



*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

**Give to AgEcon Search**

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

## **Dinámica de participación en esquemas de pago por servicios ambientales urbanos: análisis de la intención**

Luisa Díez-Echavarría<sup>a</sup>, Diana Carolina Ríos-Echeverri<sup>b</sup>

---

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo es comprender la dinámica de decisión de participación de propietarios de tierras en esquemas urbanos de pago por servicios ambientales, bajo diferentes escenarios de pago. Con base en la Teoría del Comportamiento Planeado, se formuló un modelo de simulación a nivel individual con grafos de interacción, conformados por agentes diversos en atributos, y parametrizado con datos de una zona de los Andes colombianos. Los resultados confirman la relevancia de los procesos de diferenciación en la oferta de los pagos. Este trabajo constituye un primer acercamiento de simulación de participación en esquemas PSA en contexto urbano.

---

### **Dynamics of participation in payment for urban environmental services schemes: analysis of the intention**

---

**ABSTRACT:** This work aims to understand landowners' participation decision dynamics in an urban Payment for Environmental Services scheme under different payment scenarios. Based on the Theory of Planned Behavior, we formulated a simulation model at the individual level with interaction graphs, conformed by diverse agents in attributes, and parameterized with data of a Colombian Andes zone. The results confirm the relevance of the differentiation processes in the payment offer. This work constitutes the first approach to simulate participation in PES schemes in an urban context.

---

**PALABRAS CLAVE / KEY WORDS:** Contexto urbano, modelo de intención, pago por servicios ambientales, grafos de interacción / *Urban context, intention model, payment for environmental services, interaction graphs*.

---

**Clasificación JEL/JEL classification:** C63, Q24, Q57.

---

**DOI:** <https://doi.org/10.7201/earn.2021.01.07>.

---

---

<sup>a</sup> Depto. de Finanzas, Instituto Tecnológico Metropolitano. E-mail: [luisadiez@itm.edu.co](mailto:luisadiez@itm.edu.co).

<sup>b</sup> Depto. de Ciencias Administrativas, Instituto Tecnológico Metropolitano. E-mail: [dianarios@itm.edu.co](mailto:dianarios@itm.edu.co).

*Agradecimientos:* Las autoras agradecen los aportes de la entidad político-administrativa y autoridad ambiental Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y de los revisores anónimos de la revista. Este trabajo es producto del proyecto PCI-19206 del Instituto Tecnológico Metropolitano.

*Citar como:* Díez-Echavarría, L. & Ríos-Echeverri, D.C. (2021). "Dinámica de participación en esquemas de pago por servicios ambientales urbanos: análisis de la intención". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 21(1), pp. 165-183; <https://doi.org/10.7201/earn.2021.01.07>.

*Dirigir correspondencia a:* Luisa Díez Echavarría.

Recibido en diciembre de 2020. Aceptado en mayo de 2021.

## 1. Introducción

La degradación de los ecosistemas afecta su capacidad de provisionar beneficios para el bienestar humano, entendidos como servicios ambientales; y esa degradación está alcanzando tasas sin precedentes (Díaz *et al.*, 2015, 2018; Orihuela *et al.*, 2020). Los servicios ambientales cobran gran importancia en las zonas urbanas, debido a que tienen mayor densidad de personas y pueden tener mayor impacto en su calidad de vida.

El reto de mantener el flujo de los servicios ambientales hace necesario que la sociedad diseñe e implemente mecanismos que favorezcan ese flujo (Vicente & Azqueta, 2020), como los pagos por servicios ambientales (PSA). Un PSA es “una transacción voluntaria, donde un servicio ambiental bien definido (o un uso de la tierra que aseguraría ese servicio) es comprado por al menos un comprador de servicio ambiental, a por lo menos un proveedor de servicio ambiental, solo si el proveedor asegura la provisión del servicio ambiental transado (condicionamiento)” (Wunder, 2006). Este mecanismo ha sido ampliamente implementado en contextos rurales a nivel mundial (Ezzine-De-Blas *et al.*, 2016), pero apenas está emergiendo en contextos urbanos (Cerra, 2017; Richards & Thompson, 2019).

Por un lado, existen unas condiciones básicas que se deben cumplir para que haya participación de propietarios de predios proveedores de servicios ambientales (PPPSA): i) elegibilidad, es decir, si el predio y su ecosistema están ubicados en el área de interés estratégica para la provisión de servicios ambientales; ii) deseo o intención, que se da cuando el pago resulta atractivo y el esquema es compatible con sus intereses; y iii) capacidad, cuando el PPPSA tiene la tierra con título legal y recursos técnicos para afrontar los requerimientos del esquema (Pagiola *et al.*, 2005).

Por otro lado, el comprador del servicio ambiental, muchas veces en cabeza del gobierno o de autoridades ambientales, realiza procesos de priorización de predios estratégicos con base en las condiciones de elegibilidad y de capacidad, quedando por fuera de su control el deseo o intención que puede tener el PPPSA. Por esta razón se necesitan estudios para analizar los factores que determinan la intención de participar de un propietario en un esquema PSA urbano. Además, la intención o deseo es fundamental en la efectividad y sostenibilidad del esquema (Chen *et al.*, 2009; Sheng *et al.*, 2019).

Ahora, ¿cuándo resulta ser atractivo el pago y, además, el esquema compatible con los intereses del PPPSA? En cierta medida, cuando hay un acuerdo entre el PPPSA y el comprador del servicio ambiental, en el proceso de negociación de precio y pago. Ejemplos de pago en diferentes lugares del mundo, son los 3450 CNY mensuales por hectárea durante 8 años que reciben los participantes del esquema Grain-to-Green de China, por convertir cultivos a bosques o praderas (Chen *et al.*, 2012); y los 50 BRL mensuales que obtienen los participantes del programa Bolsa Floresta de Brasil, por evitar la deforestación (Bakkegaard & Wunder, 2014).

El precio se asemeja al concepto de “disposición a aceptar” por parte del PPPSA, y lo entendemos como la sumatoria de todos los elementos o costos económicos que

debe incurrir el propietario si participara en el esquema. Esos elementos o costos que son tenidos en cuenta para el cálculo del precio en el contexto urbano dependen de la tipología de PPPSA (Richards & Thompson, 2019): el precio para propietarios de carácter privado de manejo comercial debe incluir el i) costo de administración y cambios por la implementación de acciones del esquema, y el ii) costo de oportunidad. En el caso de los propietarios de carácter privado de manejo no comercial se debe considerar el i) costo de administración y cambios por la implementación de acciones del esquema, adicional a ii) un pequeño incentivo. Y el precio para propietarios de carácter público debe incluir el i) costo de administración y cambios por la implementación de acciones del esquema, y ii) un pequeño incentivo para ser reinvertido en obras públicas. Mientras que el pago se asemeja al concepto de “disposición a pagar” por parte del comprador del servicio ambiental, y es el valor económico que se reconocería al PPPSA, y corresponde a una proporción del precio.

