UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

Mínima disposición a aceptar de los beneficiarios de pagos por servicios ambientales en áreas y ecosistemas estratégicos con afectación por actividades productivas

Deisy Carolina Remolina Salazar

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Económicas
Bogotá, Colombia
2025

Mínima disposición a aceptar de los beneficiarios de pagos por servicios ambientales en áreas y ecosistemas estratégicos con afectación por actividades productivas

Deisy Carolina Remolina Salazar

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:

Magister en ciencias económicas

Director (a):

Magister en medio ambiente y desarrollo, Carlos Enrique Díaz Reyes

Codirector (a):

PhD en estudios ecológicos, ambientales y rurales, Carmenza Castiblanco Rozo

Línea de Investigación:

Economía Pública y Políticas Públicas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Económicas

Bogotá, Colombia

2025

A mi padre, que me enseñó que trabajar la tierra es un acto de amor, y que cuidar lo que nos rodea es también cuidar de nosotros mismos.

A los campesinos que, como él, cultivan futuro con sus manos y propósito en el corazón.

Y a mi director, por ser el principal motivador para el desarrollo de esta investigación.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi agradecimiento a mi director de tesis, Carlos Enrique Díaz Reyes economista, especialista en derecho tributario y magister en medio ambiente y desarrollo y a mi codirectora, Carmenza Castiblanco Rozo, PhD en estudios ecológicos, ambientales y rurales quienes con su orientación, comentarios y disertaciones fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación. Su compromiso, paciencia y conocimientos han sido una gran guía a lo largo de este proceso, permitiéndome desarrollar cada etapa con claridad y propósito.

Adicionalmente, quiero realizarle un reconocimiento especial al ingeniero Jair Ramírez, un compañero y amigo del ámbito laboral, que fue un apoyo excepcional y una fuente inagotable de inspiración durante el desarrollo de la aplicación. Más allá de su creatividad, carisma y su genuino interés por la programación, como herramienta de automatización y facilitación de procesos, Jair es un apasionado del deporte, un ser humano excepcional, con una energía inagotable y una disposición siempre positiva.

A todos aquellos profesores de la Facultad de Ciencias Económicas, familiares y amigos que, de una u otra manera, han contribuido con su apoyo, conocimiento y motivación, les extiendo mi más sincero agradecimiento.

Resumen

Mínima disposición a aceptar de los beneficiarios de pagos por servicios ambientales en áreas y ecosistemas estratégicos con afectación por actividades productivas

Los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) son un instrumento económico de gestión ambiental que, en Colombia, cuentan con diversas fuentes de financiamiento de origen público, por lo cual, se debe garantizar la eficiencia del gasto público para el logro de los objetivos ambientales; aspecto que se encuentra directamente relacionado con el concepto de mínima Disposición a Aceptar (DA) de la economía ambiental.

El objetivo general de este trabajo es elaborar una subasta experimental inversa que permita determinar empíricamente la mínima DA de los propietarios, poseedores u ocupantes de los predios ubicados en áreas y ecosistemas estratégicos, por adelantar acciones de preservación y/o restauración, teniendo en cuenta el costo de dichas acciones.

La investigación se realiza en un entorno de simulación creado en *Google Colab,* mediante la biblioteca *Gradio*, permitiendo la interacción dinámica y captura de la información en tiempo real de manera anonimizada de los participantes en un diseño experimental.

Se establecen dos fases en la subasta: 1) con costos de preservación y/o restauración son cero; y 2) con costos de preservación y/o restauración positivos. Los participantes toman decisiones estratégicas, en función de variables como el costo de oportunidad, la extensión del terreno disponible y los costos de preservación y/o restauración, buscando maximizar su beneficio económico neto y minimizando el valor de la puja para conseguir los acuerdos de PSA.

Como resultado de aplicación del diseño experimental, se evidencia que, al introducir los costos de conservación en la segunda fase, las pujas aumentan de manera significativa, demostrando que los participantes internalizan estos costos al definir su mínima DA.

En consecuencia, se concluye que que la existencia de costos asociados a las acciones de preservación y/o restauración incrementa significativamente la mínima disposición a aceptar por la suscripción de acuerdos de PSA, confirmando así la hipótesis de la investigación.

Palabras clave: Economía experimental, Pagos por Servicios Ambientales, subasta inglesa inversa**.**

Clasificación JEL: C93, Q5

Abstract

Minimum Willingness to Accept of Beneficiaries of Payments for Environmental Services in Strategic Areas and Ecosystems Affected by Productive Activities

Payments for Environmental Services (PES) are an economic instrument for environmental management that, in Colombia, rely on various sources of public funding. Therefore, the efficiency of public spending must be guaranteed to achieve environmental objectives. This aspect is directly related to the concept of minimum Willingness to Accept (WTA) in environmental economics.

The general objective of this work is to develop an experimental reverse auction that allows for the empirical determination of the minimum WTA for owners, possessors, or occupants of properties located in strategic areas and ecosystems, for carrying out preservation and/or restoration actions, considering the costs of said actions.

The research is conducted in a simulation environment created in Google Colab, using the Gradio library, allowing for dynamic interaction and real-time capture of anonymized information from participants in experimental design.

Two phases are established in the auction: 1) with zero preservation and/or restoration costs; and 2) with positive preservation and/or restoration costs. Participants make strategic decisions based on variables such as opportunity cost, the size of available land, and preservation and/or restoration costs, seeking to maximize their net economic benefit and minimize the bid value to secure PES agreements.

As a result of applying the experimental design, it is evident that when conservation costs are introduced in the second phase, bids increase significantly, demonstrating that participants internalize these costs when defining their minimum AD.

Consequently, it is concluded that the existence of costs associated with preservation and/or restoration actions significantly increases the minimum willingness to accept PES agreements, thus confirming the research hypothesis.

Keywords: Experimental economics, Payments for Environmental Services, reverse English auction

JEL Classification: C93, Q5

Contenido

Resumen

Lista de figuras

Lista de tablas

Lista de Símbolos y abreviaturas

1. Los Pagos por Servicios Ambientales: Una herramienta para la gestión ambiental 23
1.1 Conceptualización de los PSA 23
1.2 Características de los PSA 26
1.3 Principales críticas a los PSA 27
1.4 Las externalidades, el Teorema de Coase y los PSA 28
1.5 Experiencias de implementación de los PSA 30
2. Normativa de los PSA en Colombia 32
3. Teoría de subastas y los PSA 38
3.1 ¿Qué es una subasta? 39
3.2 Tipos de subastas 39
3.3 El modelo de referencia o “Benchmark Model” 41
3.4 Subasta Inversa en la contratación pública en Colombia 42
3.5 Un modelo de subasta como mecanismo de celebración de contratos PSA 44
3.6 Delimitación 45
4. Metodología de la subasta experimental 47
4.1 Diseño de la investigación 47
4.1.1 Tipo de investigación 47
4.1.2 Justificación del diseño 47
4.1.3 Hipótesis 48
4.2 Población y muestra 49
4.2.1 Descripción de la población objetivo 49
4.2.2 Criterios de selección de los participantes 50
4.2.3 Tamaño de la muestra 51
4.3 Procedimiento experimental 52
4.3.1 Descripción del experimento 52
4.3.2 Etapas del experimento 53
4.3.3 Variables del experimento 57
4.3.4 Cálculo del beneficio económico neto 59
4.3.5 Método de elección del ganador 60
4.4 Instrumentos y materiales 61
4.4.1 Software y cuestionario 61
4.4.2 Justificación de los incentivos 61

4.1 Consideraciones éticas 63
4.1.1 Consentimiento informado 64
4.1.2 Protección de datos personales 64
4.1.3 Aprobación por Comité de Ética en Investigación 64
5. Análisis de resultados 65
5.1 Análisis descriptivo 65
5.2 Análisis comparativo beneficio por hectáreas vs pujas realizadas 72
5.3 Validación estadística de la hipótesis 79
5.3.1 Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas 79
5.3.2 Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes 81
6. Conclusiones y recomendaciones 85
6.1 Conclusiones 85
6.2 Recomendaciones 86

A. Anexo A: Mínima disposición a aceptar de un beneficiario de PSA 89

B. Anexo B: Equilibrio de Nash de la subasta (estrategias puras) 91

C. Anexo C: Interfaz de la subasta 95

D. Anexo D: Registro fotográfico 97

E. Anexo E: Documentos éticos y herramientas técnicas. 99

Bibliografía 101

Lista de figuras

Pág.

Figura 1-1: Servicios de los ecosistemas..... 24

Figura 5-1: Distribución de pujas fase 1..... 68

Figura 5-2: Distribución de pujas fase 2..... 68

Figura 5-3: Comparativo de las pujas por fase 69

Figura 5-5: Segmentación de perfiles estratégicos por grupos de las pujas de la fase 1 75

Figura 5-6: Segmentación de perfiles estratégicos predominante por grupos de los jugadores en la fase 2. 76

Tabla 5-7: Correlación global de Spearman entre variables – Fase 1 77

Tabla 5-8: Correlación global de Spearman entre variables – Fase 2 78

Figura C-1: Interfaz del jugador, pestaña 1..... 95

Figura C-2: Interfaz del jugador, pestaña 2..... 95

Figura C-3: Interfaz del jugador, pestaña 3..... 95

Figura C-4: Interfaz del administrador, pestaña 1 96

Figura C-5: Interfaz del administrador, pestaña 2 96

Figura C-7: Interfaz del administrador, pestaña 4 96

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1: Elementos de un PSA para el caso colombiano. 26

Tabla 3-1: Supuestos básicos del Modelo de Referencia. 42

Tabla 4-1: Comparación entre fase 1 y fase 2 de la subasta. 53

Tabla 4-2: Desarrollo de la subasta inversa y determinación del ganador. 55

Tabla 4-3: Distribución de incentivos económicos. 57

Tabla 4-4: Variables dependientes e independientes. 57

Tabla 4-5: Instrumentos y materiales. 61

Tabla 5-1: Composición de jugadores en cada grupo 66

Tabla 5-2: Análisis descriptivo de las pujas realizadas. 66

Tabla 5-3: Análisis descriptivo de beneficio acumulado 69

Tabla 5-4: Clasificación de perfiles estratégicos 74

Tabla 5-5: Clasificación de perfiles estratégicos 77

Tabla 5-6: Transición de perfiles estratégicos 77

Tabla 5-7: Correlación global de Spearman entre variables – Fase 1 77

Tabla 5-8: Correlación global de Spearman entre variables – Fase 2 78

Tabla 5-5: Hipótesis de la prueba Wilcoxon.....80

Tabla 5-6: Resultados prueba Wilcoxon global.....80

Tabla 5-8: Hipótesis de la prueba Kruskal-Wallis.....81

Tabla 5-9: Resultados prueba Kruskal-Wallis 81

Tabla 5-10: Transición de perfiles estratégicos grupo 1 y grupo 4.....**¡Error! Marcador no definido.**

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
SA	Servicio Ambiental
SE	Servicios ecosistémicos
DA	Disposición a aceptar
DP	Disposición a pagar
CPR	Costo de preservación y/o restauración
PSA	Pagos por Servicios Ambientales
EP	Extensión del predio en hectáreas
TE	Tipo de ecosistema

Introducción

En las ciencias económicas, el estudio de la teoría de juegos está estrechamente ligado con las matemáticas y la toma de decisiones estratégicas, donde se busca analizar situaciones denominadas “juegos”, con dos o más jugadores que están en una constate toma de decisiones en función de la información que poseen.

Dentro de este campo de estudio, se ha observado un notable avance sobre teoría de subastas, cobrando importancia en los diseños de mecanismos de asignaciones de bienes o servicios.

La economía experimental cobra un papel clave en este campo, permitiendo probar, empíricamente, los modelos teóricos de las subastas y observando el comportamiento de los agentes en entornos controlados.

Teóricamente, la subasta inversa permite analizar el comportamiento racional de los jugadores y sus estrategias en un entorno competitivo, en el cual, los proveedores de bienes y servicios homologados pujan hacia la baja el precio ofertado durante un determinado tiempo, cumpliendo requisitos previos estipulados en el pliego de condiciones, para llegar a un ganador, tras una puja dinámica, resultado de una elección con el menor precio y a la mayor valorización, maximizando los recursos de quien puso el bien o el servicio a la subasta.

Los Pagos por Servicios Ambientales (PSA) tuvieron su desarrollo en Colombia a partir del siglo XXI, como instrumento para la conservación ambiental, incentivando las acciones de preservación y/o restauración, adelantadas por los propietarios, poseedores y ocupantes de predios ubicados en áreas de ecosistemas estratégicas con afectación de actividades productivas.

Así, a partir del artículo 106 de la Ley 1151 de 2007, el cual modificó el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, se introdujo el concepto de “pago por servicios ambientales” en el

ordenamiento jurídico del país, construyendo, posteriormente, un marco normativo donde se establecen lineamientos para el Programa Nacional de Pagos por Servicios Ambientales (PNPSA), estructurado con base en la teoría económica, pero sin sustento experimental que permita establecer si la mínima Disposición a Aceptar (DA), de los beneficiarios del incentivo por adelantar acciones de preservación y/o restauración en sus predios con afectaciones por actividades productivas corresponde con el beneficio económico neto de las actividades agropecuarias más representativas de la zona o el valor de renta o alquiler de la tierra, tal como lo establece la reglamentación (artículo 2.2.9.8.2.5. del Decreto 1076 de 2015).

Sobre lo anterior, cabe señalar que, con frecuencia, las ciencias económicas llevan las conclusiones derivadas de sus postulados teóricos al mundo real, sin reconocer el grado de abstracción involucrado, fenómeno que ha sido denominado por Whitehead como "falacia de concreción injustificada" (Cobb & Daly, 1993). En este sentido, la norma colombiana parece suponer que la mínima DA de un propietario, poseedor u ocupante de un predio, por destinar dicho predio a la preservación y/o restauración, corresponde con el beneficio económico neto de las actividades agropecuarias realizadas en la zona, sin que se haya hecho ninguna verificación empírica o experimental.

Al respecto, en la normatividad vigente, alusiva a los PSA, el costo asociado al desarrollo de las actividades de preservación y/o restauración no es contemplado como parte del valor del incentivo[1], de manera que su cálculo únicamente corresponde con el beneficio económico neto de las actividades agropecuarias representativas de la zona o el valor de la renta o alquiler de la tierra.

Teniendo en cuenta que, en el caso colombiano, los PSA pueden ser financiados con recursos públicos, establecidos en los artículos 108 y 111 de la Ley 99 de 1993 y 223 de la Ley 1819 de 2016, resulta imperativo garantizar el principio de eficiencia del gasto, de

[1] Durante el desarrollo de esta investigación, se expidió el artículo 224 de la Ley 2294 de 2023 y el Decreto 1998 de 2023, a través de los cuales se crearon tipologías de PSA que sí tienen en cuenta el costo de las acciones de preservación y/o restauración (Incentivo a la Conservación en Áreas de Dominio Público y Pagos por Servicios Ambientales para la Paz). No obstante, la tipología estándar de PSA, establecida en el Decreto Ley 870 de 2017 y el Decreto 1076 de 2015, modificado por el Decreto 1007 de 2018, sigue sin incorporar dicho costo como parte del valor del incentivo.

tal manera que el valor del incentivo corresponda con la mínima DA de los beneficiarios por adelantar las acciones de preservación y/o restauración en sus predios.

Desde la teoría económica, se asume que los agentes, dotados de racionalidad económica, suscribirán acuerdos de preservación y/o restauración que les permitan acceder al incentivo PSA, siempre y cuando la utilidad que obtengan por suscribir estos acuerdos sea mayor o igual a la que obtendrían de utilizar los predios con fines estrictamente productivos.

Lo anterior, corresponde con un criterio de eficiencia individual, en el cual, el individuo busca maximizar su utilidad. A su vez, desde una perspectiva social, los PSA pueden ser eficientes siempre y cuando el costo de las externalidades negativas producidas por las actividades productivas desarrolladas en áreas y ecosistemas estratégicos sea mayor al costo financiero de los esquemas (Quijano, 2018).

Ahora bien, los agentes económicos no necesariamente se comportan bajo principios de racionalidad, dado que los modelos teóricos describen una situación ideal donde los agentes disponen de información completa y no existen externalidades, además de otros supuestos sobre el comportamiento ser humano. Al respecto, el teorema de la imposibilidad de Arrow demuestra que es inapropiado pensar en una decisión racional que englobe preferencias sociales de los todos los integrantes (Arrow, 1953).

