Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Rom.
- Food and Agriculture Organization. (2018). *Guía de Buenas Prácticas para la Gestión y el uso Sostenibles de Suelos de áreas Rurales*. Bogotá, Colombia.
- Lomas, P., Martín, B., Louit, C., Montoya, D. y Montes, C. (2005). *Guía Práctica Para La Valoración Económica De Los Bienes Y Servicios Ambientales De Los Ecosistemas*. Madrid, España:

Universidad Autónoma de Madrid. ISBN 84-96063-60-7.

- Vatn, A. (2010). An institutional analysis of payments for environmental services. *Ecological Economics* 69, 1245-1252.
- Tisdell, C. (2010). *Managing Forests for Sustainable Economic Development: Optimal Use and Conservation of Forests*. Working Paper No. 161. Working papers on economics, ecology and the environment. The University of Queensland.
- White, D. y Minang, P. (2011). *Estimación de los Costos de oportunidad de REDD+. Manual de capacitación*. Washington, Estados Unidos: Banco Mundial.

CUADRO ANEXO. MAXIMIZACIÓN DEL VALOR DE USO DE UN ECOSISTEMA MONTAÑOSO.

TP (1)	INP (2)	IRT (3)	MRUA (4)	IRUF (5)	UNPUA (6)	VAIA (7)	MRP (8)
1	120	900.000	0.133	650.000	\$62.05	\$33.19	0.051
2	119	904.500	0.132	646.750	\$62.63	\$33.76	0.052
3	118	909.023	0.130	643.516	\$63.21	\$34.34	0.053
4	117	913.568	0.128	640.299	\$63.79	\$34.92	0.055
5	116	918.135	0.126	637.097	\$64.36	\$35.51	0.056
6	115	922.726	0.125	633.912	\$64.94	\$36.10	0.057
7	114	927.340	0.123	630.742	\$65.52	\$36.70	0.058
8	113	931.976	0.121	627.588	\$66.10	\$37.30	0.059
9	112	936.636	0.120	624.450	\$66.68	\$37.91	0.061
10	111	941.320	0.118	621.328	\$67.25	\$38.52	0.062
11	110	946.026	0.116	618.222	\$67.83	\$39.14	0.063
12	109	950.756	0.115	615.130	\$68.41	\$39.76	0.065
13	108	955.510	0.113	612.055	\$68.99	\$40.39	0.066
14	107	960.288	0.111	608.995	\$69.57	\$41.02	0.067
15	106	965.089	0.110	605.950	\$70.15	\$41.66	0.069
16	105	969.914	0.108	602.920	\$70.72	\$42.30	0.070
17	104	974.764	0.107	599.905	\$71.30	\$42.95	0.072
18	103	979.638	0.105	596.906	\$71.88	\$43.60	0.073
19	102	984.536	0.104	593.921	\$72.46	\$44.26	0.075
20	101	989.459	0.102	590.952	\$73.03	\$44.92	0.076
21	100	994.406	0.101	587.997	\$73.61	\$45.59	0.078
22	99	999.378	0.099	585.057	\$74.19	\$46.26	0.079
23	98	1004.375	0.098	582.132	\$74.77	\$46.94	0.081
24	97	1009.397	0.096	579.221	\$75.35	\$47.62	0.082
25	96	1014.444	0.095	576.325	\$75.92	\$48.31	0.084
26	95	1019.516	0.093	573.443	\$76.50	\$49.00	0.085
27	94	1024.614	0.092	570.576	\$77.08	\$49.70	0.087
28	93	1029.737	0.090	567.723	\$77.66	\$50.40	0.089
29	92	1034.885	0.089	564.884	\$78.23	\$51.10	0.090
30	91	1040.060	0.087	562.060	\$78.81	\$51.81	0.092
31	90	1045.260	0.086	559.250	\$79.39	\$52.53	0.094
32	89	1050.486	0.085	556.453	\$79.97	\$53.25	0.096
33	88	1055.739	0.083	553.671	\$80.54	\$53.97	0.097
34	87	1061.018	0.082	550.903	\$81.12	\$54.70	0.099
35	86	1066.323	0.081	548.148	\$81.70	\$55.44	0.101
36	85	1071.654	0.079	545.408	\$82.28	\$56.17	0.103
37	84	1077.012	0.078	542.681	\$82.85	\$56.92	0.105
38	83	1082.398	0.077	539.967	\$83.43	\$57.66	0.107
39	82	1087.810	0.075	537.267	\$84.01	\$58.41	0.109
40	81	1093.249	0.074	534.581	\$84.59	\$59.17	0.111
41	80	1098.715	0.073	531.908	\$85.16	\$59.93	0.113
42	79	1104.208	0.072	529.249	\$85.74	\$60.69	0.115
43	78	1109.729	0.070	526.602	\$86.32	\$61.46	0.117
44	77	1115.278	0.069	523.969	\$86.89	\$62.23	0.119
45	76	1120.854	0.068	521.349	\$87.47	\$63.01	0.121

Notas. Títulos en las columnas: (1) TP: Tramo de pendiente; (2) INP: Ingreso neto perpetuo mejor uso agrícola por tramo; (3) IRT: inversión requerida por tramo para el mejor uso agrícola; (4) MRUA: Máxima rentabilidad uso agrícola; (5) IRUF: Inversión requerida uso forestal; (6) INPUA: Ingreso neto perpetuo mejor uso ambiental al costo de oportunidad de la rentabilidad agrícola alternativa; (7) VAIA: Valor actual del ingreso ambiental futuro descontado a la tasa del costo de oportunidad; (8) MRP: Máxima rentabilidad perpetua uso ambiental.