Aparte de la heterogeneidad en tipología de los PPPSA, el suelo urbano tiene usos más diversos, la propiedad es más fragmentada (es decir, mayor número de propietarios de áreas más pequeñas), y el valor económico de la tierra es más alto (Richards & Thompson, 2019). Dadas esas características del contexto urbano, es necesario mejorar el entendimiento sobre cómo establecer estrategias de pago que estén en armonía con los intereses de los PPPSA para incentivar su participación en esquemas PSA.

El objetivo de este trabajo es comprender la dinámica de decisión de participación de propietarios de predios en un esquema PSA urbano bajo diferentes escenarios de pago. Entendiendo escenarios de pago como los diferentes niveles proporcionales de cobertura de los precios. La comprensión de cómo pueden responder los agentes a los pagos en términos de participación, es fundamental para el logro de los objetivos de sostenibilidad y a un uso de recursos más eficiente. Para lograr este objetivo, formulamos un modelo de simulación a nivel individual con grafos de interacción conformados por individuos diversos en atributos y comportamiento, que interactúan entre ellos y con el ambiente (An *et al.*, 2005; Bonabeau, 2002; Bousquet & Le Page, 2004). Al modelar los agentes individualmente se puede observar el comportamiento agregado, producto de múltiples interacciones individuales (Macal & North, 2010).

El documento se organiza como sigue: en la sección 2 se presentan los factores que serían relevantes en la decisión de participar en un esquema PSA urbano; en la sección 3 se describe la metodología usada para lograr el objetivo, compuesta por la información de la zona de estudio, la operacionalización del modelo y el diseño de escenarios; en la sección 4 se describen los resultados; se finaliza con la discusión y conclusiones en la sección 5.

## **2. Factores influyentes en la participación de esquemas PSA urbano**

Las decisiones de participación en esquemas voluntarios de conservación son explicadas por motivaciones económicas, y por motivaciones o actitudes personales del propietario de la tierra (Greiner, 2015). Una teoría bastante utilizada para explicar el comportamiento humano individual es la Teoría de Comportamiento Planeado (Ajzen, 1985, 1991), la cual considera tres constructos explicativos de la intención: las actitu-

des, referentes al agrado o desagrado del individuo por el comportamiento en cuestión; las normas subjetivas, asociadas a la percepción de lo que piensan otros individuos que consideran importantes, acerca del comportamiento en cuestión; y el control percibido, relacionado con las percepciones de las personas sobre su control voluntario de un comportamiento en particular. Estos tres constructos serán analizados en relación a los factores que afectan la decisión de participar en esquemas PSA urbanos.

Hay vasta literatura que reporta los factores que afectan la participación en esquemas PSA rurales, por ejemplo Greiner (2015); van der Horst (2011) y Zanella *et al.* (2014), pero poco se conoce en zonas urbanas. El trabajo de Richards & Thompson (2019) es el que, hasta ahora, mejor caracteriza a los propietarios de predios proveedores de servicios ambientales y sus intereses, en zonas urbanas.

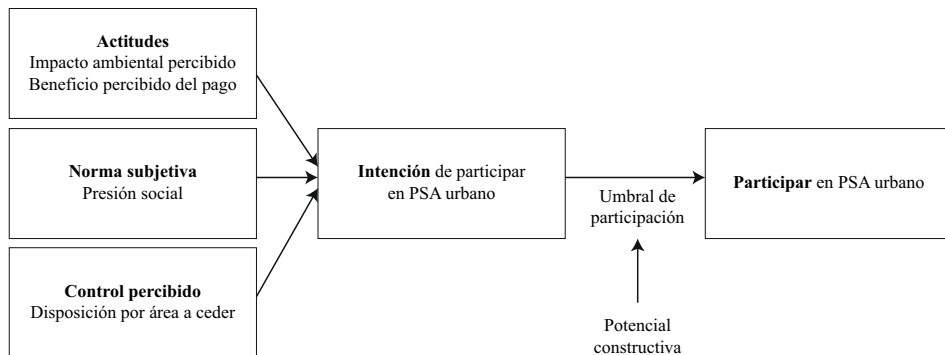
Con base en los entendimientos, tanto de contextos rurales como urbanos, se identificaron cuatro factores que influyen en la decisión de participar en esquemas PSA en contexto urbano. Los cuatro primeros son: la percepción que el propietario del predio tiene por el impacto ambiental generado por las acciones del esquema (Grillos, 2017; Zanella *et al.*, 2014); el beneficio percibido del pago a reconocer al propietario del predio, por renunciar a alguna actividad productiva o desarrollo urbanístico que realice en él (Richards & Thompson, 2019); la presión social o influencia directa e indirecta que reciben de otros individuos de la comunidad (Chen *et al.*, 2012; Sun & Müller, 2013); y la disposición del propietario a ceder área de su predio para implementar las acciones que aseguren la provisión de un servicio ambiental (Bremer *et al.*, 2014; Zbinden & Lee, 2005).

Esos cuatro factores se pueden agrupar en los tres constructos que plantea la Teoría de Comportamiento Planeado, como se muestra en el Gráfico 1, el cual es útil para entender la estructura del modelo de decisión que guía esta investigación. Esos factores se entienden como predictores de la intención del propietario del predio por participar en el esquema PSA urbano, y esa intención, a su vez, es predictora de la acción. En otras palabras, a medida que aumenten los valores de los factores, aumentará la intención de participar.

Finalmente, para que la intención se materialice en una acción debe lograr o sobrepasar un umbral, que sería el quinto factor. El umbral es determinado por el potencial constructivo o potencial de edificabilidad, que, de ser alto, generaría una presión por desarrollar o explotar el predio urbanísticamente, ya sea por motivaciones personales o del mercado inmobiliario. La presión urbanística se entiende como el tipo e intensidad del estrés que sufren los ecosistemas por la ocupación, alteración o transformación de las condiciones naturales para implementación de infraestructura artificial, asociado a los fenómenos de expansión e intensificación de la mancha urbana.

GRÁFICO 1

### Agrupación de factores que influyen en la decisión de participar en un esquema PSA urbano, según constructos de la Teoría del Comportamiento Planeado



Fuente: Elaboración propia.