La racionalidad económica se incorpora en la economía experimental, donde se analizan las decisiones que los individuos realizan bajo condiciones controladas, en las cuales se evidencia la degradación de la racionalidad económica con la complejidad dinámica donde los sujetos de prueba recurren a heurísticas (Castañeda, Arango, & Olaya, 2009). No obstante, a diferencia de los enfoques puramente teóricos, la economía experimental permite validar si el comportamiento de los individuos, en entornos controlados, se ajusta o no a los axiomas de racionalidad económica.

Respecto a los PSA, incluso si los agentes involucrados actuaran bajo los principios de racionalidad económica, la normatividad colombiana desconoce que el desarrollo de acciones de preservación y/o restauración involucra un costo para los beneficiarios del incentivo, por lo cual, su mínima DA no debería corresponder con la utilidad económica que obtendrían si seguirían usando sus predios para el alquiler o la producción

agropecuaria, sino que debería corresponder con dicha utilidad económica más los costos de las acciones de preservación y/o restauración (ver Anexo A).

Sobre lo anterior, la Sentencia C-644 de 2017, en la cual se efectuó el control de constitucionalidad del Decreto Ley 870 de 2017, “Por el cual se establece el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación”, estableció que los PSA no son un auxilio ni una donación, sino que se reciben como contraprestación que obtienen los beneficiarios por llevar a cabo las acciones tendientes a garantizar la protección y conservación ambiental de un ecosistema específico. Así, la verificación de que los beneficiarios de los PSA hayan realizado las respectivas acciones de preservación y/o restauración es un requisito de rango constitucional para que puedan acceder al incentivo.

Con base en los postulados anteriores, mediante esta investigación se busca determinar la mínima DA de los beneficiarios del incentivo PSA por realizar acciones de preservación y/o restauración de sus predios ubicados en áreas y ecosistemas estratégicos con afectaciones productivas, a través de un diseño de subasta inversa experimental, con formato de sobre cerrado, a una única oferta, que permita evaluar críticamente la metodología para el cálculo del valor del incentivo establecida en el Decreto 1076 de 2015, modificado por el Decreto 1007 de 2018 y realizar las recomendaciones para su modificación.

Teniendo en cuenta que varias investigaciones que se realizan en este campo se sustentan en la economía ecológica, se considera relevante aclarar que esta investigación parte de un enfoque ortodoxo experimental, donde se busca analizar el comportamiento estratégico de los agentes dotados de racionalidad detrás de los acuerdos de PSA en Colombia, bajo condiciones controladas, que permitan enfocar el análisis en el valor del incentivo y su mínima DA.

Frente a lo anterior, si bien se reconoce que los ecosistemas son dinámicos y complejos, influyendo en las valoraciones y decisiones los actores, el objetivo principal de este estudio no es explorar estas transdisciplinariedades.

La hipótesis de investigación es que la mínima DA de los propietarios, poseedores u ocupantes de los predios ubicados en áreas y ecosistemas estratégicos, por adelantar acciones de preservación y/o restauración, es igual al beneficio económico neto de las

actividades agropecuarias representativas de la zona o el valor de renta o alquiler de la tierra, más el costo de las acciones de preservación y/o restauración.

Esta hipótesis se deriva de un análisis matemático simple, en el cual, se determina cuál es el valor del incentivo que igualaría la utilidad del individuo en dos escenarios excluyentes: 1) destinar el predio a la producción agropecuaria; y 2) destinar el predio a un proyecto de PSA (ver Anexo A)[2].

Como resultado de lo anterior, se brindarán recomendaciones que permitan el desarrollo de la reglamentación de los PSA en Colombia. Adicionalmente, esta investigación servirá como referente para analizar la racionalidad económica de los agentes frente a procesos de toma de decisiones relacionados con el uso del suelo, bajo una perspectiva de eficiencia del gasto público.

[2] Cabe señalar que la norma habilita que se reconozcan PSA en sistemas productivos, bajo las directrices reglamentadas por la Resolución 0174 de 2025 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. No obstante, el suponer que los escenarios son excluyentes no demerita la validez de la hipótesis, toda vez que, bajo este mismo supuesto, el literal d) del artículo 5 del Decreto Ley 870 de 2017 establece que: “(…) Para efectos de la estimación del valor del incentivo a reconocer, en dinero o en especie, se tendrá como referente el costo de oportunidad de las actividades productivas representativas que se adelanten en las áreas y ecosistemas estratégicos (…).

1. Los Pagos por Servicios Ambientales: Una herramienta para la gestión ambiental

En esta sección se describen los principales insumos teóricos para el análisis de los PSA, desde un enfoque ortodoxo. Este marco teórico inicia con la revisión de literatura sobre la conceptualización y caracterización alrededor de los PSA; luego, se identifican las criticas principales que han resultado de la discusión sobre esta herramienta; seguidamente, se exponen los fundamentos de la teoría económica que soporta a este instrumento; finalmente, se presentan algunas experiencias sobre implementación de los PSA.

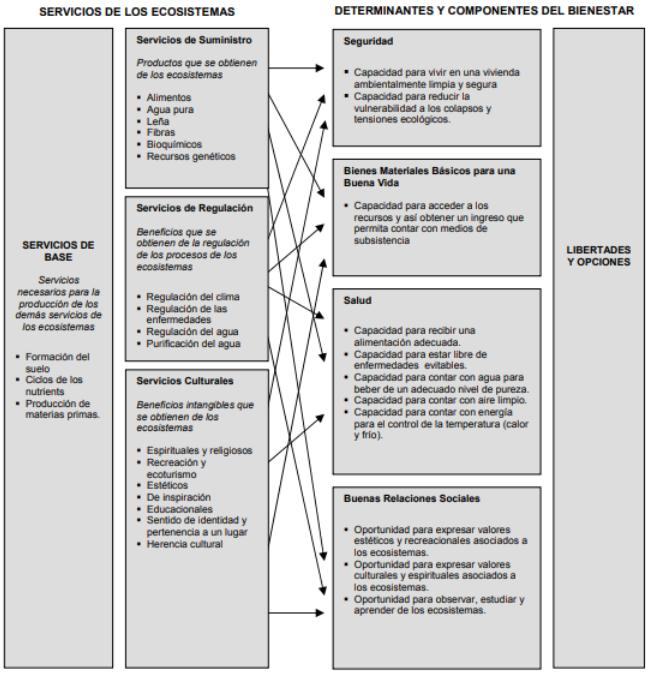
1.1 Conceptualización de los PSA

En la literatura ambiental se identifican dos conceptos que permiten establecer las relaciones económicas entre las personas y la naturaleza: servicios ambientales (SA) y servicios ecosistémicos (SE). La diferencia radica en que los SA dependen de la existencia de una acción antrópica para la prestación del servicio, mientras que los SE son ofrecidos únicamente por acción de la naturaleza, si bien la acción de la naturaleza resulta esencial en ambos casos (Política Nacional para la Gestión integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos).

En el 2000, en el marco de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA), se abordan globalmente las preocupaciones sobre la degradación de los ecosistemas, comenzando a apreciarlos como sistemas complejos y dinámicos entre componente bióticos y abióticos, que interactúan para lograr la unidad funcional y que brindan beneficios aprovechables por los seres humanos. Allí, los servicios ecosistémicos se definieron como aquellos beneficios que proporcionan los ecosistemas a las personas, derivándose los flujos de materia y energía que dejan beneficios de aprovisionamiento (alimentos, agua, leña), de regulación (enfermedades, calidad de agua, clima, inundaciones), de apoyo (suelos, fotosíntesis,

ciclos) y de cultura (beneficios recreativos, estéticos y espirituales), como se esquematiza a continuación.

Figura 1-1: Servicios de los ecosistemas



Fuente: (Ecosistema y Bienestar Humano: Marco para la evaluación, 2019).

El bienestar humano depende de la provisión de servicios de la naturaleza, siendo necesario un equilibrio que garantice el aprovechamiento sustentable de estos servicios. Si este equilibrio es alterado, pueden verse afectados componentes económicos, sociales y culturales, debido que las acciones de los seres humanos impactan en los ecosistemas y su biodiversidad (Percy, y otros, 2005).

Los servicios ecosistémicos también pueden ser concebidos como aquellos beneficios directos que la sociedad obtiene de los ecosistemas y que no necesariamente son transados en el sistema de mercado (Wunder, Wertz Kanounnikoff, & Moreno Sánchez, 2007).

Un estudio análogo: TEEB – Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad, ofreció fundamentos teóricos sobre la comportamiento e interacción de los agentes con el uso del medio ambiente, estableciendo que los SE son un flujo de dividendos que la sociedad

recibe del capital natural y que el mantenimiento de este garantiza un flujo en el futuro (Sukhdev, y otros, 2010).

En cuanto a los SA, estos se caracterizan por ser necesaria la intervención directa del ser humano para su provisión (Karsenty, Dutilly, Biénabe, & François Le Coq, 2016). Al respecto, el mercado no garantiza la provisión socialmente eficiente de los SA, dada la existencia de fallas de mercado, por lo cual, puede llegar a requerirse intervención estatal para garantizar una oferta adecuada de acciones de preservación y/o restauración (suponiendo que no se cumplan los requisitos del teorema de Coase).

En la literatura, se encuentra gran número de definiciones de los PSA, teniendo estas en común que se refieren a este como un instrumento para la gestión ambiental, basado en el otorgamiento de incentivos como contraprestación por el desarrollo de acciones conducentes al mejoramiento de las condiciones ambientales.

Wunder (2005) definió los PSA como una transacción voluntaria, donde un servicio ambiental que esté bien especificado es comprado por al menos un interesado a por lo menos un poseedor, que asegure el suministro del servicio ambiental que se está pactando.

Por su parte, el artículo 4 del Decreto Ley 870 de 2017 define los PSA como el: "...incentivo económico en dinero o en especie que reconocen los interesados de los servicios ambientales a los propietarios, poseedores u ocupantes de buena fe exenta de culpa por las acciones de preservación y/o restauración en áreas y ecosistemas estratégicos, mediante la celebración de acuerdos voluntarios entre los interesados y beneficiarios de los servicios ambientales".

Respecto a la anterior definición, cabe destacar que se entienden como ecosistemas estratégicos aquellos que ofrecen bienes y servicios ambientales satisfaciendo algunas necesidades básicas sociales, como alimento, agua, aire y energía, fundamentales para el desarrollo humano, tales como por ejemplo las lagunas costeras, manglares, arrecifes de coral, ambientes pelágicos entre otros, que tienen como funcionalidad ser depuradores del aíre, agua y suelos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

En términos generales, en Colombia, los PSA son esquemas donde los propietarios, poseedores u ocupantes de los predios con ecosistemas ambientales estratégicos son compensados económicamente por los beneficiarios de los servicios ambientales, ya sea a través de pagos monetarios o en especie.

1.2 Características de los PSA

Wunder (2007) propone una definición de los PSA estrecha, que describe la condicionalidad como la única característica definitoria, evitando los términos comprador-vendedor y vinculando los PSA a externalidades, estando dicha condicionalidad basada en el derecho de terminar un acuerdo (citado en Tacconi, 2012).

Otras características que pueden tener los PSA son que, al menos, dos partes tienen que realizar las transacciones y que una de ellas pueda interrumpir el acuerdo en casos de incumplimiento, lo que debe basarse en algún criterio de desempeño tangible (Revisiting the concept of payments for environmental services, 2015).

Por su parte el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece los siguientes elementos de los PSA, con base en el Decreto Ley 870 de 2017 y el Decreto 1007 de 2018:

Tabla 1-1: Elementos de un PSA para el caso colombiano.

Elementos	**¿A qué se refiere?**
Incentivo	Reconocimiento en dinero o especie del valor económico del servicio ambiental que se está protegiendo, en función al costo de oportunidad para lo que se deberá tener en cuenta una de las siguientes opciones (Decreto 1007, 2018, art. 2.2.9.8.2.5.): Los beneficios económicos netos que generan las actividades productivas agropecuarias más representativas. El valor de la renta o alquiler de la tierra, para las actividades productivas antes señaladas.
Beneficiarios	Propietario de la tierra, poseedor u ocupante de predios o quien en efecto puede tener una incidencia en el uso de la tierra y en donde su conservación, recuperación y/o mantenimiento influya en la calidad y flujo del servicio ambiental que se gestiona para la protección.
Interesados	Autoridades ambientales, entidades territoriales y demás personas públicas, privadas o mixtas que promuevan, diseñen, implementen y financien los proyectos PSA.
Acciones	Acciones de preservación y/o restauración en áreas y ecosistemas estratégicos.

Acuerdos	Documento mediante el cual los interesados llegan a acuerdos contractuales individuales o colectivos para cumplir las acciones de la zona de interés, generando derechos y obligaciones.

Fuente: Elaboración propia con base en Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2022)

Para la caracterización de los PSA, es necesario tener en cuenta las modalidades que estos programas presentan. En Colombia, la norma contempla las siguientes cuatro modalidades: 1) calidad y regulación del agua; 2) conservación de la biodiversidad; 3) reducción y captura de gases de efecto invernadero; y 4) actividades culturales, espirituales y recreativas.

1.3 Principales críticas a los PSA

Los programas de PSA han sido implementados ampliamente en América Latina y el Caribe (ALC), donde se ha alentado a realizar evaluaciones de impacto que muestran que han tenido poco efecto en la deforestación. Al respecto, la efectividad de los PSA depende de que los cambios en el uso de la tierra conduzcan, directamente, a cambios en la prestación de servicios ambientales.

Adicionalmente, dado que los PSA se constituyen como una contraprestación enmarcada en acuerdos de conservación, resulta vital asegurar el seguimiento al cumplimiento de las acciones de preservación y/o restauración en los predios objeto del incentivo, así como su impacto sobre los ecosistemas estratégicos, lo que implica altos costos de transacción y de información.

Otros autores resaltan que los PSA parten de un concepto mercantilista, donde la naturaleza es monetizada y condenada a convertirse en mercancía objeto de propiedad, en lugar de ser valorada por su riqueza no conmensurable, con valor intrínseco (Rincón Ruiz & Nieto, 2018).

Otra crítica a los PSA es su incidencia en la erosión del capital social, por sus efectos distributivos entre los beneficiarios y no beneficiarios de una misma comunidad, lo que, a su vez, afecta la efectividad del instrumento (Pascual et. al., 2014; Engel, 2016). Este problema se ve acentuado por la existencia de instituciones que no garantizan la

representatividad al interior de las comunidades, de tal manera que quienes se ven beneficiados por el incentivo terminan siendo únicamente los más cercanos a los tomadores de decisiones (Muradian, Corbera, Pacual, Kosoy, & May, 2010).

También existen críticas asociadas al desplazamiento de las motivaciones para proteger los ecosistemas, dado que las motivaciones de naturaleza económica pueden desplazar otro tipo de motivaciones (éticas, culturales, afectivas, etc.), generándose así una dependencia en la existencia del incentivo como mecanismo para garantizar el cuidado del entorno natural (Garret, y otros, 2017).

Por otra parte, los PSA son susceptibles a la selección adversa, generando ineficiencias en la asignación de los recursos públicos, al realizarse transacciones que no resulten beneficiosas para las partes (Quijano, 2018).

Finalmente, un problema adicional que puede presentarse cuando en un mercado hay información asimétrica, es el riesgo moral en el marco de los contratos. Así, una vez que se celebre el contrato de PSA, los participantes pueden encontrar incentivos para no realizar las obligaciones establecidas, debido a las dificultades y costos para verificar su cumplimiento (Pattanayak, Wunder, & Ferraro, 2010).

1.4 Las externalidades, el Teorema de Coase y los PSA

Desde la teoría económica, para estudiar los PSA, se debe partir del concepto de externalidades, definidas como un beneficio o perjuicio que genera un agente económico en otro, sin que se le realice un pago o compensación. De tal forma, se hace necesario entender el Teorema de Coase.

Este Teorema fue resultado del trabajo de Ronald Coase de 1960 en su libro “The Problem of Social Cost”. Allí se establece que, en presencia de externalidades, siempre y cuando los derechos de propiedad se encuentren claramente definidos y los costos de transacción sean lo suficientemente bajos, los agentes económicos van a negociar hasta alcanzar situaciones eficientes.

Stigler (1966) formaliza el Teorema de Coase, manifestando que, bajo condiciones de competencia perfecta, donde los costos de transacción son nulos, los costos sociales y los costos privados son idénticos. Por su parte, Calabresi (1968) plantea que, si se asume racionalidad económica, costos de transacción nulos y siempre y cuando no existan barreras legales para la negociación, todas las asignaciones ineficientes terminan por solucionarse.