### 3. Metodología

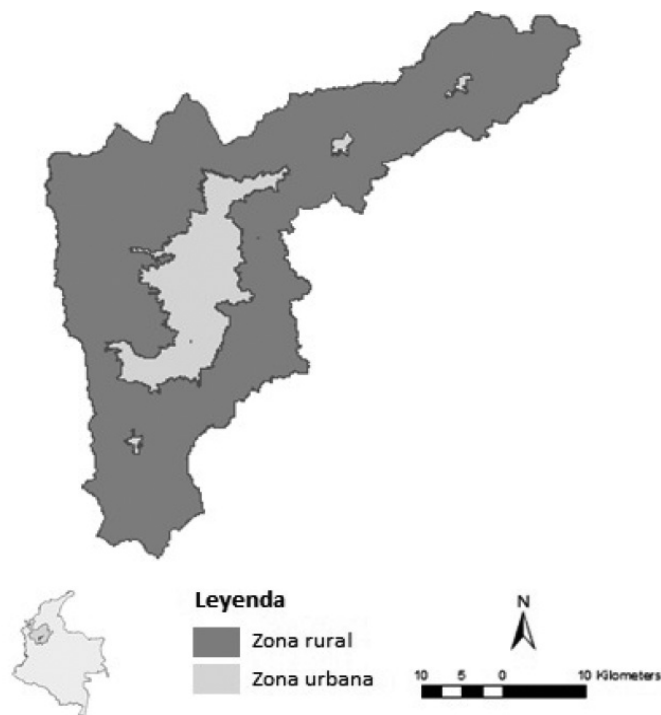
Para comprender la dinámica de la decisión de participación en un esquema de PSA urbano de un conjunto de PPPSA bajo diferentes escenarios de pago, desarrollamos un modelo de simulación a nivel individual usando el lenguaje Ocelet (Degenne *et al.*, 2009). A través de este enfoque, los procesos de interés son operacionalizados como grafos de interacción con componente geográfica, es decir, un conjunto de objetos o nodos que pueden estar vinculados mediante enlaces e interactuando en el espacio. El modelo está compuesto por una población de predios, donde sus propietarios deben decidir si participan o no, cada vez que se ofrezca la opción de participar. El modelo fue parametrizado usando la información de la zona de estudio que se describe a continuación.

#### 3.1. Zona de estudio

La zona de estudio de este trabajo es el valle de Aburrá, ubicada en el departamento de Antioquia, Colombia (ver Mapa 1). Es la segunda zona urbana más importante del país, ubicada en la cordillera de los Andes (Elmqvist *et al.*, 2013), con una población de más de 4 millones de personas y un área de 1165.5 km<sup>2</sup> (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2019; Medellín-Cómo-Vamos, 2020). Entre los años 2016 y 2017, y con el fin de conservar los bosques, la entidad político-administrativa y autoridad ambiental Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) implementó el esquema BancO2 Metropolitano en la zona rural, con una caracterización de más de 1000 familias, de las cuales ya participan cerca de 500 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), 2019; Díez-Echavarría *et al.*, 2021).

## MAPA 1

## Ubicación geográfica del valle de Aburrá, Antioquia - Colombia



Fuente: Elaboración propia.

En el año 2018, el AMVA, junto a la corporación Masbosques, comenzaron la formulación de un esquema PSA urbano, basándose en la experiencia previa de BancO2. Realizaron una priorización inicial de 111 predios que son parte de redes ecológicas, además, están asociados a suelos de protección ambiental y a redes hídricas municipales. Las entidades en mención identificaron acciones potenciales a desarrollar en los predios para el mejoramiento ambiental y la apropiación social. El área total de todos los predios es de 2.082.497,68 m<sup>2</sup>, de los cuales 1.182.512,087 m<sup>2</sup> son objeto de intervención para implementar un PSA urbano.

Los datos utilizados como insumo para el modelo se describen en el Cuadro 1, y corresponden a las características, tanto numéricas como categóricas, de la totalidad de los predios priorizados. Se destaca la gran heterogeneidad de los valores o categorías, especialmente el valor económico de la tierra por m<sup>2</sup>.

CUADRO 1  
**Datos que caracterizan los predios**

Atributo del predio [unidades]	Valor/categoría	Insumo
Nivel de impacto ambiental	Bajo, medio o alto	Factor: Impacto ambiental percibido $IA_i$
Propietario	Nombre e identificación del propietario	Pesos de importancia
Carácter	Público o privado	Atributo: Conexiones
Geometría	Polígono geolocalizado (Shapefile)	Atributo: Conexiones
Conexiones	Rango: 0 a 49	Factor: Presión social
Área del predio [ $m^2$ ]	Rango: 243 a 247.631	-
Proporción del área de interés para el esquema	Rango: 0,0 a 1,0	Factor: Disposición por área a ceder
Potencial constructivo	Rango: 0,0 a 3,4	Umbral de participación
Valor económico de la tierra [ $COP/m^2$ ]	Rango: 5.903 a 2.958.468	-

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Operacionalización del modelo

Al comienzo de la simulación, a cada predio  $i$  se le asignan los atributos que lo caracterizan (señalados en el Cuadro 1). Los atributos se irán describiendo a lo largo de esta sección, y son el insumo para conformar los factores que hacen parte de la función de intención PPPSA por participar en el esquema PSA urbano. La simulación evoluciona según las veces que sea ofrecido el esquema a los predios, y en cada momento de oferta  $t$ , cada predio  $i$  decide si participa, o no (de modo que las unidades de tiempo son irrelevantes). La decisión depende de la evaluación de los cinco factores que influyen en su intención de participar.

El primer atributo asignado al predio  $i$  es el nivel de impacto ambiental, el cual se entiende como el impacto ambiental positivo que puede tener la implementación de acciones para la provisión y protección de servicios ambientales. Ese nivel, que puede ser bajo, medio o alto, se traduce en el primer factor impacto ambiental percibido  $IA_i$ , con valor de 0,2 si el nivel es bajo, 0,6 si el nivel es medio y 1,0 si el nivel es alto. Este factor permanece constante en toda la simulación.

El segundo, tercer y cuarto atributo asignado al predio  $i$  son su carácter, que puede ser público o privado, su geometría, que es el polígono geolocalizado que lo



delimita, y las conexiones sociales con otros propietarios de predios. Las conexiones sociales están dadas por la cercanía de los predios; es decir, un predio se conecta con sus vecinos. Además, asumimos que existe una conexión entre todos los predios de carácter público, independiente de su ubicación geográfica. Las conexiones sociales entre PPPSA son constantes en toda la simulación; y no implican relación cercana o de amistad, simplemente, que hay reconocimiento del otro individuo y de su decisión de participar, o no, en el esquema. Las conexiones sociales sirven para calcular el segundo factor de presión social  $PS_{it}$  ejercida por los demás propietarios. La presión social  $PS_{it}$  que siente el propietario del predio  $i$  en el momento de la oferta  $t$  dependerá del total de predios que sabe que han aceptado participar en el esquema PSA urbano en ofertas anteriores, sobre el total de predios con quien está conectado, como se muestra en la Ecuación 1.

$$PS_{it} = \frac{\text{Número de conexiones sociales al predio } i, \text{ que sí participan}_{t-1}}{\text{Número de conexiones sociales al predio } i} \quad [1]$$

El quinto atributo de cada predio  $i$  es la proporción  $prop_i$ , que es de interés, porque cada predio tiene un área, pero no necesariamente toda es de interés para el esquema PSA urbano. Este atributo es insumo para el tercer factor disposición por área a ceder  $DA_i$ , el cual se calcula según la Ecuación 2, bajo el supuesto de que mientras menor sea la proporción de área que un propietario debería ceder, mayor será su disposición  $DA_i$  (Bremer *et al.*, 2014; Zbinden & Lee, 2005). El factor  $DA_i$  es constante en toda la simulación.

$$DA_i = 1 - prop_i \quad [2]$$

El cuarto factor asignado al predio  $i$  se denomina beneficio percibido por el pago  $P_i$ , en adelante pago, representa el nivel proporcional de cobertura del precio que se le reconocería al predio  $i$  por participar en el esquema. El valor que toma el factor  $P_i$  se discute en la sección 3.3 Diseño de Escenarios.

La evaluación de los cuatro factores se ejecuta ponderando con unos pesos de importancia  $w$  que cada propietario del predio  $i$  otorga, mostrados en la Ecuación 3, para dar cuenta de la heterogeneidad en los intereses de la población de PPPSA (Morris & Potter, 1995). La existencia de varios predios con el mismo valor en el sexto atributo propietario se tiene en cuenta al momento de asignar los mismos valores de los pesos.

$$wIA_i + wP_i + wPS_i + wDA_i = 1 \quad [3]$$

Donde  $wIA_i$  es la importancia que el propietario del predio  $i$  da al impacto ambiental percibido por las acciones en su predio;  $wP_i$  es la importancia que el propietario del predio  $i$  da al beneficio percibido del pago que se le reconocería por participar;  $wPS_i$  es la importancia que el propietario del predio  $i$  da a la presión social ejercida

por otros predios que ya participan en el esquema; y  $wDA_i$  es la importancia que un propietario da a la disposición por área a ceder en cualquiera de sus predios.

Los valores de los pesos permanecen constantes en toda la simulación, y se distribuyen normalmente entre la población de propietarios, con una media y desviación estándar que dependen de su carácter según los intereses de la tipología propuesta por Richards & Thompson (2019) (ver parámetros de media  $\mu$  y desviación  $\sigma$  en el Cuadro 2). Como los pesos deben sumar la unidad, la importancia de la presión social se define como la Ecuación 4.

$$wPS_i = 1 - (wDA_i + wP_i + wA_i) \quad [4]$$

CUADRO 2

**Valores de importancia del modelo de intención, según el carácter del predio**

Importancia del factor	Privado		Público	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
Impacto ambiental percibido: $wA_i$	0,1	0,01	0,4	0,01
Proporción a ceder: $wDA_i$	0,3	0,01	0,2	0,01
Beneficio percibido por el pago: $wP_i$	0,4	0,01	0,2	0,01

Fuente: Elaboración propia.

La intención de participar  $I_{it}$ , es calculada como una combinación lineal de los factores y sus pesos, como se describe en la Ecuación 5.

$$I_{it} = wA_i(IA_i) + wPS_i(PS_{it}) + wDA_i(DA_i) + wP_i(P_i) \quad [5]$$

Asumimos que un PPPSA decide participar con su predio  $i$  si  $I_{it} \geq$  umbral de participación  $u_i$ . El umbral  $u_i$  que usará cada propietario con su predio para decidir si participa en el esquema, dependerá de la valoración del último atributo asignado a cada predio  $i$ : el potencial constructivo  $pc_i$ , según el Cuadro 3. Asumimos que, mientras mayor potencial de construcción, será más difícil que participe en el esquema.

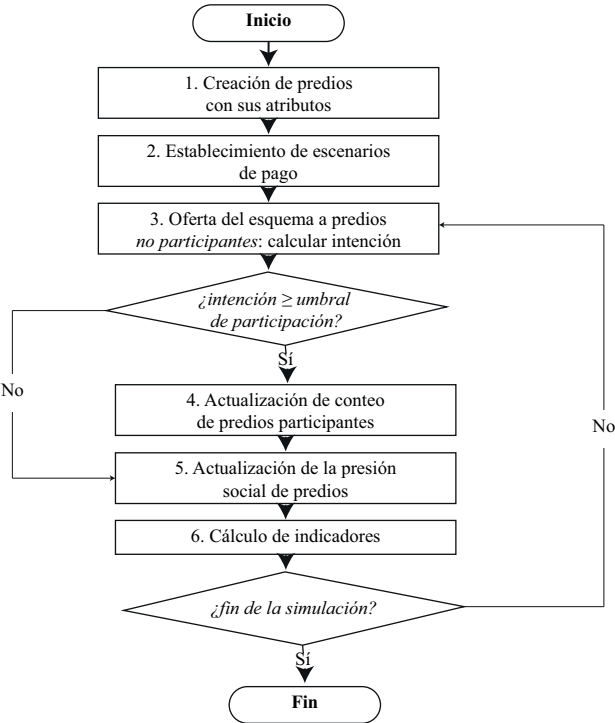
CUADRO 3  
Umbral de participación de cada predio, según su potencial constructivo

Condición del potencial constructivo	Umbral de participación $u_i$
Bajo: $pc_i \leq 1,14$	0,5
Medio: $1,14 < pc_i \leq 2,27$	0,6
Alto: $pc_i > 2,27$	0,7

Fuente: Elaboración propia.

Es así como el modelo se ejecuta siguiendo el algoritmo de el Gráfico 2, donde los procesos 1 y 2 constituyen el establecimiento de las condiciones iniciales, y en los procesos 3 a 6 se evalúa el proceso de decisión de participar, o no, en el esquema. El modelo no considera abandonos de participantes; es decir, cuando un PPPSA decide participar con su predio en el esquema, no dejará de hacerlo. Además, el fin de la simulación se determina según el escenario ejecutado.