De acuerdo con Regan (1972), suponiendo competencia perfecta, información perfecta y costos de transacción nulos, las asignaciones de los recursos en la economía serían eficientes. Por su parte, Frech (1979) señala que, al no existir un efecto de la renta sobre la demanda, costos de transacción nulos y siempre y cuando estén claramente determinados los derechos sobre la contaminación, la solución de asignación de los recursos no variaría y sería óptima, alcanzando una asignación eficiente, sin importar los derechos iniciales asignados.

Polinsky (1979) menciona que la estructura de ley no es fundamental ya que, si los costos de transacción son nulos, siempre se alcanzará la eficiencia. Al respecto, Cooter & Ulen (1988) afirmaron que, si las partes interesadas negocian y resuelven sus discrepancias por medio de la cooperación, su comportamiento será eficiente, sin importar la norma legal vigente. Schwab (1988) concuerda con lo anterior, afirmando que el cambio en la norma no afecta la eficiencia de los contratos ni la distribución de la riqueza, siendo esta visión la versión débil del Teorema de Coase, donde se asume que la eficiencia se alcanza por si sola.

Como se puede observar, son diversas las interpretaciones del Teorema de Coase, existiendo divergencias respecto a si la asignación inicial de los derechos afecta o no la asignación final. Sin embargo, un elemento común es que, en presencia de externalidades, siempre y cuando exista posibilidad de negociación entre los agentes económicos, estos podrán alcanzar asignaciones eficientes.

Bajo esta perspectiva, la función del Estado está ligada a definir los derechos de propiedad, garantizar que los costos de transacción sean mínimos y corregir las asimetrías de información, con el fin de que los agentes privados puedan negociar las externalidades hasta alcanzar asignaciones eficientes.

En este contexto, existe una importante diferencia respecto a la forma en que operan los PSA en Colombia, ya que estos acuerdos no surgen a partir de la libre negociación entre actores privados, motivados por su interés económico, sino que el Estado, más allá de definir el marco regulatorio bajo el cual operan los PSA, también se convierte en un actor más dentro de la negociación, aportando directamente recursos financieros y celebrando directamente contratos con los oferentes de servicios ambientales. En principio, lo anterior bastaría para afirmar que la eficiencia económica de los PSA en Colombia no está garantizada, sino que se encuentra condicionada a las políticas y regulaciones específicas que expide el Gobierno Nacional.

1.5 Experiencias de implementación de los PSA

En el Programa Nacional de Pagos por Servicios Ambientales (2021), publicado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se puede observar el gran incremento de acuerdos de PSA celebrados, identificando 550 a nivel mundial, principalmente, en países latinoamericanos como Costa Rica, México y Colombia.

Internacionalmente, Costa Rica es, probablemente, el país pionero en la implementación de los PSA en América Latina, financiados por fuentes públicas, entidades privadas e instituciones internacionales, contando con un amplio marco legal y una estructura nacional que le posibilita su implementación. Los recursos dirigidos a los PSA provienen del recaudo por impuestos al consumo de combustibles y demás hidrocarburos, además de las donaciones. Estos recursos se canalizan a través del Fondo Nacional de Financiamiento Forestal (FONAFIFO).

En México, en aquellas regiones en que se implementaron programas de PSA, se obtuvieron resultados positivos frente a la disminución en los índices de desforestación, respondiendo a cifras de reducción entre 29% a 38% en la tala de árboles. En este país, los recursos son administrados por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Los recursos destinados para los programas son financiados con el cobro por derechos de uso de agua mediante una tasa a nivel nacional establecida en la Ley Federal, al igual que en la experiencia ecuatoriana, con la diferencia de que en Ecuador el cobro es municipal. El dinero es manejado por un fidecomiso y sus rendimientos también se destinan para los

PSA. También se gestionan recursos con entidades privadas y no gubernamentales a través de convenios voluntarios que puede oscilar entre los cinco (5) y quince (15) años (Pagiola, 2019).

En Colombia, se vienen realizando diferentes iniciativas para la conservación de los ecosistemas. En el caso de los PSA, se usa, principalmente, como herramienta para la conservación y mejoramiento del suministro de los recursos hídricos, al igual que en los países mencionados anteriormente, pero también incorpora otras modalidades asociadas a la mitigación del cambio climático, la protección de la biodiversidad y la provisión de servicios espirituales y culturales (Decreto 1007 de 2018).

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2024), el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 definió, para el final del cuatrienio, alcanzar la meta de 300.000 nuevas hectáreas bajo esquemas de Pagos por Servicios Ambientales, logrando, con corte a 31 de diciembre de 2023, un acumulado de 585.662 hectáreas, correspondiente con un incremento de 141.834 hectáreas nuevas bajo esquemas de PSA en el período 2022-2023.

Respecto al monto del incentivo, este se calcula conforme lo disponen el literal d) del artículo 5 del Decreto 870 de 2017 y el artículo 2.2.9.8.2.5. del Decreto 1076 de 2015, modificado por el Decreto 1007 de 2018, con base en el costo de oportunidad, determinado a partir del beneficio económico neto de las actividades agropecuarias más representativas de la zona o el valor de arrendamiento de la tierra.

En cuanto a la financiación, se devenga de diversas fuentes, tales como la destinación obligatoria del 1% de los ingresos anuales de los municipios y departamentos (artículo 111 de la ley 99 de 1993), el recaudo del Impuesto Nacional al Carbono (artículo 223 de la Ley 1819 de 2016), la Tasa por Utilización de Aguas (artículo 43 de la Ley 99 de 1993), las Compensaciones del Componente Biótico (Resolución 256 de 2018) y el mecanismo Obras por Impuestos (artículo 800-1 del Estatuto Tributario), entre otros.

2. Normativa de los PSA en Colombia

En Colombia, la normatividad relacionada con los PSA ha tenido un desarrollo progresivo desde los años setenta, sin embargo, solo se establecieron propiamente a partir de la modificación del artículo 111 de la Ley 99 de 1993, introducida por el artículo 106 de la Ley 1151 de 2007.

El punto de partida dónde se establece las bases para la protección del medio ambiente y los recursos naturales en Colombia puede ser considerado por Ley 23 de 1973, cuyo objetivo es prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente, en aras de la conservación y restauración de recursos renovables.

Posteriormente, con el creciente interés de los gobiernos en la protección del ambiente, se expidió el Decreto Ley 2811 de 1974[3], con el objetivo de lograr la preservación, restauración del ambiente, la conservación, el mejoramiento y uso racional de los recursos naturales renovable, previniendo, a su vez, los efectos nocivos de su explotación. Esta norma se desarrolló como complemento a la Ley 23 de 1973, estableciendo el marco legal integral para la gestión ambiental y el uso sostenible de los recursos naturales en país.

Con la Constitución Política de 1991, se establece el deber del Estado de proteger la integridad y diversidad del medio ambiente, previniendo y controlando las causas de deterioro ambiental, conservando las áreas de ecosistemas estratégicos, y planificando el aprovechamiento sostenible de los servicios ambientales. En el artículo 79, se establece el derecho de todas las personas a un ambiente sano y la obligación del estado a proteger la diversidad y fomentar la protección ambiental, y también garantiza la participación de la comunidad en la toma de decisiones respecto a los asuntos ambientales.

---

[3] Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

La Constitución Política de Colombia (1991) también impone responsabilidades a los ciudadanos, específicamente, en el artículo 95, numeral 8, donde establece que todas las personas tienen el deber de proteger los recursos naturales y contribuir a la conservación de un ambiente sano.

Además, la Constitución reconoce que el desarrollo económico debe estar en armonía con la protección ambiental, estableciendo, en su artículo 333, que la iniciativa privada debe respetar el bien común y medio ambiente. Adicionalmente, en el artículo 334, faculta al Estado para intervenir en la economía y garantizar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

En el contexto de la Carta Política de 1991, con la Ley 99 de 1993, se creó el Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y se estableció la incorporación de los costos ambientales y el uso de herramientas económicas como uno de los principios rectores de la Política Nacional Ambiental, en el numeral 7 de su artículo 1 (Ley 99, 1993).

Con base en lo anterior, los PSA se introdujeron en la normatividad ambiental colombiana con la expedición de la Ley 1151 de 2007[4], cuyo artículo 106 modificó el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, estableciendo que los departamentos y municipios dedicarán un porcentaje no inferior al 1% de sus ingresos corrientes para la adquisición y mantenimiento de dichas zonas o para financiar esquemas de pago por servicios ambientales (antes de la modificación los recursos debían ser empleados únicamente para adquisición de áreas de interés).

Más adelante, a través del CONPES 3850 de 2015, se establecieron los PSA como eje estratégico del desarrollo rural integral sostenible y la conservación del capital natural, definiéndolos como una: *"(…) alternativa económica para la población vulnerable y como factor que contribuye a la conversión agropecuaria, y a la conservación de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos"* (Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES), 2015, pág. 44).

---

[4] *"Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010".*

Dos años más adelante, en el marco del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera, se expidió el Decreto Ley 870[5]. Con esta norma se instauraron las directrices para la implementación y desarrollo de los PSA, basándose, en gran medida, en lo previamente establecido en el Decreto 953 de 2013, el cual reglamentaba el artículo 111 de la Ley 99 de 1993, modificado por el artículo 210 de la Ley 1450 de 2011[6].

Según el artículo 2 del Decreto 870 de 2017, los PSA se materializan a través de acuerdos voluntarios entre el beneficiario y el pagador, donde una de las partes es el beneficiario del servicio ambiental (consistente en una acción de preservación y/o restauración) y la otra parte es el beneficiario del incentivo (en dinero o en especie). Adicionalmente, en el artículo 3, se establece que este mecanismo puede ser financiado con recursos públicos o privados, con el objetivo de promover la sostenibilidad ambiental y garantizar la provisión de los servicios ecosistémicos esenciales, como la regulación del agua, la captura del carbono y la conservación de la biodiversidad.

Posteriormente, se expidió el Decreto 1007 de 2018, el cual reglamentó el nuevo marco legal establecido por el Decreto Ley 870 de 2018, modificando el Decreto 953 de 2013, compilado en el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. En dicho decreto, fueron definidos los componentes generales para el diseño e implementación de los proyectos de PSA y la adquisición y mantenimiento de predios en áreas y ecosistemas estratégicos, según lo establecido en el Decreto Ley 870 de 2017, la Ley 99 de 1993, la Ley 1450 de 2010 y la Ley 1753 de 2015.

Por su parte, mediante el Decreto 1207 de 2018, reglamentario del artículo 164 de la Ley 142 de 1994, se establecieron mecanismos para la inclusión de costos adicionales a los establecidos en las normas ambientales en las tarifas de los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, enfocados a garantizar la protección de cuencas y fuentes de

[5] “Por el cual se establece el Pago por Servicios Ambientales y otros incentivos a la conservación”.
[6] El Decreto 953 de 2013 fue compilado en el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible y, posteriormente, fue modificado por el Decreto 1007 de 2018, por lo cual, no se encuentra vigente.

agua, contemplando dentro de estos costos los incurridos durante la implementación de esquemas de PSA, por parte de los prestadores del servicio de acueducto.

Adicionalmente, el artículo 26 de la Ley 1930 de 2018[7], establece que el 25% del Impuesto Nacional al Carbono se destinará, entre otros fines, a mecanismos como PSA y señala que son un instrumento voluntario de compensación a personas naturales o jurídicas que realicen alguna contribución a la protección del medio ambiente.

La Ley 1955 de 2019[8], facultó a las autoridades ambientales para realizar acuerdos con las comunidades campesinas vulnerables que habiten en áreas protegidas y de las cuales deriven su sustento, con el objeto de contribuir a la atención de los conflictos de uso, ocupación y tenencia que se presenten en estas áreas.

Dos años más tarde, en el 2021, con la expedición de la Ley 2255[9], se modificó el artículo 223 de la Ley 1819 de 2016, por medio del artículo 59, estableciendo que, por un año: *"(..) el 100% del recaudo del Impuesto Nacional al Carbono se destinará al sector medio ambiental para asuntos relacionados con la protección, preservación, restauración y uso sostenible de áreas y ecosistemas estratégicos a través de programas de reforestación y esquemas de Pago por servicios ambientales PSA (...)"*.

Esta destinación sería nuevamente modificada a través del artículo 122 de la Ley 2159 de 2021[10], reduciendo el porcentaje del recaudo del Impuesto Nacional al Carbono destinado a esquemas de PSA (entre otros) al 85%.

Posteriormente, la destinación del Impuesto Nacional al Carbono sería modificada nuevamente a través del artículo 35 de la Ley 2169 de 2021[11], estableciendo que el 50%

---

[7] Por medio de la cual se dictan disposiciones para la gestión integral de los páramos en Colombia.
[8] "Por la cual se expide el Plan Nacional De Desarrollo 2018-2022 Pacto Por Colombia, Pacto Por La Equidad"
[9] "Por medio de la cual Se expide la Ley de Inversión Social y se dictan otras disposiciones"
[10] "Por la cual se decreta el presupuesto de rentas y recursos de capital y ley de apropiaciones para la vigencia fiscal del 10 de enero al 31 de diciembre de 2022".
[11] "Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones".

se destinaría al Fondo Nacional Ambiental, para diversas líneas de inversión ambiental, dentro de las cuales se incluyeron los PSA (Congreso de la República de Colombia, 2021).

El artículo 49 de la Ley 2277 de 2022[12], modificaría nuevamente el artículo 223 de la Ley 1819 de 2016, estableciendo que el 80% del recaudo del Impuesto Nacional al Carbono sería destinado al Fondo para la Sustentabilidad y la Resiliencia Climática[13] y el 20% restante al Programa Nacional Integral de Sustitución de Cultivos de Uso Ilícito, a través del Fondo Colombia en Paz.

Finalmente, el artículo 224 de la ley 2294 de 2023[14], estableció nuevas tipologías de PSA, dentro de las que se incluyen los PSA para la Paz y el Incentivo a la Conservación en Áreas de Dominio Público (ICADP).

El Decreto 1998 de 2023 reglamentó el artículo 224 de la Ley 2294 de 2023, estableciendo las siguientes definiciones:

> *"(…)*
>
> ***Artículo 2.2.9.8.5.6. Pagos por Servicios Ambientales para la Paz.*** *Es el incentivo económico, en dinero o en especie, que reconocen los interesados de los servicios ambientales a las víctimas del conflicto armado, que sean propietarias, poseedoras u ocupantes de buena fe exenta de culpa de predios, en los términos del artículo 6 del Decreto Ley 870 de 2017, en los cuales se realicen acciones de preservación y/o restauración, por parte de los comparecientes ante la Jurisdicción Especial para la Paz, en el marco de trabajos, obras o actividades con contenido restaurador-reparador - TOAR.*

[12] "Por medio de la cual se adopta una reforma tributaria para la igualdad y la justicia social y se dictan otras disposiciones".
[13] Posteriormente, este Fondo sería renombrado como Fondo para la Vida y la Biodiversidad, a través del artículo 196 de la Ley 2294 de 2023, "Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, *Colombia Potencia Mundial de la Vida*".
[14] "Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, *Colombia Potencia Mundial de la Vida*".

(…)

Artículo 2.2.9.8.5.10. Incentivo para la conservación en áreas de dominio público. *Es el incentivo económico, en dinero o en especie, que reconocen los interesados de los servicios ambientales a las comunidades con relación de arraigo territorial y cultural en áreas de dominio público que cuenten con ecosistemas estratégicos, por las acciones de preservación y/o restauración que estas comunidades realicen, previa celebración de acuerdos voluntarios.*

(…)".

Sobre estas tipologías de incentivos, se destaca el hecho que, tal como lo establecen los artículos 2.2.9.8.5.7. y 2.2.9.8.5.11., tanto para los PSA para la Paz como para el ICADP, respectivamente, se reconoce el costo de las acciones de preservación y/o restauración como parte del valor del incentivo.

Al respecto, se señala que, tanto el artículo 224 de la Ley 2293 de 2024 como el Decreto 1998 de 2023, fueron normas expedidas posteriormente al inicio de la presente investigación. No obstante, teniendo en cuenta que el valor del incentivo para los PSA "estándar" sigue dependiendo exclusivamente del costo de oportunidad de las actividades agropecuarias representativas de la zona, de conformidad con el literal d) del artículo 5 del Decreto Ley 870 de 2017 y el artículo 2.2.9.8.2.5. del Decreto 1076 de 2015, modificado por el Decreto 1007 de 2018, no se desvirtúa la pertinencia de la investigación.

3. Teoría de subastas y los PSA.

La teoría económica ha contribuido en la investigación de las subastas. Los profesores estadounidenses Paul Milgrom y Robert Wilson han aportado en la invención de nuevos formatos aplicables en la práctica; en particular, para la asignación de contratos públicos, tales como los relacionados con las telecomunicaciones.

En el campo de la economía y la teoría de juegos, resulta de gran interés estudiar aquellos juegos con información privada, diseñando mecanismos donde los participantes tienen incentivo para comportarse como el diseñador espera, con el fin de contrastar empíricamente las teorías.

Vickey (1961) incursionó en la teoría de juegos basada en el análisis de las subastas, donde los competidores consideran sus estrategias, partiendo todos de una misma situación. Años más tarde, Lanffont (1997) identificó las limitaciones de este enfoque, argumentando que, en determinados casos, las pujas son estocásticamente dependientes. Por otro lado, la decisión de los participantes de la subasta termina siendo condicionada por las especificidades del entorno.

En el 2020, Paul Milgrom y Robert Wilson ganaron el premio de Nobel de economía por realizar aportes a la teoría de subastas. Estos autores desarrollaron nuevos formatos que benefician a todos los involucrados, permitiendo la venta de artículos interrelacionados simultáneamente.

De acuerdo con estos autores, los pujadores racionales tienden a realizar ofertas inferiores a su mejor estimación. Igualmente, minimizaron el efecto de “la maldición del ganador”. Adicionalmente, plantearon una teoría más general de las subastas, la cual admite valores comunes y privados que varían entre los pujadores, estando sometido su comportamiento a la información disponible y la que creen que conocen de los demás participantes.

3.1 ¿Qué es una subasta?

Las subastas son mecanismos de asignación que se han utilizado desde la antigüedad. Desde el Imperio Babilónico, se subastaban esposas (Shubik M. , 1983a) Los antiguos griegos y el Imperio Romano subastaban a los esclavos. Con la Revolución Francesa, se empezó a subastar el arte. Las subastan han venido evolucionando hasta la actualidad, contribuyendo, entre otros aspectos, a hacer más eficientes los procesos de contratación pública (Shubik M. , 1983b).

El término subasta proviene del latín "sub-hasta" (bajo lanza), relacionándose con la venta del botín de guerra que se anunciaba con una lanza (Durá Juez, 2003). Estas son un procedimiento para asignar o vender uno o varios bienes al mejor postor, permitiendo a los interesados efectuar sus ofertas, dejando a la vista su disposición a pagar o aceptar. Teóricamente, las subastas son una institución de mercado que expone un conjunto de reglas para determinar la asignación de recursos y precios, basados en las pujas realizadas por los participantes (Mc Afee & McMillan, 1987).

De acuerdo con lo anterior, las subastas forman juegos relacionados con una venta organizada de un bien o servicio, en la que los compradores compiten con información que puede ser incompleta o completa y donde el objetivo es maximizar las ganancias de la asignación, por lo que los interesados se ven obligados a revelar su valoración.

3.2 Tipos de subastas

Para revisar qué modalidades de subastas existen y en qué consisten, a continuación, se presentan las formas de subastas más conocidas den la actualidad. La siguiente tabla está basada en diversas fuentes como (Wilson, 2001), (McAfee, McMillan, & Reny, 2007), (Krishna, 2009), (Ye & Bulfin, 2007):

Tabla 3-1: Tipos de subastas

Tipo de Subasta	Dirección del Precio	Método de Oferta	Criterio de Asignación	Características Principales
Subasta Inglesa o Ascendente	Ascendente	Pujas abiertas	Última puja más alta	Los participantes conocen las ofertas de su competencia y pueden modificar su oferta mientras siga abierta la subasta. Durante la subasta inglesa las pujas revelan información sobre las valoraciones del bien o servicio subastado.
Subasta Holandesa o Descendente	Descendente	Pujas abiertas	Primera oferta aceptada	En este tipo de subasta el precio máximo de salida se fija desde el inicio por el subastador, permitiendo que los interesados lo conozcan. El subastador reduce el precio progresivamente hasta que un comprador acepta.
Subasta Japonesa	Ascendente	Pujas abiertas	Última puja más alta	Los compradores se retiran a medida que el precio sube. El ganador es el último que permanezca habilitado en la subasta y es el precio vigente que paga por el bien.
Subasta de Primer Precio	Única oferta	Sobre cerrado	Puja más alta	Los participantes presentan una única oferta por escrito sin conocer las de la demás decidida al mismo tiempo.
Subasta Vickrey o de Segundo Precio	Única oferta	Sobre cerrado	Puja más alta, pero paga la segunda más alta	El ganador paga el segundo precio más alto, incentivando ofertas reales. La estrategia de este tipo de subasta conduce a que los compradores ofrezcan el verdadero valor del bien subastado, porque se paga el valor inmediatamente inferior. Aunque en la práctica este tipo de subasta son poco frecuentes, en literatura son bastante estudiadas.
Subasta Inglesa en Reversa	Descendente	Pujas abiertas	Puja más baja	Los vendedores compiten reduciendo precios hasta obtener la oferta más baja.
Subasta ingles en reversa	Descendente	Pujas abiertas	Última puja más baja	En esta variante de la subasta inglesa ascendente, el comprador que ingresa a la subasta es el que indica las especificaciones del hecho subastado y se asigna como ganador el vendedor que realice la oferta de menor precio.
Subasta Holandesa en Reversa	Descendente	Pujas abiertas	Puja más baja	Es una variante de la subasta holandesa donde el comprador es el que específica el precio máximo del bien o servicio que desea obtener como oferta inicial y los vendedores compiten ofreciendo el menor precio posible al que están dispuestos a vender.

Fuente: Elaboración propia, con base en Wilson, 2001; McAfee, McMillan, & Reny, 2007; Krishna, 2009; y Ye & Bulfin, 2007.

Independientemente del tipo de subasta, para garantizar el buen funcionamiento es necesario diseñar mecanismos de control de acceso que faciliten cumplir las reglas, garantizar el anonimato de la información, las reglas de cierre, las restricciones en el monto de las pujas y la seguridad para evitar fraudes.

3.3 El modelo de referencia o “Benchmark Model”

Cuando se estudia la teoría de subasta, resulta indispensable tener claros los fundamentos del modelo de referencia, siendo el más popular en la teoría de subastas. En gran parte, la literatura ha evolucionado a partir de este modelo, modificando o relajando algunos de sus supuestos.

Este modelo es de información incompleta (juegos bayesianos), donde el jugador o comprador solo conoce información sobre la valoración que él mismo le da al objeto subastado, pero desconoce las valoraciones de los demás participantes. Ante esta situación, el jugador realiza suposiciones sobre el valor que aplican los demás al bien, sin tener conocimiento de cómo realizarán las pujas para pronosticarlas.

Los juegos con información incompleta pueden ser complicados de modelizar, sin embargo, la propuesta de (Harsanyi J., 1967) permite modelarlos, planteando que, a los juegos estáticos con información incompleta, se les adiciona una etapa inicial “ficticia” en el que el azar o la naturaleza determina el tipo de jugadores y solo se le revela a cada uno. El resto de los participantes solo tiene información sobre la distribución de probabilidades, con el supuesto de que todos los jugadores tienen las mismas creencias sobre la distribución de probabilidades del resto.

En el caso de los diseños de subastas con información incompleta, los tipos de compradores vienen dados por las posibles valoraciones que llegarán a tener del bien, de manera que la estrategia no sería una única puja, sino que estaría constituida por una función en la que la puja depende de la valoración. Luego de conocer su valoración, el jugador realizaría su puja concreta a partir de dicha función. Esto es meramente un artificio teórico, dado que en la realidad solo se puede observar la puja de cada participante y no la función de la que teóricamente resultó.

Los supuestos básicos que “Modelo de Referencia” (‘Benchmark Model’) en la Teoría de Subastas son los siguientes descritos en la tabla 3-2:

Tabla 3-1: Supuestos básicos del Modelo de Referencia**.**

Supuestos	Descripción
Compradores simétricos	Esta simetría se refiere a la misma distribución de probabilidad, pero no implica que las valoraciones de los jugadores sean idénticas. De manera que, antes de iniciar la subasta, el subastador percibe de la misma manera a todos los compradores.
Compradores neutrales al riesgo	Los compradores tienen funciones de utilidad del dinero lineales, de manera que buscan que su máxima utilidad esperada sea equivalente a la máxima ganancia esperada.
Valoraciones independientes privadas	El comprador conoce con exactitud su valoración sobre el bien o servicio subastado, de manera que no existe información relevante que pueda afectar su valoración que sea desconocida por él.
Los pagos son una función únicamente de las pujas	En el diseño de la subasta, el vendedor o subastador solo puede hacer que los posibles pagos realizados por los compradores dependan de las pujas presentadas, excluyendo la posibilidad de establecer pagos en función de variables que luego de la celebración de la subasta aporten indicios sobre el valor del bien para el comprador.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Subasta Inversa en la contratación pública en Colombia

En Colombia existe un caso particular en la contratación pública, donde se utiliza un modelo de subasta, para la asignación de los contratos destinados a cumplir funciones administrativas.

En este contexto, la normatividad está regida bajo el artículo 3 de la Ley 80 de 1993, señalando que, con la asignación y ejecución de contratos, las entidades buscan el cumplimiento de los fines estatales, bajo una continua prestación de servicios públicos y

haciendo efectivos de los derechos de los administrados, sobre un panorama política reguladora, incentivando la competencia del Estado.

Para incorporar conceptos de eficiencia y trasparencia, se expidió la Ley 1150 de 2007, junto con otras disposiciones sobre la contratación pública. En su artículo 2, numeral 2, se dispone a la modalidad de selección objetiva a contratar en los casos que, por las características del objeto a contratar, se pueden adelantar procesos simplificados, garantizando la eficiencia de la gestión.

Adicionalmente, el Gobierno Nacional, mediante la expedición del Decreto 006 de 2008, de conformidad con lo establecido en su artículo 2, establece las modalidades de selección en la contratación. En el artículo 18, se define la subasta inversa para la adquisición de bienes y servicios de características técnicas uniformes y de común utilización, definiéndose de la siguiente manera:

> "Una subasta inversa es una puja dinámica efectuada presencial o electrónicamente, mediante la reducción sucesiva de precios durante un tiempo determinado, de conformidad con las reglas previstas en el presente decreto y en los respectivos pliegos de condiciones." (Decreto 006, 2008).

Este modelo de subasta se fundamenta en la libre competencia, establecida en el artículo 333 de la Constitución Política de Colombia, el cual señala que: "La libre competencia económica es un derecho de todos que supone responsabilidades", donde el Estado deberá impedir que se obstruya la libertad económica.

Frente al procedimiento de la subasta inversa presencial, el artículo 25 del Decreto 006 de 2008 establece que se debe desarrollar en audiencia pública con las siguientes reglas:

> *"a) La entidad abrirá los sobres con las ofertas iniciales de precio y comunicará a los participantes en la audiencia cuál fue la menor de ellas.*
>
> *b) La entidad otorgará a los proponentes un término común señalado en los pliegos de condiciones para hacer un lance que mejore la menor de las ofertas iniciales de precio a que se refiere el literal anterior.*
>
> *c) Los proponentes harán su lance utilizando los sobres y los formularios suministrados*

d) Un funcionario de la entidad recogerá los sobres cerrados de todos los participantes.

e) La entidad registrará los lances válidos y los ordenará descendentemente. Con base en este orden, dará a conocer únicamente el menor precio ofertado.

f) Los proponentes que no presentaron un lance válido no podrán seguir presentándolos durante la subasta.

g) La entidad repetirá el procedimiento descrito en los anteriores literales, en tantas rondas como sea necesario, hasta que no se reciba ningún lance que mejore el menor precio ofertado en la ronda anterior.

h) Una vez adjudicado el contrato, la entidad hará público el resultado del certamen incluyendo la identidad de los proponentes." (Decreto 066 de 2008).

Posteriormente, con el Decreto 0734 de 2012, se compila la reglamentación en materia contratación de la Administración Pública. Con su implementación, se buscó darle un giro institucional a la contratación con recursos públicos para enfrentar los procesos fraudulentos de selección.

3.5 Un modelo de subasta como mecanismo de celebración de contratos PSA

Teniendo en cuenta que en el planteamiento del problema de la presente investigación se identifica una insuficiencia en la metodología definida por la norma colombiana para determinar el valor del incentivo PSA, al no tener en cuenta los costos en los que incurren los beneficiarios del incentivo por realizar las acciones de preservación y/o restauración, resulta pertinente el análisis experimental mediante una subasta inversa, ya que este diseño permite que los agentes revelen su mínima DA, sin que sea necesario determinar exógenamente la ecuación que la determina (como pretende hacer la normatividad colombiana).

En general, es posible afirmar que el mecanismo de subasta garantiza asignaciones eficientes, de tal manera que el ganador de la subasta es el que realiza la puja más beneficiosa para el oferente. En el caso de los PSA, un mecanismo de subasta diseñado a la inversa resulta útil para identificar empíricamente la mínima DA de los beneficiarios del incentivo, lo que aseguraría el menor costo posible.

Este aspecto es especialmente relevante, teniendo en cuenta que las entidades del Estado son, en muchos casos, las interesadas en los servicios ambientales y, por lo tanto, quienes financian los PSA con recursos públicos. Igualmente, una subasta inversa permitiría validar, empíricamente, si la metodología establecida en el Decreto 1007 de 2018 coincide, efectivamente, con la mínima DA de los beneficiarios del incentivo.

Para efectos del desarrollo de las reglas de este mecanismo de subasta, se utiliza como referente la definición normativa del concepto, toda vez que se busca generar aportes para el desarrollo de la reglamentación existente en Colombia sobre PSA.

Al respecto, cabe señalar que una particularidad de los PSA, en el contexto colombiano, es que los acuerdos de preservación y/o restauración y los pagos en dinero o en especie no surgen propiamente de la negociación voluntaria y descentralizada entre agentes económicos dotados de racionalidad económica, sino que existen fuentes de recursos públicos claramente definidas en la norma, las cuales financian los esquemas públicos de PSA, en los cuales, las autoridades ambientales y demás entidades estatales son las que representan los intereses colectivos en los procesos de negociación con los propietarios, poseedores y ocupantes de predios ubicados en áreas y ecosistemas estratégicos.

Así, por lo general, el valor del incentivo se calcula *ex ante*, en el marco de la formulación de los respectivos proyectos, con base en las directrices establecidas por la norma, pero no surge como parte de un proceso de negociación entre privados (negociación coasiana) y ni siquiera como un proceso de subasta pública.

3.6 Delimitación

Para la aplicación de un PSA, se deben tener en cuenta elementos tales como el servicio ambiental deseado, la DA de los beneficiarios del incentivo, la Disposición a Pagar (DP)

de los beneficiarios del servicio ambiental, los mecanismos de negociación, el contexto socioeconómico de los actores, las condiciones institucionales, entre otros.

En lo que concierne al modelo de gestión de los PSA, se encuentra, en primer lugar, un esquema público, donde el Estado es el representante de los interesados en los servicios ambientales, utilizando recursos derivados de impuestos, tasas, contribuciones, multas y donaciones, como instrumentos de financiamiento para sufragar los pagos a los propietarios, poseedores u ocupantes de áreas donde se prestan los servicios ambientales demandados.

En segundo lugar, se encuentran los esquemas privados, donde la gestión y financiamiento está a cargo de los interesados en los servicios ambientales, quienes acuerdan pagos de incentivos a los propietarios, poseedores u ocupantes de los predios que proveen servicios ambientales demandados, en cumplimento de un contrato directo sin o con mínima intervención del Estado.

Finalmente, posible concebir un modelo de gestión basado en el mercado, pero regulado por el Estado, en donde los participantes son agentes privados y en donde se realiza un intercambio abierto de acuerdos o contratos entre los oferentes y los demandantes de los servicios ambientales. En este modelo, el papel de Estado se limita a fijar estándares de calidad y regulación, dejando la negociación del valor del incentivo a los involucrados (Armas, y otros, 2009).

4. Metodología de la subasta experimental

La elección del diseño experimental de subasta inversa responde a la necesidad de contrastar la metodología establecida por la normatividad vigente en Colombia (Decreto 1076 de 2015), la cual establece las reglas para el cálculo del valor del incentivo sin considerar los costos de preservación y/o restauración, con una estimación empírica basada en decisiones estratégicas de los participantes en un experimento. De este modo, se busca analizar el impacto que tiene la información sobre los costos de preservación y/o restauración en la determinación de la DA.

El diseño metodológico se fundamenta en la normatividad vigente, el teorema de Coase y la teoría de subastas, permitiendo evaluar el comportamiento estratégico de los participantes en un escenario de competencia, donde cada jugador debe decidir la mínima cantidad de incentivo que aceptarían para destinar el uso del suelo en parte de su predio a acciones de conservación, en el marco de un acuerdo voluntario de PSA.