GRÁFICO 2  
Estructura y ejecución del modelo



Fuente: Elaboración propia.

3.3. Diseño de escenarios

Recordar que un escenario de pago constituye un nivel proporcional de cobertura del precio para cada predio  $i$ ; es decir, el valor específico de  $p_i$  es una proporción de su precio. Se diseñaron nueve escenarios de pago, diferenciados en dos grupos. El primer grupo consta de seis escenarios E1 a E6, descritos en el Cuadro 4, donde, diferentes valores de  $p_i$  se ofertan 10 veces a la población de predios. Los primeros dos escenarios (E1 y E2) constituyen dos condiciones relativamente opuestas: E1 con un valor de beneficio percibido  $p_i$  mínimo ( $p_i = 0,55$ ) y E2 con un valor de  $p_i$  que cubre la totalidad del precio ( $p_i = 1$ ), ambos valores constantes a través de la simulación, es decir, con variación cero. Los escenarios E3 y E4 presentan valores  $p_i$  crecientes y decrecientes, respectivamente, con variaciones de 0,05 en cada oferta. Los escenarios E5 y E6 corresponden a valores de  $p_i$  diferenciados por atributos sensibles al pago: carácter y potencial de construcción, respectivamente, y ambos con valores constantes a través de la simulación. La diferenciación de esos atributos se basa en la hipótesis de que, el pago debe ser lo suficientemente atractivo para los predios privados o con potencial de construcción alto, como para equiparar o compensar el beneficio no percibido por el desarrollo de actividades privadas o desarrollos urbanísticos.

El diseño de este primer grupo constituye, más que una parametrización de escenarios reales, una exploración de posibles trayectorias de participación bajo estrategias triviales básicas.

CUADRO 4  
Grupo 1: escenarios con 10 ofertas

	E1. Pago mínimo	E2. Pago total	E3. Incremento progresivo	E4. Decremento progresivo	E5. Diferenciado por carácter	E6. Diferenciado por potencial constructivo
Valor inicial de $P_i$	0,55	1,00	0,55	1,00	Público: 0,55 Privado: 1,00	Bajo: 0,550 Medio: 0,775 Alto: 1,000
Valor final de $P_i$	0,55	1,00	1,00	0,05	Público: 0,55 Privado: 1,00	Bajo: 0,550 Medio: 0,775 Alto: 1,000
Variación de $P_i$ en cada oferta	0,00	0,00	+ 0,05	- 0,05	0,00	0,000

Fuente: Elaboración propia.

El segundo grupo de escenarios (E7 a E9) se describe en el Cuadro 5, donde se establecen diferentes valores iniciales de  $p_i$  que van incrementando en cada oferta hasta lograr que el 70 % de la población participe en el esquema, es decir, una combinación

de varios escenarios del primer grupo. En estos tres escenarios, los valores del pago  $p_i$  pueden ser superiores a 1, indicando que el reconocimiento puede ser superior al precio para que sea aceptado por los PPPSA.

La elección de los escenarios con incremento progresivo y diferenciados por atributos, se basa en intentar minimizar la renta de la información, entendida como los reconocimientos por encima del pago mínimo necesario para inducir a los propietarios de tierras a participar en el esquema (Engel, 2016; Ferraro, 2008). La renta de la información se genera por un tipo de asimetría presente en los contratos (selección adversa), donde los PPPSA, al gozar de mayor información sobre su precio (que incluye el costo de oportunidad), reclaman reconocimientos superiores a los merecidos (Ferraro, 2008). Así es como, con estrategias de pago incrementales y diferenciados, se acordarían contratos de menor reconocimiento con PPPSA para predios con menores precios.

#### CUADRO 5

##### Grupo 2: escenarios con ofertas de pago incrementales hasta llegar al 70 % de participación

	E7. Todos iguales con valor medio	E8. Diferenciado por carácter	E9. Diferenciado por potencial constructivo
Valor inicial de $P_i$	0,775	Público: 0,55 Privado: 1,00	Bajo: 0,550 Medio: 0,775 Alto: 1,000
Valor final de $P_i$	El ofrecido al momento de llegar al umbral	El ofrecido al momento de llegar al umbral	El ofrecido al momento de llegar al umbral
Variación de $P_i$ en cada oferta	+ 0,05	+ 0,05	+ 0,05

Fuente: Elaboración propia.

Como los atributos de pesos de importancia del modelo de intención son asignados de manera probabilística para representar su heterogeneidad, se ejecutan 50 simulaciones independientes por cada escenario.

#### 4. Resultados

Los resultados representan el promedio de 50 simulaciones independientes, y son analizados bajo dos indicadores: i) evolución del porcentaje de participantes a medida que se realizan las ofertas, y ii) evolución de la intención promedio a medida que se realizan las ofertas.

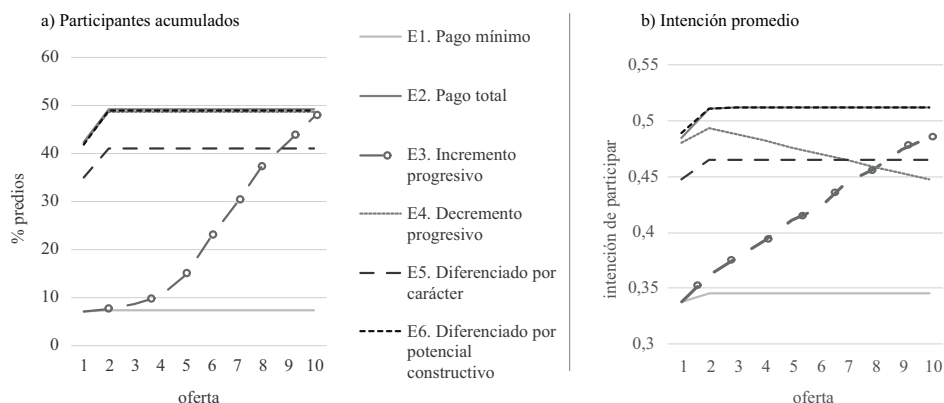
El Gráfico 3 presenta el comportamiento del primer grupo de escenarios E1 a E6. En el panel izquierdo del Gráfico 3 está el porcentaje de participación acumulada, y en panel derecho del Gráfico 3 la intención de participar de toda la población. Recor-

dar que E1 y E2 se ejecutan con valores de  $P_i$  extremos, por lo que los porcentajes de participación de estos dos escenarios representan las cotas del primer grupo. Note que, en ningún caso se logra un porcentaje de participación del 50 %. Es decir, los valores de pago que cubren la totalidad del precio no garantizan toda la participación.