4.1 Diseño de la investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental, a través del desarrollo de subastas inversas simuladas en un entorno controlado, para analizar cómo los participantes toman decisiones estratégicas bajo dos niveles de información sobre los costos por acceder a realizar un acuerdo de PSA.

4.1.2 Justificación del diseño

El experimento de subasta inversa se estructura en dos fases:

- **Fase 1:** Los costos de preservación y/o restauración son cero; es decir, dentro de la información del jugador no se consideran los costos de preservación y/o restauración; es decir, solo se asigna el costo de oportunidad por hectárea de su predio.

- **Fase 2:** Se introduce la información sobre costos de preservación y/o restauración, dentro de las condiciones del jugador; es decir, el jugador deberá considerar dentro de su estrategia el costo de oportunidad y el costo por realizar actividades de preservación y/o restauración.

De esta forma, la implementación de las dos fases permite comparar cómo la existencia de costos de preservación y/o restauración modifica las decisiones de los jugadores y su mínima DA, lo que permitirá analizar si hay algún cambio en sus estrategias y validar la hipótesis de la investigación.

4.1.3 Hipótesis

El diseño metodológico parte de la siguiente hipótesis:

H_0: La mínima Disposición a Aceptar (DA) por adelantar acciones de preservación y/o restauración en predios ubicados en ecosistemas estratégicos es igual al beneficio económico neto de las actividades agropecuarias representativas de la zona o al valor de renta o alquiler de la tierra, sin incluir los costos de preservación y/o restauración, como lo establece la normatividad vigente.

H_1: La mínima Disposición a Aceptar (DA) por adelantar acciones de preservación y/o restauración en predios ubicados en ecosistemas estratégicos es mayor a la establecida en la normatividad vigente, dado que los propietarios, poseedores u ocupantes de los predios consideran, además del beneficio económico neto de las

actividades agropecuarias o el valor de renta o alquiler de la tierra, los costos de preservación y/o restauración en su decisión de aceptar un incentivo[15].

4.2 Población y muestra

4.2.1 Descripción de la población objetivo

El experimento está dirigido a la población mayor de edad de la Universidad Nacional de Colombia, perteneciente a distintas carreras académicas de pregrado y posgrado, seleccionados mediante una convocatoria abierta y participación voluntaria. Esta elección responde a criterios metodológicos, logísticos y presupuestales, que permitieron garantizar la viabilidad de la implementación del experimento dentro de los recursos disponibles.

La elección de esta población, independientemente de su perfil de formación, permite llegar a mayor población y evitar costos adicionales de transporte y logística, ya que los participantes pueden transportarse fácilmente dentro de las instalaciones de la Universidad para asistir a la sesión programada.

Como no todos los participantes cuentan con formación específica en economía o teoría de subastas, se implementaron acciones orientadas a garantizar que todos comprendieran a cabalidad la dinámica de la subasta inversa. Para ello, se desarrolló una sesión de inducción de una hora antes de la implementación del ejercicio experimental, con material didáctico y simulaciones previas, mitigando los posibles sesgos derivados de las diferencias en la formación académica y permitiendo que los resultados reflejen con mayor precisión el impacto de la información sobre los costos de preservación y/o restauración sobre la toma de decisiones.

Cabe aclarar que este enfoque metodológico no busca analizar las diferencias en la mínima disposición a aceptar (DA) entre grupos poblacionales o comunidades específicas (como campesinos, comunidades étnicas o actores rurales), sino evaluar si, bajo condiciones controladas y reglas claras de participación, las decisiones de los participantes

[15] Esta es la hipótesis de la presente investigación.

incorporan de manera racional los costos de preservación y/o restauración, con base en la estimación de la mínima DA.

Así, lo que se analiza, es si, dado que existan las condiciones para que las personas actúen de forma económicamente racional, la reglamentación de los PSA en Colombia refleja adecuadamente o no la mínima DA; más no las diferencias en la mínima DA que expresan los diferentes grupos poblacionales, sin perjuicio de que esto pueda llegar a ser objeto de análisis en futuras investigaciones.

La selección inicial de este grupo objetivo permite establecer un primer análisis controlado, en el que se minimizan factores externos que podrían afectar la interpretación de los resultados, como diferencias en la comprensión de los incentivos económicos y las estrategias de subasta. Esta orientación metodológica facilita la identificación de los efectos clave de la información sobre costos de preservación y/o restauración en la determinación de la DA.

Además, esta metodología puede ampliarse a otros diseños experimentales, incorporando nuevas variables de análisis, según los objetivos específicos de futuras investigaciones. Esto permitiría explorar, por ejemplo, cómo factores como la experiencia previa en mercados de preservación y/o restauración, la percepción del riesgo o la confianza en las instituciones, o las variables poblacionales, influyen en la toma de decisiones dentro de un esquema de subasta inversa de PSA.

4.2.2 Criterios de selección de los participantes

La selección de los participantes en el experimento se realizó bajo los siguientes requisitos:

- Estudiantes de la Universidad Nacional con mayoría de edad.
- Participar en la sesión de capacitación, una hora antes de la implementación del experimento.
- Acceso a un computador o celular con Internet.

- Participación voluntaria, garantizando compromiso y seguimiento a las reglas del experimento.
- No haber participado previamente en la investigación: evitando sesgos de aprendizaje previo.

4.2.3 Tamaño de la muestra

La escogencia del tamaño muestral se fundamentó en criterios prácticos, considerando tanto la necesidad de controlar las variables experimentales como las limitaciones económicas para la implementación.

Se optó por una muestra total de 60 participantes, distribuidos en cuatro grupos de 15 individuos cada uno, seleccionados a través de una convocatorio a la población estudiantil mayor de edad de la Universidad Nacional sede Bogotá.

Con el objetivo de mitigar la deserción, además del otorgamiento de incentivos económicos, se realizó un protocolo de comunicación integral (recordatorios previos, avisos informativos y seguimiento), desde el pre-registro de los participantes.

Descontando las deserciones, la muestra definitiva fue de 50 participantes, distribuidos en cuatro grupos de aplicación, según la disponibilidad.

La división en cuatro grupos no solo facilita el manejo de la dinámica experimental, sino que también permite realizar comparaciones intergrupales. Adicionalmente, con el fin de controlar variables de tiempo y lugar, se realizó la aplicación del experimento a la misma hora y en el mismo salón. Para cada uno de los cuatro días, se utilizaron las mismas instrucciones, materiales y métodos de inducción, para garantizar que todos los participantes comprendan la dinámica del experimento de la misma manera, sin importar el día en que participen.

Respecto a la técnica de muestreo utilizada, aunque existen métodos cuantitativos para calcular el tamaño óptimo de la muestra, como la fórmula de Cochran (1977) y las correcciones para poblaciones que son finitas propuesto por Kish (1965), estos son métodos orientados a investigaciones que necesitan una representatividad estadística para generalizar los resultados.

En este caso, la prioridad es tener el control de las variables y diseño experimental, de manera que se utiliza un muestreo no probabilístico por conveniencia. Este enfoque se alinea con la literatura de la economía experimental, que respalda el uso de muestras más pequeñas cuando se diseñan experimentos controlados para evaluar el comportamiento estratégico (Camerer, 2003).

En resumen, la muestra de 50 participantes activos, organizada en cuatro grupos de control, fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico, fundamentado en criterios de accesibilidad, viabilidad logística y restricciones presupuestales. Esta estrategia asegura que las condiciones de cada grupo faciliten la interpretación de los resultados dentro de un marco controlado y replicable.

4.3 Procedimiento experimental

El procedimiento del experimento ha sido diseñado para garantizar el control de las variables, asegurar la validez interna y externa del estudio, así como permitir la recolección de los datos precisos sobre el comportamiento estratégico de los participantes en la subasta inversa.

Para el experimento, se desarrolló una aplicación que realiza las funciones de la subasta inversa, elaborada en *Google Colab*, utilizando la interfaz *Gradio*, que permite la interacción de los participantes en tiempo real y el registro automático de sus decisiones (ver Anexos H y J).

4.3.1 Descripción del experimento

El experimento consiste en una subasta inversa, donde los participantes representan a los propietarios, poseedores u ocupantes de predios ubicados en áreas y ecosistemas estratégicos con afectación por actividades productivas y deben decidir cuál es la DA para destinar el uso del suelo en parte de su predio a acciones de conservación, en el marco de un acuerdo voluntario de PSA.

El objetivo es analizar la evolución de las estrategias de puja de los participantes, a medida que se les revela información clave sobre los costos de preservación y/o restauración y así estimar la mínima DA de los beneficiarios de PSA en áreas y ecosistemas estratégicos con afectación por actividades productivas. Para ello, la subasta se estructuró en dos fases, que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-1: Comparación entre fase 1 y fase 2 de la subasta.

Fase	Condiciones de Información	Variables generadas en la ronda
Fase 1	Los costos de preservación y/o restauración son cero. Asigna un costo de oportunidad (CO) según la rentabilidad agropecuaria de su predio.	CO: Rentabilidad agropecuaria por hectárea. EP_{PSA}: Extensión de tierra en hectáreas ofertada para conservación. TE : Tipo de ecosistema de la ronda, Páramo, Bosque o Sabana $EP_{Jugador}$: Extensión de tierra en hectáreas según el predio asignado al jugador en la ronda.
Fase 2	Los costos de preservación y/o restauración son positivos. Asigna tanto el costo de oportunidad (CO) como el costo de preservación y/o restauración (CPR).	CO: Rentabilidad agropecuaria por hectárea. EP_{PSA}: Extensión de tierra en hectáreas ofertada para conservación. TE : Tipo de ecosistema de la ronda, Páramo, Bosque o Sabana. $EP_{Jugador}$: Extensión de tierra en hectáreas según el predio asignado al jugador en la ronda. CPR: Costo de preservación y/o restauración.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Etapas del experimento

El desarrollo del experimento se dividió en cuatro etapas, asegurando que todos los participantes comprendan la dinámica y que la recolección de datos se realice de manera estructurada.

Reclutamiento de los participantes

El reclutamiento de participantes se llevó a cabo en la Universidad Nacional de Colombia, dirigido, específicamente, a estudiantes con mayoría de edad. El proceso de selección siguió los criterios establecidos en la Sección 4.2.2.

Se realizó una convocatoria a través de redes sociales (Facebook, Instagram y WhatsApp), donde existan grupos de la Universidad, con la promesa de otorgar incentivos económicos, para aumentar la motivación de los participantes.

La inscripción al experimento se realizó por medio de un formulario de *Google*, difundido por medio de una ficha publicitaria enviada adjunta al mensaje de invitación, la cual muestra el objetivo del experimento y los incentivos económicos por la participación (ver Anexo D).

Luego de la inscripción, se envió un mensaje de confirmación al participante seleccionado para participar en la subasta inversa experimental y se otorgó el acceso a un canal de comunicación vía WhatsApp, según el grupo elegido.

Presentación de instrucciones

Antes de iniciar el experimento, los participantes recibieron instrucciones detalladas sobre la dinámica de la subasta y el uso de la plataforma digital.

El proceso de inducción incluye:

- Material informativo y didáctico con las reglas del experimento con ejemplos prácticos.
- Presentación de la interfaz de la aplicación por medio de imágenes, explicando el registro de pujas y beneficio económico neto, así como las demás variables que se asignan a cada participante.
- Sesión de prueba, donde los participantes podrán interactuar con la plataforma antes de la subasta real, en una simulación del ejercicio de dos rondas por fase.
- Espacio para resolver inquietudes.

Durante esta etapa, se enfatizó que el experimento no evalúa conocimientos previos, sino estrategias de decisión en un contexto económico específico de la subasta.

Desarrollo de la subasta

El experimento se estructura en dos fases, cada una compuesta por 20 rondas. En cada ronda, se generan nuevas condiciones para los jugadores y un acuerdo de preservación y/o restauración, los cuales los participantes deberán evaluar para formular su puja en la subasta inversa, revelando su DA para suscribir el acuerdo.

Cada participante recibe un ID de registro único, el cual lo identifica como jugador dentro del experimento. A partir de ello, los jugadores deberán realizar las siguientes acciones que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-2: Desarrollo de la subasta inversa y determinación del ganador.

Etapa	Acción	Descripción
1. Asignación de jugador	Registro en la plataforma	Se asigna a cada participante un ID único.
2. Recepción de condiciones	Variables individuales	Cada jugador recibe datos sobre su beneficio económico neto de las actividades agropecuarias, tipo de ecosistema y extensión de su predio.
3. Evaluación del acuerdo de conservación	Análisis del PSA	Se presenta un acuerdo de conservación con la extensión requerida en hectáreas y el tipo de ecosistema.
4. Registro de la puja	Decisión del jugador	El jugador ingresa una puja. Solo se consideran válidas las pujas de los jugadores cuyo tipo de ecosistema corresponda con el requerido. Lo anterior, con el fin de restringir el número de participantes en cada ronda y así controlar el efecto de aquellos cuya estrategia consista en maximizar el número de acuerdos suscritos y no sus beneficios.
5. Registro de la puja	Confirmación de decisión	La plataforma valida y almacena la puja en la base de datos del experimento.
6. Cierre de ronda	Verificación	Una vez que todos los jugadores han enviado su puja, se avanza a la siguiente ronda.
6. Beneficio económico neto obtenido	Muestra el beneficio económico neto obtenido al jugador	Para cada jugador, el beneficio económico neto (BEN) en una ronda se calcula de la siguiente forma: Si el jugador presentó la puja válida más baja en la ronda, recibe el valor de la puja multiplicado por la extensión requerida en hectáreas, más el valor remanente de hectáreas multiplicado por el beneficio económico neto que le corresponda. Si el jugador no presentó la puja más baja en la ronda, recibe el beneficio económico neto que le corresponda, multiplicado por el número de hectáreas de su predio.
7. Cálculo puntaje de ronda	Se muestra tabla de	Al final de cada ronda, se presentan las posiciones de los jugadores, en función de los beneficios acumulados en cada una de las rondas.

Etapa	Acción	Descripción
	posiciones de la ronda	Con el fin de minimizar el factor suerte, el código del *software* que asigna las variables está diseñado de tal manera que, a pesar de que cada jugador reciba un beneficio económico neto y un número de hectáreas aleatorio en cada ronda, luego de las veinte (20) rondas, todos los jugadores recibirán el mismo beneficio total. Así, al final de cada fase, el ganador será aquel que logre obtener los acuerdos más ventajosos (aquel que maximice la diferencia entre el valor de la puja y el beneficio económico neto en los respectivos acuerdos asignados).
8. Siguiente ronda	Nueva ronda y nuevas condiciones generadas	Se reinicia el algoritmo desde el paso tres (3).
9. Determinación del ganador	Evaluación final	El jugador con el mayor beneficio acumulado es declarado ganador de la fase. Ya que existen dos fases, hay dos ganadores, uno por cada una de ellas. Al finalizar cada fase, se informa a los participantes los resultados. De igual manera, al finalizar el experimento, se otorgan los incentivos económicos a los participantes.
10. Entrega de incentivos	Premio al mejor desempeño	Todos los participantes reciben un incentivo económico de 10.000 COP por culminar la aplicación del experimento. Adicionalmente, se otorga un incentivo económico al ganador de cada fase, de la siguiente forma: Fase 1: 50.000 COP Fase 2: 100.000 COP Se otorga una recompensa más grande en la Fase 2, con el fin de atenuar el factor agotamiento e incentivar a que los jugadores permanezcan hasta el final del experimento. En caso de empate en rondas o al finalizar alguna fase de la subasta, la selección del ganador se realiza de manera aleatoria y automática por el *software*.

Fuente: Elaboración propia.

Implementación de incentivos económicos

El sistema de incentivos económicos está diseñado para reforzar la participación de los jugadores y estimular acciones estratégicas en subastas inversas. Los participantes son distribuidos en cuatro grupos de cincuenta y 55 jugadores cada uno, para un total de 220 participantes. Durante el experimento, se asignarán incentivos en dos momentos clave, como se muestra en la siguiente tabla de referencia:

Tabla 4-3: Distribución de incentivos económicos.

Grupo	Cantidad de participantes	Incentivo Fase 1 (COP)	Incentivo Fase 2 (COP)	Incentivo Total (COP)
Ganadores del grupo 1	14	50.000	100.000	150.000
Ganadores del grupo 2	15	50.000	100.000	150.000
Ganadores del grupo 3	12	50.000	100.000	150.000
Ganadores del grupo 4	9	50.000	100.000	150.000
Compensación por participación	-	10.000 cada persona		500.000
Total	50	-	-	**1.100.000**

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Variables del experimento

El experimento comprende una variable dependiente y cuatro variables independientes, las cuales, influyen en la toma de decisiones de los participantes dentro de la subasta inversa.

Tabla 4-4: Variables dependientes e independientes.

Variable	Tipo	Definición	Valores Esperados	Relación con la DA
Disposición a Aceptar (DA)	Dependiente	Mínima cantidad de dinero que un jugador está dispuesto a aceptar para destinar el uso del suelo en parte de su predio a acciones de conservación, en el marco de un acuerdo voluntario de PSA. La unidad de medida son pesos colombianos.	Se espera que aumente en la Fase 2, cuando se introduce la información sobre preservación y/o restauración.	Principal variable de análisis. Se mide a través de la puja realizada por cada jugador.

Variable	Tipo	Definición	Valores Esperados	Relación con la DA
		La mínima DA corresponde con la puja válida más baja realizada en cada ronda.		
Costo de Oportunidad (CO)	Independiente	Representa el beneficio económico neto de las actividades agropecuarias que el jugador obtiene por cada hectárea de su predio que no está bajo un acuerdo de PSA. La unidad de medida son pesos colombianos.	Se espera que, a mayor CO, mayor sea la DA. Jugadores con predios más rentables exigirán incentivos más altos.	Positiva (↑CO → ↑DA)
Costo de preservación y/o restauración (CPR):	Independiente	Costos adicionales que el jugador debe asumir por realizar actividades de preservación y/o restauración en su predio. Se introduce en la Fase 2.	En la Fase 1, el CPR es cero. En la Fase 2, se espera que la DA aumente debido a la carga adicional de costos de preservación y/o restauración.	Positiva (↑CPR → ↑DA)
Extensión del Predio ($EP_{Jugador}$)	Independiente	Superficie de tierra del propietario disponible para realizar acuerdos de PSA. El software controla que la extensión requerida en cada ronda sea inferior al tamaño del predio de los jugadores, con el fin de que no se genere una restricción en la participación asociada a esta variable. Esta variable se mide en hectáreas. Y es asignada aleatoriamente entre 50 y 100 hectáreas.	Suponiendo la racionalidad económica de los jugadores, no se espera que esta variable guarde relación con la DA. No obstante, se incluye como variable complementaria, con el fin de incrementar la información que los jugadores deben procesar en cada ronda (dificultad).	N/A
Tipo de Ecosistema (TE)	Independiente	Clasificación ecológica del predio, con tres categorías: Páramo, Sabana y Bosque.	Tiene un efecto indirecto en la DA, al afectar los costos de preservación y/o restauración.	Positiva a través de la variable CPR (↑CPR → ↑DA)

Variable	Tipo	Definición	Valores Esperados	Relación con la DA
		El diseño experimental define los costos de las acciones de preservación y/o restauración, en función del tipo de ecosistema: - Páramo → 800.000 COP - Sabana → 400.000 COP - Bosque → 600.000 COP Variable adimensional.	Esta variable se incluye con el fin de restringir el número de jugadores en cada ronda y así controlar el impacto de aquellos cuya estrategia consista en maximizar el número de acuerdos suscritos y no sus beneficios.	

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Cálculo del beneficio económico neto

El beneficio económico neto (BEN) es el valor monetario que resulta de la diferencia entre los ingresos y los costos totales incurridos en una actividad económica. Representa la ganancia o pérdida total que un participante obtiene al decidir ofertar parte de su predio en un acuerdo de PSA. Este cálculo es fundamental en la subasta inversa, ya que permite evaluar si la compensación obtenida por el PSA es suficiente para cubrir la pérdida de ingresos agropecuarios y los costos de preservación y/o restauración.

El beneficio económico neto (BEN) en una ronda se calcula como una función condicional, de la siguiente manera:

- **Si el jugador obtiene la menor puja de la ronda:**

$$BEN = \left(CO * \left(EP_{\,Jugador} - EP_{PSA}\right)\right) + (Puja_{realizada} * EP_{PSA}) - (CPR * EP_{PSA}) \qquad (4.3)$$

Dónde:

- CO: Representa el beneficio económico neto de las actividades agropecuarias que el jugador obtiene por cada hectárea de su predio que no está bajo acuerdos de PSA.

- $EP_{\,Jugador}$: Es la extensión total del predio asignado del jugador.

- EP_{PSA}: Extensión del predio del jugador bajo acuerdos de PSA.

- $Puja_{realizada}$: Corresponde con el valor de la puja realizada por el jugador. Tiene un valor de cero (0) cuando la puja válida realizada por el jugador no es la más baja de la ronda.

- CPR: Costos adicionales asumidos por el jugador al realizar actividades preservación y/o restauración. Tiene un valor de cero en la Fase 1. En la Fase 2 su valor depende del tipo de ecosistema.

- **Si el jugador no obtiene la menor puja de la ronda:**

$$BEN = \left(CO * \left(EP_{Jugador}\right)\right) \tag{4.4}$$

4.3.5 Método de elección del ganador

Cada jugador obtiene un beneficio económico, expresado en pesos, en cada ronda, calculado con base en las ecuaciones presentadas en la sección anterior.

Al final de cada ronda, se presentan los beneficios acumulados a través de las rondas, para cada uno de los jugadores, de mayor a menor beneficio, con el fin de que puedan obtener retroalimentación sobre su desempeño y ajustar sus estrategias.

El *software* controla el factor suerte, haciendo que, en ausencia de acuerdos de PSA, el beneficio acumulado a lo largo de las veinte (20) rondas sea el mismo para todos los jugadores, de tal manera que, las diferencias en las posiciones, al final de cada fase, dependerán de la capacidad de cada jugador para maximizar la diferencia entre el valor de las pujas realizadas y el beneficio económico correspondiente; castigando, a su vez, a aquellos jugadores que realicen pujas por debajo del beneficio que obtendrían en caso de no realizar acuerdos de PSA.

En caso de presentarse empate durante las rondas de la subasta, la asignación del acuerdo PSA se realizará de manera aleatoria entre los jugadores empatados. Del mismo modo, si al finalizar la fase de subasta hay más de un jugador en primer lugar, el ganador de la fase será elegido aleatoriamente. Este mecanismo está integrado en el *software* de la subasta, de manera que se elige automáticamente.

4.4 Instrumentos y materiales

4.4.1 Software y cuestionario

El experimento se desarrolla en un aula física, con ayuda de una aplicación desarrollada para la subasta, utilizando herramientas de programación y visualización que permiten la interacción en tiempo real de los participantes y el registro automatizado de sus decisiones (ver Anexo I). La plataforma principal está basada en *Google Colab*, con una interfaz de usuario construida con *Gradio* (ver Anexos H y J).

Para complementar la información cuantitativa obtenida en la subasta, se aplica un cuestionario estructurado después del experimento, con el objetivo de evaluar la percepción de los participantes en relación con la dinámica de la subasta y los incentivos económicos. Este cuestionario es diligenciado de manera voluntaria.

Tabla 4-5: Instrumentos y materiales.

Herramienta	Uso en el Experimento
Cuestionario de inscripción en *Google Forms*	Facilita la inscripción y su manifestación de interés por participar en la subasta inversa experimental. Enviado adjunto en la pieza publicitaria divulgada por el correo institucional por medio de los actores encargados de divulgación. Se realizan algunas preguntas sobre el nivel de conocimiento previo de los participantes sobre subastas, economía experimental y esquemas de PSA.
Interfaz de subasta	Facilita la interacción de los jugadores con el sistema, permitiéndoles ingresar sus pujas y visualizar sus resultados. Desarrollada en *Google Colab* por medio de la librería *Gradio*.
Google Drive	Guarda los resultados del experimento y asegura la disponibilidad de los datos. Se consolidarán en tiempo real a medida que se va ejecutando la subasta.
Encuesta Post-Experimento en *Google Forms*	Mide la percepción general de los jugadores respecto a la dinámica del experimento, el impacto de la información en sus decisiones y su experiencia con la interfaz de la subasta.

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Justificación de los incentivos

La implementación de incentivos en la economía experimental es fundamental para garantizar los comportamientos estratégicos de los participantes, especialmente, los monetarios. Los incentivos tienen el objetivo de replicar las condiciones del mundo real,

motivando a los participantes a comportarse de manera estratégica, similar a como lo harían fuera del entorno experimental.

En la teoría de incentivos, se postula que los individuos responden a recompensas y castigos, ajustando su comportamiento, para maximizar sus beneficios particulares. Por consiguiente, ofrecer incentivos monetarios alienta a los participantes a esforzarse y tomar decisiones reflexivas, ya que sus ganancias dependen directamente de su desempeño. Esta relación entre incentivos y comportamiento de los participantes ha sido ampliamente estudiada en la literatura económica (González, 2017).

La aversión al riesgo es otro concepto clave al estudiar las conductas de las personas en contexto económico. Este concepto se refiere a la tendencia de los individuos a preferir opciones seguras sobre aquellas con resultados inciertos, incluso si la opción riesgosa podría ofrecer un mayor beneficio esperado. Al incorporar incentivos monetarios en los experimentos, es posible observar y medir cómo la aversión al riesgo influye en la toma de decisiones, proporcionando una comprensión de las preferencias individuales (Aguado Franco, 2023).

Así mismo, la teoría de juegos analiza cómo los individuos toman decisiones estratégicas en situaciones donde el resultado depende de las acciones de otros. En ese sentido, las subastas son un campo donde la economía experimental y la teoría de juegos interactúan de manera directa, permitiendo probar si las estrategias que utilizan los participantes siguen la predicción teórica. Esto permite estudiar comportamientos como la cooperación, la competencia y la negociación en un entorno controlado (Matus López & Rodríguez Modroño, 2012).

Para este estudio, se emplean dos tipos principales de incentivos:

- **Incentivos basados en el desempeño:** Los ganadores de cada fase, en cada grupo, reciben recompensas monetarias específicas (50.000 COP en la Fase 1 y 100.000 COP en la Fase 2). Se otorga una recompensa más grande en la Fase 2, con el fin de atenuar el factor agotamiento e incentivar a que los jugadores permanezcan hasta el final del experimento.

- **Incentivos fijos por participación**: Todos los participantes reciben 10.000 COP por su participación, independientemente de su desempeño. Este incentivo asegura una compensación básica, reconociendo el tiempo y esfuerzo dedicados al experimento.

Los incentivos basados en el desempeño fomentan un mayor compromiso y dedicación por parte de los participantes, ya que sus ganancias están directamente relacionadas con su rendimiento en el experimento. En concreto, los incentivos fijos garantizan que incluso aquellos que no obtengan los mejores resultados se sientan valorados y compensados, reduciendo la probabilidad de abandono.

Diversos estudios han demostrado la eficacia de los incentivos monetarios en experimentos económicos. Por ejemplo, investigaciones han encontrado que la introducción de pagos basados en el rendimiento puede influir significativamente en las decisiones de los participantes, reflejando comportamientos más alineados con situaciones reales (Melo Becerra, 2020). Se ha observado que la ausencia de incentivos puede llevar a una menor implicación y esfuerzo por parte de los sujetos, comprometiendo la validez de los resultados obtenidos.

En resumen, la utilización de incentivos monetarios en este experimento no solo busca motivar a los participantes, sino también garantizar la calidad y aplicabilidad de los datos recolectados para futuros análisis en el ámbito de la economía experimental.

4.1 Consideraciones éticas

La integridad ética es fundamental en cualquier investigación científica, especialmente, cuando involucra la participación humana. En este estudio de subastas experimentales, se han implementado medidas para garantizar el respeto y la protección de los derechos y el bienestar de todos los participantes. Para ello, se establecen protocolos de consentimiento informado, protección de datos personales, aprobación ética y estrategias para garantizar la replicabilidad y transparencia del estudio.

4.1.1 Consentimiento informado

Antes de iniciar el experimento, se proporciona a cada participante información detallada sobre los objetivos, procedimientos, posibles riesgos y beneficios por su participación en el experimento. Este proceso asegura que los individuos comprendan plenamente su participación y puedan tomar una decisión informada y de manera voluntaria. Se enfatiza que la participación es completamente voluntaria y que los participantes tienen el derecho de retirarse en cualquier momento sin repercusiones negativas. Este enfoque está alineado con las directrices del comité ético de la Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad Nacional de Colombia.

4.1.2 Protección de datos personales

La confidencialidad y privacidad de la información de los participantes son prioritarias. Se implementarán protocolos estrictos para garantizar que los datos recopilados sean anónimos y se almacenen de manera segura. Solo el equipo de investigación autorizado tendrá acceso a esta información, que se utilizará exclusivamente con fines científicos. Además, se cumplirán todas Ley 1581 de 2012[16], asegurando que la identidad de los participantes permanezca confidencial.

4.1.3 Aprobación por Comité de Ética en Investigación

El protocolo de este estudio ha sido evaluado y aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Ciencias Económicas (FCE) de la Universidad Nacional de Colombia, que ha revisado detalladamente el diseño experimental, los procedimientos y las medidas de protección para los participantes. Esta aprobación garantiza que el estudio cumple con los estándares de investigación responsable y ética.

[16] Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales.

5. Análisis de resultados

En esta sección se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de la aplicación del experimento.

Cada grupo contó con un número diferente de jugadores quienes participaron en rondas sucesivas presentando sus ofertas (pujas) para suscribir un acuerdo de PSA en su predio. Las condiciones asignadas de los jugadores fue información privada y en cada ronda se le asignaba a cada jugador un predio distinto junto a su beneficio por hectárea.

Este análisis contempla pruebas estadísticas no paramétricas, debido al tamaño reducido de las muestras. Adicionalmente, se realiza un examen de comportamientos diversos o atípicos de los jugadores y se analiza la coherencia económica de las pujas realizadas frente a los beneficios asignados por las actividades productivas desarrolladas. Igualmente, se evalúa la eficiencia económica de cada grupo experimental. Finalmente, este análisis permite contrastar empíricamente la hipótesis planteada en la investigación, aportando evidencia sobre los efectos de los costos asociados a la preservación y/o restauración en la mínima DA.

5.1 Análisis descriptivo

El experimento se implementó en cuatro grupos, los cuales se denominaron como “Grupo 1”, “Grupo 2”, “Grupo 3” y “Grupo 4”.

En el trascurso de los días previos a la aplicación, por diferentes razones (personales, logísticas o de disponibilidad), varios participantes de los diferentes grupos no asistieron, reduciendo así el número final de participantes activos en cada grupo.

En la siguiente tabla, se muestra la información de participantes que realizaron el experimento en cada grupo, para un total de 2.000 registros para el análisis:

Tabla 5-1: Composición de jugadores en cada grupo

Grupo	Participantes	Registros
Grupo 1	14	560
Grupo 2	15	600
Grupo 3	12	480
Grupo 4	9	360
Total	**50**	**2000**

Fuente: Elaboración propia.

Cada jugador realizó una puja por ronda, durante 20 rondas por fase (dos fases). Las diferencias en el número de registros entre grupos obedecen al tamaño de la muestra (jugadores por cada grupo).

A continuación, se presentan las medidas descriptivas principales de las pujas que realizaron los jugadores en cada grupo, diferenciando los resultados entre fases.

Tabla 5-2: Análisis descriptivo de las pujas realizadas

Grupo	1		2		3		4	
Fase	**Fase 1**	**Fase 2**	**Fase 1**	**Fase 2**	**Fase 1**	**Fase 2**	**Fase 1**	**Fase 2**
Count	257	277	275	297	214	233	160	179
Mean	253,000	814,452	264,887	858,251	259,106	872,525	266,577	878,572
Std	168,762	289,968	175,761	287,030	163,934	271,071	172,555	343,391
Min	0	4,803	834	4,877	1,917	7,758	696	16,136
25%	111,673	628,338	127,130	703,886	122,391	721,853	133,408	665,653
50%	244,294	843,220	242,356	869,813	253,370	898,018	247,637	913,767
75%	376,783	1,015,279	383,612	1,052,584	372,918	1,053,904	361,224	1,111,696
max.	707,518	1,564,787	809,038	1,614,968	752,271	1,444,564	773,955	1,663,240

Fuente: Elaboración propia. Herramienta Python. Cifras en pesos colombianos

Como se observa en la Tabla 5-2, respecto al número de pujas, no todos los participantes realizaron ofertas en todas las rondas de cada fase. En ciertas ocasiones, optaron por abstenerse de realizar pujas, conservando así el beneficio económico neto derivado de sus actividades productivas.

En cuando a la medida de tendencia central, se evidencia un incremento sustancial en el valor promedio de las pujas, al pasar de la Fase 1 a la Fase 2, en todos los grupos. Este resultado es consistente con la hipótesis, al introducir los costos en la Fase 2.