En general, se observa que los escenarios de oferta de pago constante generan tasas de participación acumulada con la misma característica. El incremento de participación entre la oferta 1 y 2 de los escenarios E2, E4, E5 y E6 se explica por el efecto que el factor presión social  $PS_{ij}$  tiene en la intención  $I_{ij}$ . Como desde la oferta  $t = 2$  no hay incremento de participación, tampoco aumenta  $PS_{it}$ . Entonces, la presión social tiene efectos decrecientes en escenarios de pago constante.

### GRÁFICO 3

#### Comportamiento de escenarios del grupo 1. a) Población que decide participar, y b) Intención promedio de toda la población



Fuente: Elaboración propia.

En el panel izquierdo del Gráfico 3 se evidencian tres escenarios con trayectorias superpuestas: E2, E4 y E6; pero comparando con el panel derecho del Gráfico 3, solo el pago diferenciado por potencial de construcción (E6) tiene el mismo efecto que el pago total (E2). En el caso donde hay un decremento progresivo del pago (E4), a pesar de que finalmente se obtiene el mismo nivel acumulado de participación a través de las ofertas, la intención de la población disminuye.

Así es como solo en el escenario de pagos con incremento progresivo (E3), se exhibe una tendencia de crecimiento, tanto en términos de participación como en intención. Y su participación, finalmente converge en las magnitudes de E2, E4 y E6, a pesar de tener menores niveles en ofertas previas. Se resalta la importancia de tener en cuenta el momento en que se logra la participación; es decir, los resultados, análisis

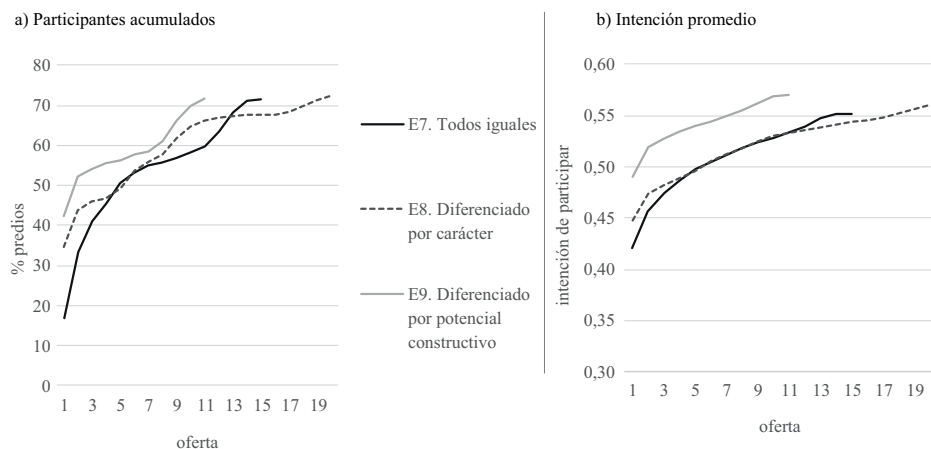
sis e implicaciones de la participación son diferentes si el foco está en todo momento de la implementación del esquema, o solo al final. Por ello, se recomienda analizar tanto, el presupuesto ahorrado, como el flujo de los servicios ambientales durante el tiempo que se tarda la población en aceptar la participación en el esquema, y evaluar costos y beneficios.

En el Gráfico 4 se presenta el comportamiento del segundo grupo de escenarios: en el panel izquierdo del Gráfico 4 está el porcentaje de participación acumulado, y en el panel derecho del Gráfico 4 la intención de participar de toda la población. Note que, las trayectorias, tanto en la participación como en la intención, son diferentes, porque cada escenario requiere de diferente número de ofertas para lograr el porcentaje de participación del 70 %, y, por lo tanto, también finalizan con valores diferentes de pago. En promedio, el escenario E7 requiere 14 ofertas y culmina con un pago de 1,475 para toda la población; mientras que E8 requiere 18 ofertas y termina con un pago de 1,4 para los predios públicos y 1.85 para los privados; y E9 logra el porcentaje con 10 ofertas, con un pago final de 1,0 para los predios con potencial constructivo  $pc_i$  bajo, 1,225 para los predios con  $pc_i$  medio, y 1,45 para los predios con  $pc_i$  alto. Siendo este último escenario el que mejor comportamiento presenta, tanto en términos de velocidad de participación como en intención promedio.

En estos tres escenarios, todos los pagos finalizan con valores superiores a 1,0. Con presupuestos fijos para la implementación del esquema, así se propenda por minimizar la renta de la información, esto implica un menor número de contratos.

#### GRÁFICO 4

##### Comportamiento de escenarios del grupo 2. a) Población que decide participar, y b) Intención promedio de toda la población



Fuente: Elaboración propia.

En los dos grupos de escenarios, los casos donde se diferencia el pago por potencial de construcción (E6 y E9) son los más efectivos por tener niveles de participación superiores con menor número de ofertas, y mayor intención promedio.

Además, hay un ciclo de realimentación entre el precio y la presión social; es decir que, solo con incrementos en el precio es posible aumentar la presión social en ofertas posteriores al incremento en la participación. Los nueve escenarios tienen en común que, el momento en que se alcanza la máxima pendiente de la curva de participación es en la primera oferta  $t = 1$ . Sugiriendo la importancia de ofrecer valores atractivos desde el principio para aprovechar el efecto de la presión social.

## 5. Discusión y conclusiones

En este artículo se evaluó el impacto de diferentes escenarios de pago en la dinámica de la decisión de participación en un esquema de PSA urbano, por parte de un conjunto de propietario de predios proveedores de servicios ambientales (PPPSA). A pesar de que existen múltiples estudios que evalúan los factores que inciden en la participación en esquemas en contextos rurales, no se conoce ninguno que lo haga para contextos urbanos. Entonces, el modelo presentado es novedoso en abordar la dinámica compleja de este contexto emergente, y lo suficientemente genérico para ser parametrizado en otras zonas de estudio.

Los resultados del modelo evidencian que, no solo importa el valor del pago a reconocer, sino también el momento en que se ofrece. Eso se muestra porque, a pesar de que finalmente los resultados convergen cerca del 50 % de participación en los escenarios E2, E3, E4 y E6, y por encima del 70 % en los escenarios E7, E8 y E9, las trayectorias trazadas son diferentes en la mayoría de los casos. Y la diferencia en las trayectorias implica diferencias no solo en los costos del esquema, sino también en la provisión de servicios ambientales.

El reto de minimizar la renta de la información en esquemas de PSA es bien conocido en el contexto rural, pero parece que cobra mayor relevancia en contextos urbanos. Se sabe que, mientras más heterogéneos sean los precios entre una población de predios, mayor será el beneficio por el esfuerzo de minimizar la renta de la información (Ferraro, 2008; Wünscher *et al.*, 2008). Como es natural que el cálculo del precio de cada predio tenga en cuenta el valor de la tierra, y este valor es sumamente heterogéneo en las zonas urbanas, es más importante generar estrategias que permitan la reducción de esos pagos adicionales, como los descritos por van der Horst (2011) y Díez-Echavarría *et al.* (2021). Además, teniendo en cuenta que el valor de la tierra en zonas urbanas puede llegar a cifras sumamente altas, llama la atención un posible aumento de la renta de la información en este contexto.

En ese sentido, la estrategia analizada en este trabajo es el incremento gradual de pago en cada oferta, la cual permite que inicialmente se vinculen al esquema los PPPSA que tengan menor valor de precio, e ir incrementando para cubrir a quienes tengan precios mayores. Además del pago con incremento gradual, se evalúan estrategias de diferenciación por atributos, las cuales resultaron ser las más eficientes, en



coincidencia con el trabajo de Ren *et al.* (2020). Con estas estrategias sale a relucir el potencial constructivo, y que se da por la presión urbanística. Se estima un incremento de los valores de este atributo por fenómenos como el crecimiento demográfico y las migraciones, entonces se sugieren estudios que involucren el potencial constructivo en el pago a reconocer.

Estas estrategias también permiten aprovechar el ciclo de realimentación positivo de la presión social, como también lo reconoce Chen *et al.* (2012), y evita que decaigan los niveles de intención, siendo un aspecto fundamental en el éxito y permanencia del esquema (Chen *et al.*, 2009; Sheng *et al.*, 2019). Se resalta la importancia de separar los análisis en cuanto a niveles de participación y de intención, porque bajos niveles de intención, a pesar de que participen, puede llevar a abandonos o al no cumplimiento de las obligaciones estipuladas en el contrato.

A pesar de los beneficios mostrados por las estrategias que mejoran la trayectoria de participación, es necesario evaluar los costos que conllevan los procesos de incremento y diferenciación.

Finalmente, como trabajo futuro se propone validar los pesos y umbrales del modelo de intención a través de cuestionarios, una vez se implemente un esquema PSA urbano. Además, se recomienda el ajuste y uso del modelo para hacer una evaluación costo/beneficio de los momentos de oferta.

## Referencias

- Ajzen, I. (1985). "From intentions to action: a theory of planned behavior". En Kuhl, J. & Beckmann, J. (Eds.): *SSSP Springer Series in Social Psychology* (pp. 1139). Berlin Heidelberg: Springer. [https://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-69746-3\\_2](https://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-69746-3_2).
- Ajzen, I. (1991). "The theory of planned behavior". *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179-211. [https://dx.doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://dx.doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T).
- An, L., Linderman, M., Qi, J., Shortridge, A. & Liu, J. (2005). "Exploring complexity in a human-environment system: An agent-based spatial model for multidisciplinary and multiscale integration". *Annals of the Association of American Geographers*, 95(1), 54-79. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1467-8306.2005.00450.x>.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). (2019). *BancO2 Metropolitano. Esquema de Pago Que Busca Conservar Los Bosques y Mejorar La Calidad de Vida de Sus Habitantes*. Obtenido de: <https://www.metropol.gov.co/ambiental/Paginas/Banco2-Metropolitano.aspx>.
- Bakkegaard, R.K. & Wunder, S. (2014). "Bolsa Floresta, Brazil - CIFOR Knowledge". En Sills, E.O. Atmadja, S., de Sassi, C., Duchelle, A.E., Kweka, D., Resosudarmo, I.A.P. & Sunderlin, W.D. (Eds.): *REDD+ on the ground: A case book of subnational initiatives across the globe* (pp. 51-67). Center for International Forestry Research (CIFOR). Obtenido de: <https://www.cifor.org/knowledge/publication/5263>.

- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99 (Suppl. 3), 7280-7287. <https://dx.doi.org/10.1073/pnas.082080899>.
- Bousquet, F. & Le Page, C. (2004). "Multi-agent simulations and ecosystem management: A review". *Ecological Modelling*, 176(3-4), 313-332. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.01.011>.
- Bremer, L.L., Farley, K.A. & Lopez-Carr, D. (2014). "What factors influence participation in payment for ecosystem services programs? An evaluation of Ecuador's SocioPáramo program". *Land Use Policy*, 36, 122-133. <https://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.08.002>.
- Cerra, J.F. (2017). "Emerging strategies for voluntary urban ecological stewardship on private property". *Landscape and Urban Planning*, 157, 586-597. <https://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.06.016>.
- Chen, X., Lupi, F., An, L., Sheely, R., Viña, A. & Liu, J. (2012). "Agent-based modeling of the effects of social norms on enrollment in payments for ecosystem services". *Ecological Modelling*, 229, 16-24. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.06.007>.
- Chen, X., Lupi, F., He, G., Ouyang, Z. & Liu, J. (2009). "Factors affecting land reconversion plans following a payment for ecosystem service program". *Biological Conservation*, 142(8), 1740-1747. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.03.012>.
- Degenne, P., Lo Seen, D., Parigot, D., Forax, R., Tran, A., Ait Lahcen, A., Curé, O. & Jeansoulin, R. (2009). "Design of a Domain Specific Language for modelling processes in landscapes". *Ecological Modelling*, 220(24), 3527-3535. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.06.018>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2019). *Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 - Valle de Aburrá*. Obtenido de: <https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190822-CNPV-presentacion-Antioquia-Valle-de-Aburra.pdf>.
- Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J.R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I.A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K.M.A., Figueroa, V.E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., Koetz, T., Leadley, P., Lyver, P., Mace, G.M., Martín-López, B., Okumura, M., Pacheco, D., Pascual, U., Pérez, E.S., Reyers, B., Roth, E., Saito, O., Scholes, R.J., Sharma, N., Tallis, H., Thaman, R., Watson, R., Yahara, T., Hamid, Z.A., Akosim, C., A-Hafedh, Y., Allahverdiyev, R., Amankwah, E., Asah S.T., Ashaw, Z., Bartus, G., Brooks, L.A., Caillaux, J., Dalle, G., Darnaedi, D., Driver, A., Erpul, G., Escobar-Eyzaguirre, P., Failler, P., Mokhtar Fouda, A.M., Fu, B., Guindimeda, H., Hashimoto, S., Homer, F., Lavorel, S., Lichtenstein, G., Mala, W.A., Mandivenyi, W., Matczak, P., Mbizvo, C., Mehrdadi, M., Metzger, J.P., Mikissa, J.B., Moller, H., Mooney, H.A., Mumby, P., Nagendra, H., Nesshover, C., Oteng-Yeboah, A.A., Pataki, G., Roué, M., Rubis, J., Schultz, M., Smith, P.,