Por ejemplo, en el “Grupo 1”, el valor promedio de la puja pasó de 253,000 COP por hectárea en la Fase 1 a 813,452 COP por hectárea en la Fase 2. En el “Grupo 2”, se incrementó de 264,887 COP a 858,251 COP. Los demás grupos muestran resultados similares, incrementando la media en la Fase 2, lo que permite corroborar la adaptación de las estrategias por pujas por frente a la presencia de costos de preservación y/o restauración positivos.

Al observar la desviación estándar, esta aumenta significativamente en la Fase 2, para todos los grupos. Este comportamiento sugiere que la visibilidad de los costos asociados a la preservación y/o restauración introduce mayor heterogeneidad en las decisiones de los jugadores, generando estrategias de pujas más variadas y menos predecibles.

Con respecto a las medidas de percentiles (25% 50% y 75%), estas muestran que la distribución de las pujas es asimétrica, especialmente, en la Fase 2, donde el valor de la mediana y el percentil 75% se encuentra considerablemente alejados del mínimo, lo que indica que un parte considerable de los jugadores mantuvieron estrategias muy cercanas o por encima de su beneficio neto por hectárea.

Por otro lado, el valor mínimo de las pujas en la Fase 1 presenta casos extremos, con pujas iguales a cero o muy cercanas a cero, perteneciente a un jugador del “Grupo 1”, que realizó estas pujas en la ronda uno y dos de la Fase 1. El jugador fue aumentando sus pujas hasta igualar su beneficio económico por hectárea o incluso por debajo de este, maximizando el número de acuerdos suscritos, pero ajustando progresivamente su estrategia para minimizar sus pérdidas.

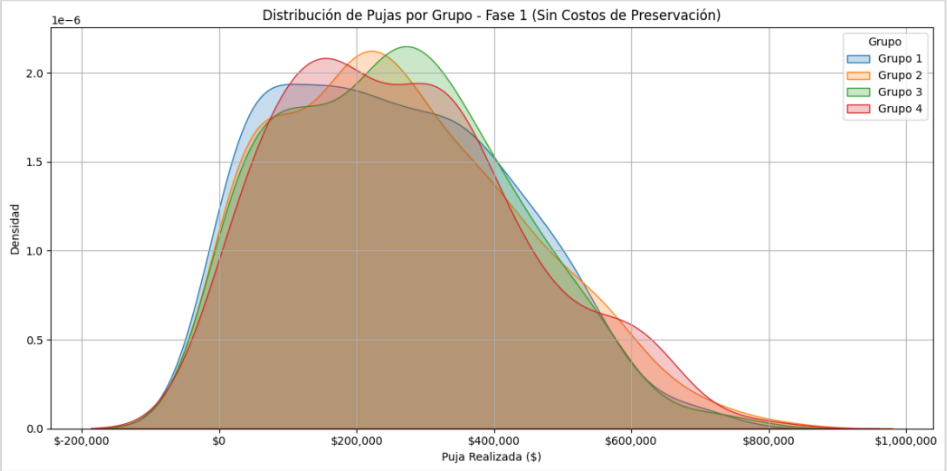
Respecto a la estrategia de este jugador, si bien las pujas inferiores al beneficio económico por hectárea podrían considerarse “irracionales”, desde la perspectiva económica, durante el diseño se anticipó la existencia de esta estrategia, consistente en la búsqueda de la maximización del número de acuerdos suscritos y no de los beneficios, con la consecuente introducción de la variable Tipo de Ecosistema (TE), la cual limita la participación de los jugadores en las rondas.

También es de considerar que el “Grupo 4” presenta los valores más altos promedio en ambas fases, situación que puede explicarse por la menor cantidad de jugadores, lo cual,

potencialmente, reduce la competencia directa y permite estrategias de pujas más elevadas, sin comprometer la probabilidad de éxito.

Complementariamente, en las Figura 5-1 y Figura 5-2, se puede observar la distribución de las pujas realizadas por grupos en cada fase.

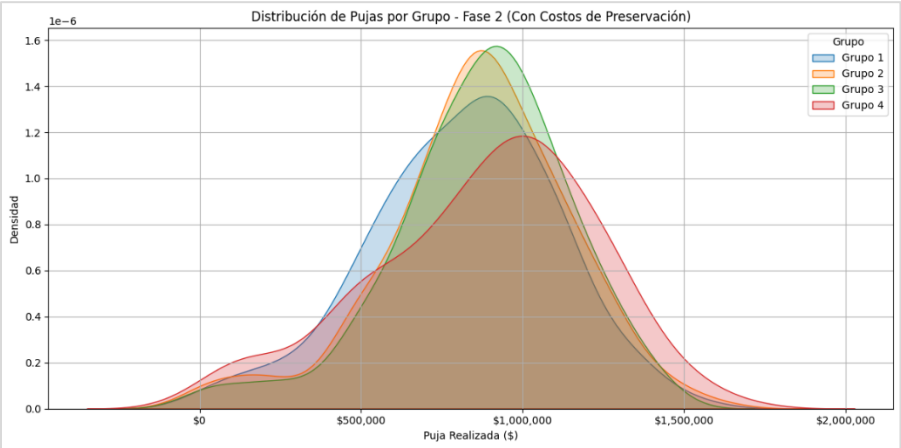
Figura 5-1: Distribución de pujas fase 1



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-1 se observa mayor concentración de las pujas en valores bajos, en ausencia de costos de preservación o restauración.

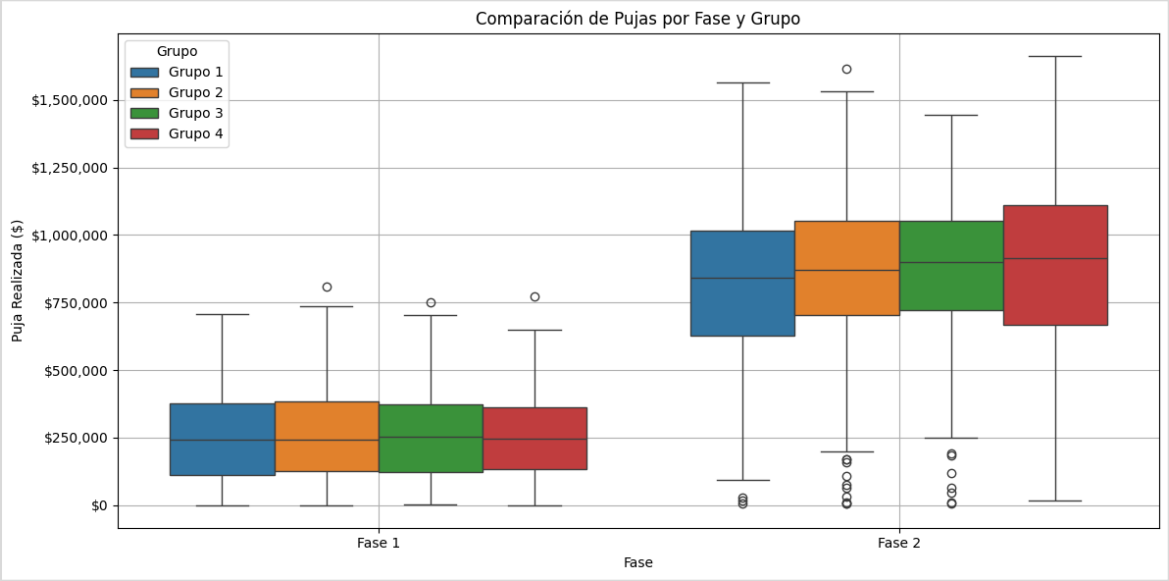
Figura 5-2: Distribución de pujas fase 2



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-2 se observa un desplazamiento considerable de las distribuciones hacia valores más altos, al incorporar costos de preservación y/o restauración. También se observa un mayor rango de dispersión, especialmente, en el grupo 4.

Figura 5-3: Comparativo de las pujas por fase



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5-3 permite la comparación directa de la distribución de las pujas en los cuatro grupos, evidenciando un comportamiento claramente diferente entre las fases. Esto refleja el ajuste de las estratégicas de los jugadores en la Fase 2, al incorporar el costo que se debía asumir al suscribir el acuerdo de PSA.

Adicionalmente, se evidencia la mayor dispersión de pujas en la Fase 2, así como la aparición de valores atípicos, especialmente, en los grupos 2 y 3, lo cual sugiere la existencia de comportamientos heterogéneos y estrategias individuales diferenciadas, relacionadas con las percepciones de riesgo o búsqueda de maximización de ingresos.

En la Tabla 5-3 se presenta la estadística descriptiva del beneficio neto acumulado por los jugadores en cada uno de los grupos, en cada una de las fases.

Tabla 5-3: Análisis descriptivo de beneficio acumulado

Grupo	**1**		**2**		**3**		**4**	
Fase	**Fase 1**	**Fase 2**	**Fase 1**	**Fase 2**	**Fase 1**	**Fase 2**	**Fase 1**	**Fase 2**
Count	280	280	300	300	240	240	180	180

Grupo	1		2		3		4	
Fase	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2	Fase 1	Fase 2
Mean	186,821,152	187,017,001	185,462,568	185,063,455	179,948,514	179,175,438	188,707,875	187,815,592
Std	102,830,875	102,607,850	102,033,362	101,792,062	102,707,815	102,186,434	103,292,422	102,807,123
Min	2,321,211	2,411,335	331,491	326,668	433,769	428,050	1,365,559	1,352,483
25%	99,374,857	101,410,846	96,288,429	96,252,375	91,301,575	91,322,190	96,951,870	96,768,590
50%	184,141,008	184,036,496	183,085,977	182,805,194	175,752,429	172,694,717	195,825,564	193,986,917
75%	273,884,987	274,787,607	275,981,128	275,849,768	264,277,813	264,313,480	277,681,895	275,541,975
Max	353,777,537	350,225,177	354,303,653	350,113,441	362,632,157	350,449,375	359,397,988	352,890,543

Fuente: Elaboración propia, herramienta Python. Cifras en pesos colombianos.

En primer lugar, es importante señalar que, a diferencia de las pujas realizadas, donde se observó un incremento significativo de los valores en la Fase 2, respondiendo a los costos incorporados, los resultados del beneficio económicos muestran mayor estabilidad, resultando en que los valores promedio son similares entre las dos fases dentro de cada grupo.

Lo anterior, puede ser explicado por el diseño experimental, donde el beneficio económico asignado, al final de todas las rondas, depende del tamaño del predio y del beneficio por hectárea, variando únicamente en caso de que el jugador suscribiera un acuerdo de PSA, al realizar la puja mínima en la ronda. En todos los grupos, los promedios de beneficios netos acumulados se encuentran en un rango de 179 y 188 millones de pesos.

En segundo lugar, en cuanto a la dispersión, las desviaciones estándar se mantienen constantes y elevadas en todos los grupos y fases, reflejando las diferencias en las condiciones asignadas a cada jugador (tamaño de predio y beneficio por hectárea).

Al igual que con la convergencia del promedio del beneficio en los diferentes grupos y fases, este resultado puede ser explicado por el diseño experimental, siendo posible reducir la dispersión de los datos al controlar las funciones de aleatorización de los datos.

En tercer lugar, el valor mínimo del beneficio económico evidencia la existencia de estrategias basadas en pujas muy agresivas, incluso por debajo del beneficio económico neto por hectárea.

En cuarto lugar, los valores máximos superaron los 350 millones de pesos en todos los grupos y fases, reflejando la existencia de jugadores que acumularon altos beneficios al

largo de la ronda, realizando pujas por encima de su beneficio por hectárea y logrando suscribir algún acuerdo de PSA a lo largo de las rondas.

Respecto a lo anterior, con base en los análisis teóricos presentados en los anexos, se espera que los ganadores de cada ronda hayan suscrito por lo menos un acuerdo, realizando pujas superiores a su beneficio económico por hectárea en la Fase 1; y a su beneficio económico por hectárea más el costo de las acciones de preservación y/o restauración en la Fase 2[17].

En quinto lugar, las medidas de posición muestran una distribución estable del beneficio económico neto acumulado en cada grupo, sin variaciones importantes entre las fases, lo que sugiere que la introducción de los costos de preservación y/o restauración no afectó de manera significativa el beneficio acumulado por jugador, lo cual, como se mencionó anteriormente, puede ser explicado por el diseño del experimento.

Estos hallazgos revelan matices comportamentales. La transición de estrategias en la Fase 1, donde predominan pujas mínimas levemente superiores al beneficio por hectárea para asegurar rentabilidad inmediata, hacia comportamientos más complejos en la Fase 2, con pujas elevadas y dispersas, sugiere que los jugadores internalizaron progresivamente los incentivos económicos introducidos (aprendizaje).

Este aprendizaje táctico podría interpretarse como una racionalización adaptativa, donde los jugadores van ajustando sus decisiones sobre su mínima DA, al balancear costos, competencia y beneficios esperados.

Finalmente, un aspecto destacable de este análisis descriptivo es la heterogeneidad estratégica observada en la Fase 2. Mientras que algunos jugadores priorizaron cubrir los costos de preservación y/o restauración mediante pujas altas y estables en primeras rondas, otros optaron por estrategias variables, probando umbrales de rentabilidad o respondiendo a señales competitivas en las rondas. Esta divergencia plantea interrogantes

[17] El equilibrio de Nash del juego en estrategias puras sería que, para la Fase 1, cada jugador puje un valor igual a su beneficio económico neto por hectárea; y, para la Fase 2, que su puja iguale a la suma entre el beneficio económico neto por hectárea más el costo de las acciones de preservación y/o restauración (ver Anexo B). No obstante, el experimento se diseñó de tal manera que un jugador que siga esta estrategia obtenga el mismo beneficio que uno que no realice ninguna puja, con el fin de incentivar a los participantes a asumir riesgos.

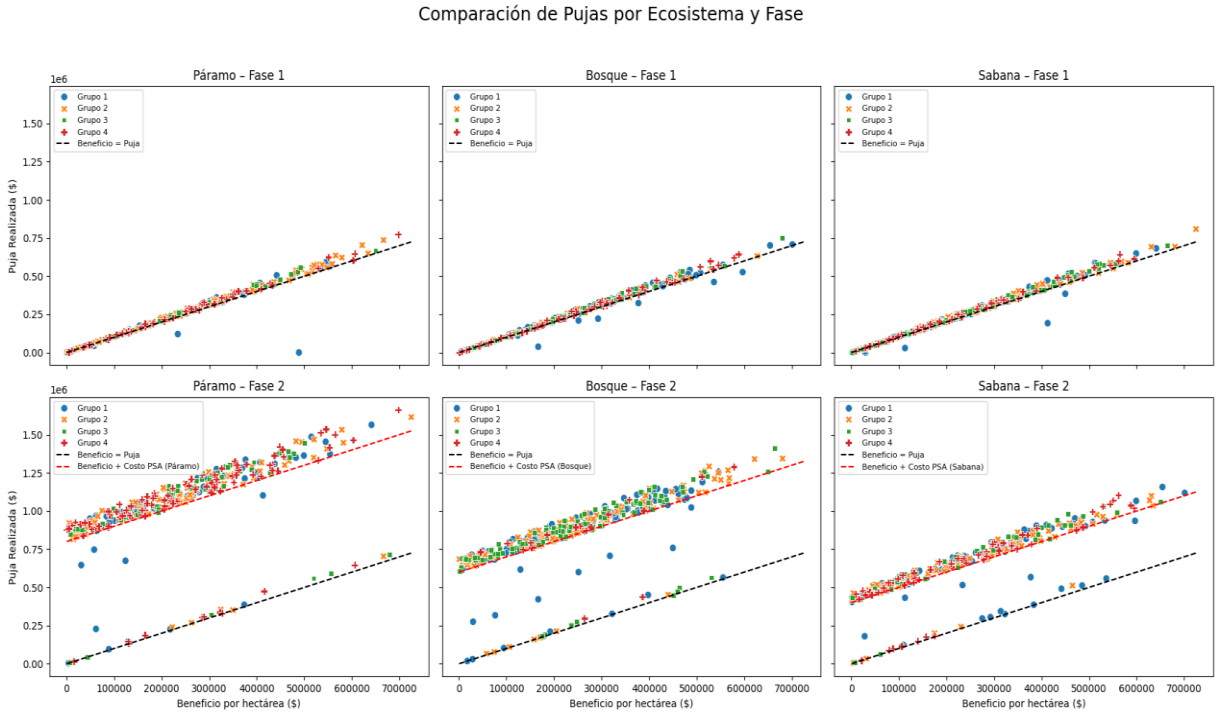
sobre la influencia de factores no observados, como la aversión a la pérdida, que podrían explorarse en futuras investigaciones.