- Sumaila, R., Takeuchi, K., Thomas, S., Verma, M., Yeo-Chang, Y. & Zlatanova, D. (2015). "The IPBES Conceptual Framework - connecting nature and people". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 1-16. <https://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R.T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, K. M. A., Baste, I. A., Brauman, K. A., Polasky, S., Church, A., Lonsdale, M., Larigauderie, A., Leadley, P.W., van Oudenhoven, A.P.E., van der Plaats, F., Schröter, M., Lavorel, S., Aumeeruddy-Thomas, Y., Bukvareva, E., Davies, K., Demissew, S., Erpul, G., Failler, P., Guerra, C.A., Hewitt, Ch.L., Keune, H., Lindley, S. & Shirayama, Y. (2018). "Assessing nature's contributions to people". *Science*, 359(6373), 270-272. <https://dx.doi.org/10.1126/science.aap8826>.
- Díez-Echavarría, L., Ríos, D. C., Hoyos, C. & Benjumea, J. (2021). *Análisis de clúster de predios proveedores de servicios ambientales para implementar un esquema de pagos urbano*. Desenvolvimento e Meio Ambiente, sometido para publicación.
- Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotulio, P., McDonald, R., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K. & Wilkinson, C. (2013). *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: challenges and opportunities. A global assessment*. Dordrecht: Springer. <https://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1>.
- Engel, S. (2016). "The devil in the detail: A practical guide on designing payments for environmental services". *International Review of Environmental and Resource Economics*, 9(1-2), 131-177. <https://dx.doi.org/10.1561/101.000000076>.
- Ezzine-De-Blas, D., Wunder, S., Ruiz-Pérez, M. & Moreno-Sánchez, R.P. (2016). "Global patterns in the implementation of payments for environmental services". *PLoS ONE*, 11(3), e0149847. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0149847>.
- Ferraro, P.J. (2008). "Asymmetric information and contract design for payments for environmental services". *Ecological Economics*, 65(4), 810-821. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.07.029>.
- Greiner, R. (2015). "Motivations and attitudes influence farmers' willingness to participate in biodiversity conservation contracts". *Agricultural Systems*, 137, 154-165. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2015.04.005>.
- Grillos, T. (2017). "Economic vs non-material incentives for participation in an in-kind payments for ecosystem services program in Bolivia". *Ecological Economics*, 131, 178-190. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.08.010>.
- Macal, C. & North, M. (2010). "Tutorial on agent-based modelling and simulation". *Journal of Simulation*, 4(3), 151-162. <https://dx.doi.org/10.1057/jos.2010.3>.
- Medellín-Cómo-Vamos. (2020). *Valle de Aburrá: población por municipio, 2020 | Medellín Cómo Vamos*. Obtenido de: <https://www.medellincomovamos.org/node/18687>.
- Morris, C. & Potter, C. (1995). "Recruiting the new conservationists: Farmers' adoption of agri-environmental schemes in the U.K". *Journal of Rural Studies*, 11(1), 51-63. [https://dx.doi.org/10.1016/0743-0167\(94\)00037-A](https://dx.doi.org/10.1016/0743-0167(94)00037-A).

- Orihuela, C.E., Minaya, C.A., Mercado, W., Jiménez, L.A., Estrada, M. & Gómez, H.J. (2020). "Efecto distancia en la disposición a pagar por la conservación de la biodiversidad: el caso de un área protegida megadiversa". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 20(1), 169-190. <https://dx.doi.org/10.7201/earn.2020.01.08>.
- Pagiola, S., Arcenas, A. & Platais, G. (2005). "Can Payments for Environmental Services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America". *World Development*, 33(2), 237-253. <https://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.07.011>.
- Ren, L., Li, J., Li, S., Li, C. & Daily, G.C. (2020). "Does China's major Payment for Ecosystem Services program meet the "gold criteria"? Targeting strategies of different decision-makers". *Journal of Cleaner Production*, 275, 122667. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122667>.
- Richards, D.R. & Thompson, B.S. (2019). "Urban ecosystems: A new frontier for payments for ecosystem services". *People and Nature*, 1(2), 249-261. <https://dx.doi.org/10.1002/pan3.20>.
- Sheng, J., Qiu, H. & Zhang, S. (2019). "Opportunity cost, income structure, and energy structure for landholders participating in payments for ecosystem services: Evidence from Wolong National Nature Reserve, China". *World Development*, 117, 230-238. <https://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.01.016>.
- Sun, Z. & Müller, D. (2013). "A framework for modeling payments for ecosystem services with agent-based models, Bayesian belief networks and opinion dynamics models". *Environmental Modelling and Software*, 45, 15-28. <https://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.06.007>.
- van der Horst, D. (2011). "Adoption of payments for ecosystem services: An application of the Hågerstrand model". *Applied Geography*, 31(2), 668-676. <https://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.12.001>.
- Vicente, F.M. & Azqueta, D. (2020). "Desarrollo de estrategias para la implantación de contratos ambientales en sistemas silvopastorales". *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 19(2), 47-70. <https://dx.doi.org/10.7201/earn.2019.02.03>.
- Wunder, S. (2006). *Pagos por servicios ambientales: principios básicos esenciales*. Jakarta: Centro Internacional de Investigación Forestal - CIFOR, 42. Obtenido de: [https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/OccPapers/OP-42S.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42S.pdf).
- Wünscher, T., Engel, S. & Wunder, S. (2008). "Spatial targeting of payments for environmental services: A tool for boosting conservation benefits". *Ecological Economics*, 65(4), 822-833. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.11.014>.
- Zanella, M., Schleyer, C. & Speelman, S. (2014). "Why do farmers join Payments for Ecosystem Services (PES) schemes? An Assessment of PES water scheme participation in Brazil". *Ecological Economics*, 105, 166-176. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.06.004>.
- Zbinden, S. & Lee, D.R. (2005). "Paying for Environmental Services: An analysis of participation in Costa Rica's PSA program". *World Development*, 33(2), 255-272. <https://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.07.012>.