5.2 Análisis comparativo beneficio por hectáreas vs pujas realizadas

En este apartado el objetivo es analizar la relación entre el beneficio económico por hectárea y las pujas realizadas de cada uno de los participantes en el experimento, permitiendo evaluar, de manea visual, la coherencia económica individual, realizar clasificaciones de comportamientos estratégicos y explorar la racionalidad de los jugadores.

Para iniciar, se utiliza un gráfico de dispersión, el cual plasma la relación entre el beneficio económico asignado por hectárea y las pujas realizadas por cada jugador, durante el transcurso de las rondas. Los datos se encuentran desagregados por grupos y diferenciando la fase, para visualizar los patrones de comportamiento.

Figura 5-4: Comparativo del beneficio neto por hectárea frente a las pujas realizadas



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-4 se evidencian los siguientes patrones:

- Los jugadores con mayor beneficio por hectárea tienden a pujar valores más altos.
- La mayoría de las pujas en la Fase 1 se sitúan ligeramente por encima de la línea de referencia (beneficio neto por hectárea = puja), lo que indica comportamientos conservadores o que buscan alguna ganancia adicional y pujas ligeramente por encima del beneficio económico.
- En la Fase 2, cuando se incorporan los costos asociados a las acciones de preservación y/o restauración, las pujas se desplazan considerablemente hacia arriba, posicionándose entre las líneas de referencia “beneficio por actividades productivas” y “beneficio + costo PSA”, de manera que los jugadores incorporaron los costos de preservación y/o restauración, al momento de formular sus estrategias de puja.
- Las pujas más cercanas a las líneas de referencia muestran comportamientos competitivos.
- Los jugadores con pujas muy por encima de las líneas de referencia, probablemente, fueron influidos por baja aversión al riesgo o desconocimiento del valor de sus beneficios.
- También se identifica, en el Grupo 1, un jugador que, especialmente en la Fase 1, presentó una estrategia de pujas sistemáticamente por debajo de su beneficio económico neto asignado. Este jugador inició con una puja de cero y valores muy bajos en las primeras rondas, incrementando gradualmente sus ofertas en las rondas siguientes.

En términos generales, este gráfico permite evidenciar las decisiones sobre las pujas realizadas por los jugadores, que responden a un comportamiento racional, en su mayoría, consistente con las estrategias esperadas en un contexto de subasta inversa.

La inclusión de los costos de preservación y/o restauración, en la Fase 2, generó ajustes significativos en las ofertas, ubicadas en rangos coherentes entre el beneficio asignado y los costos adicionales. No obstante, la dispersión observada, principalmente en la Fase 2,

confirma la heterogeneidad estratégica de los jugadores, siendo una característica inherente en los escenarios experimentales de decisión bajo incertidumbre.

Por otra parte, se calculó un indicador llamado diferencia relativa (%), que expresa el porcentaje que existe entre la puja realizada por el $Jugador_{\ i}$ y el beneficio económico por hectáreas asignado. Este indicador es calculado de la siguiente manera:

$$Diferencia\ relativa\ (\%) = \frac{Puja_{realizada\ i} - BEN_{por\ hectarea\ i}}{BEN_{por\ hectarea\ i}} * 100 \quad (4.5)$$

Donde:

$Puja_{realizada\ i}$: Representa la puja realizada por el $Jugador_{\ i}$

$BEN_{por\ hectarea\ i}$: Corresponde al beneficio económico por actividades productivas asignado por hectárea al $Jugador_{\ i}$

i: Hace referencia al jugador.

A raíz de este indicador, se clasificaron los jugadores en tres perfiles estratégicos y sus pujas realizadas durante las dos fases para el análisis:

Tabla 5-4: Clasificación de perfiles estratégicos

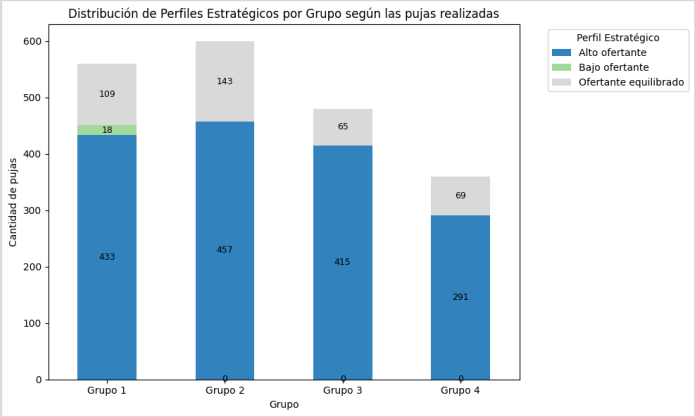
Perfil estratégico	Descripción	Indicador
Bajo Oferente	Realiza pujas por debajo de su beneficio por hectárea asignado. Busca maximizar el número de acuerdos suscritos. Esta estrategia puede ser considerada “irracional” económicamente.	$Diferencia\ relativa < 0\%$
Oferente Equilibrado	Realiza pujas cercanas o muy próximas a su beneficio económico asignado. Busca maximizar sus beneficios. Comportamiento esperado bajo racionalidad económica, con alta aversión al riesgo.	-5%≤ $Diferencia\ relativa$ ≥5%

Perfil estratégico	Descripción	Indicador
Alto Oferente	Realiza pujas muy por encima de su beneficio económico asignado y más elevadas que el perfil clasificado como racional conservador. Busca maximizar sus beneficios. Comportamiento esperado bajo racionalidad económica, con baja aversión al riesgo.	$Diferencia\ relativa$ >5%

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5-5, se muestra la distribución de las pujas clasificadas en los perfiles estratégicos construidos y explicados en la Tabla 5-9. En este gráfico, se puede observar la frecuencia con la que se manifestaron las estrategias sobre las pujas a lo largo de las rondas de la subasta, mostrando que, en general, el comportamiento predominante en todos los grupos corresponde al perfil Alto Oferente ($Diferencia\ relativa$ >5%).

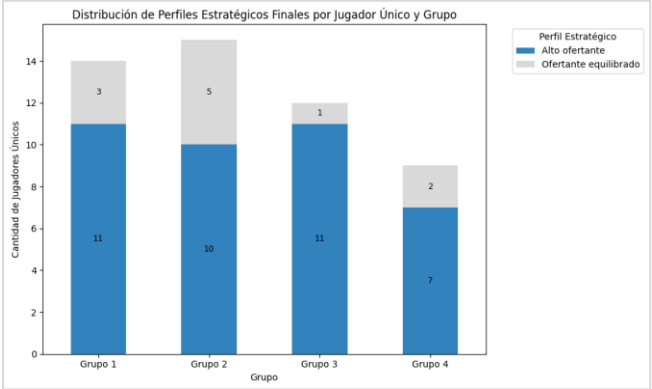
Figura 5-5: Segmentación de perfiles estratégicos por grupos de las pujas de la fase 1



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en la Figura 5-6, se observa la distribución final de los perfiles estratégicos a nivel de jugador. Es decir, los jugadores se clasificaron según su estrategia predominante a lo largo del experimento. Al comparar ambos gráficos, se evidencia que algunos jugadores presentan comportamientos mixtos o estrategias adaptativas, aunque la mayoría tiende a mantener un perfil Alto Oferente como estrategia final.

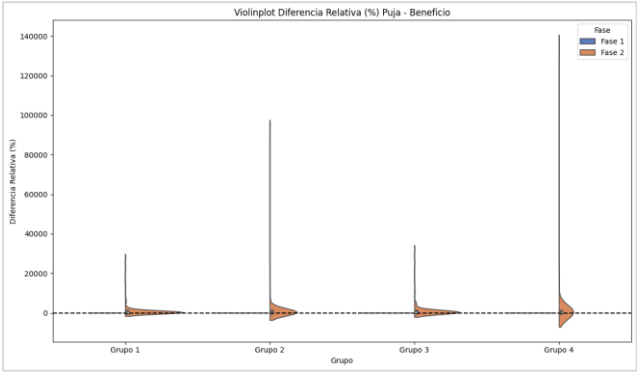
Figura 5-6: Segmentación de perfiles estratégicos predominante por grupos de los jugadores en la fase 2.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 5-7 confirma cómo la inclusión de costos, en la Fase 2, generó un cambio en el comportamiento de puja de los jugadores, promoviendo estrategias de Oferente Equilibrado o Alto Oferente. En la figura se evidencia, con mayor claridad en la Fase 2, que la mayoría de los jugadores realizaron ofertas por encima de su costo; a diferencia de la Fase 1, que muestra un comportamiento más contenido, pero en las dos fases la tendencia estratégica es igual o superior al costo. Las colas largas hacia arriba evidencian la presencia de datos 'outliers'[18].

Figura 5-7: Perfiles estratégicos predominante por grupos de los jugadores.



Fuente: Elaboración propia.

[18] Se entiende por *outlier* un valor atípico que se desvía significativamente del patrón general de los datos, asociado a comportamientos extremos o estrategias no convencionales en contextos experimentales (Camerer, 2003).

Tabla 5-5: Clasificación de perfiles estratégicos

Grupo	Cambio Perfil	Cantidad
Grupo 1	Bajo ofertante → Alto ofertante	1
	Ofertante equilibrado → Alto ofertante	5
	Sin cambio (Alto ofertante)	8
Grupo 2	Ofertante equilibrado → Alto ofertante	7
	Sin cambio (Alto ofertante)	8
Grupo 3	Ofertante equilibrado → Alto ofertante	3
	Sin cambio (Alto ofertante)	9
Grupo 4	Ofertante equilibrado → Alto ofertante	3
	Sin cambio (Alto ofertante)	6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-6: Transición de perfiles estratégicos

Grupo	Jugadores sin cambios	% Permanencia	Jugadores con cambios	% Cambio	Cambio más frecuente
Grupo 1	8	57.14%	6	42.86%	Ofertante equilibrado → Alto ofertante
Grupo 2	8	53.33%	7	46.67%	Ofertante equilibrado → Alto ofertante
Grupo 3	9	75.00%	3	25.00%	Ofertante equilibrado → Alto ofertante
Grupo 4	6	66.67%	3	33.33%	Ofertante equilibrado → Alto ofertante

Fuente: Elaboración propia.

La transición de perfiles en todos los grupos predominó el cambio hacia el perfil alto oferente. El Grupo 2 presentó la mayor proporción de cambio, mientras que el Grupo 3 fue más estable. Estos resultados muestran una tendencia general a sobre ofertar en la fase 2, aunque con distinta intensidad entre grupos.

Para complementar el análisis, se examinan las correlaciones existentes entre las variables de interés del experimento (Figura 5-8).

Tabla 5-7: Correlación global de Spearman entre variables – Fase 1

	Beneficio por hectárea	Puja Realizada	Diferencia Relativa (%)
Beneficio por hectárea	1	0.99	0.019
Puja Realizada	0.99	1	0.088
Diferencia Relativa (%)	0.019	0.088	1

Fuente: Elaboración propia

La correlación de la fase 1, indica que las decisiones de los jugadores estuvieron fuertemente ancladas al beneficio por hectárea asignado. La diferencia relativa no mostró correlaciones significativas, evidenciando uniformidad estratégica sin considerar desvíos importantes.

Tabla 5-8: Correlación global de Spearman entre variables – Fase 2

	Beneficio por hectárea	Puja Realizada	Diferencia Relativa (%)	Costos de P/R
Beneficio por hectárea	1	0.57	-0.77	-0.036
Puja Realizada	0.57	1	-0.056	0.69
Diferencia Relativa (%)	-0.77	-0.56	1	0.35
Costos de P/R	-0.036	0.69	0.35	1

Fuente: Elaboración propia

En la Fase 2, Tabla 5-8, la relación entre el beneficio por hectárea y puja se debilitó (0.57) y apareció una fuerte correlación negativa entre el beneficio por hectárea y la diferencia relativa (-0.77), lo que indica una mayor diversidad en las estrategias , y sugiriendo que, en ciertos casos los jugadores con menos beneficios asignados fueron más propensos a realizar pujas desproporcionadas en relación con su beneficio, lo que podría estar asociado a que una pérdida potencial menor incita a los jugadores a asumir mayores riesgos (aversión a la pérdida). Adicionalmente, la puja se correlacionó positivamente con la variable incluida en esta fase (0.69), reflejando su incorporación en las decisiones individuales.

Hasta este punto, se evidencia que las decisiones de puja de los participantes presentan, en su mayoría, una coherencia económica razonable, frente al beneficio asignado por hectárea, debido que se muestra una tendencia creciente entre ambas variables, lo que indica que los jugadores ajustaron sus ofertas considerando la rentabilidad potencial de sus predios, lo cual, es consistente con los postulados de racionalidad económica y con la hipótesis de la investigación.

Este análisis, en conjunto, reafirma la existencia de racionalidad en la conformación de la mínima DA, pero también se destaca la existencia de comportamientos divergentes (“irracionales”), de un jugador en el Grupo 1, lo que sugiere la presencia de estrategias individuales no convencionales, posiblemente, motivadas por una intención de asegurar el acuerdo PSA o experimentar con el sistema de juego.

Adicionalmente, cabe señalar que las pujas inferiores al beneficio económico neto podrían explicarse por la existencia de externalidades positivas asociadas a las acciones de conservación, por lo cual, no se descarta que, en un escenario real, también existan

agentes con una mínima disposición a aceptar inferior al beneficio económico neto, siendo destacable que solo un jugador haya realizado pujas inferiores al costo en la aplicación del experimento.

5.3 Validación estadística de la hipótesis

Debido a que el tamaño de la muestra es reducido (n = 9-15 por grupo), a la violación del supuesto de normalidad en los datos y a la naturaleza del experimento, en el cual, las decisiones de puja de los jugadores presentan comportamientos heterogéneos y registros atípicos derivados de las estrategias individuales, se emplearon pruebas estadísticas no paramétricas, para contrastar la hipótesis de la investigación.

En consecuencia, se aplicaron las siguientes pruebas estadísticas:

- Wilconxon, para comparar las pujas realizadas entre las dos fases
- Kruskal-Wallis, para evaluar las diferencias de las pujas realizadas entre los grupos en cada fase.

5.3.1 Prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas

Esta prueba se utiliza porque, en el diseño experimental, las mediciones están relacionadas, debido a que las mismas personas participaron en ambas fases del experimento.

Las pujas realizadas en la Fase 1 se comparan con las pujas de la Fase 2, por cada A nivel global y para cada jugador. Este enfoque metodológico permite identificar si los cambios en las decisiones de la puja son estadísticamente significativos y atribuibles a las condiciones económicas introducidas en la Fase 2 del experimento.

Se plantea con el objetivo de evaluar si la incorporación de los costos asociados a las actividades de preservación y/o restauración, en la Fase 2, generó un cambio significativo en las pujas respecto a la Fase 1, con base en la comparación de medianas.

A continuación, en las tablas 5-5, 5-6 y 5-7 se presenta la hipótesis de la prueba Wilcoxon, junto con los resultados, respectivamente.

Tabla 5-9: Hipótesis de la prueba Wilcoxon

Hipótesis	Descripción	Formulación matemática
H_0	No hay diferencias en las pujas entre las fases	$\tilde{x}_1 = \tilde{x}_2$
H_1	Las pujas son mayores en la fase 2	$\tilde{x}_1 > \tilde{x}_2$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-10: Resultados prueba Wilcoxon global

Grupo	Wilcoxon[19]	valor-p	Interpretación
Grupo 1	458	1.31156E-41	Existe diferencia significativa entre Fase 1 y Fase 2.
Grupo 2	350	3.32904E-45	Existe diferencia significativa entre Fase 1 y Fase 2.
Grupo 3	214	1.44038E-35	Existe diferencia significativa entre Fase 1 y Fase 2.
Grupo 4	148	8.2572E-27	Existe diferencia significativa entre Fase 1 y Fase 2.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-7: Resultados prueba Wilcoxon emparejada por jugador

Grupo	Parejas	Wilcoxon	valor-p	Interpretación
Grupo 1	14	0.0	0.00012	Existe diferencia significativa entre Fase 1 y Fase 2.
Grupo 2	15	0.0	6.103e-05	Existe diferencia significativa entre Fase 1 y Fase 2.
Grupo 3	12	0.0	0.000488	Existe diferencia significativa entre Fase 1 y Fase 2.
Grupo 4	9	No aplica	No aplica	No se puede aplicar (datos insuficientes)[20]

Fuente: Elaboración propia.

En los cuatro grupos se rechaza la Hipótesis nula (H_0) con valores ρ cercanos a cero ($\rho < 0.001$), evidenciando que la introducción de costos elevó significativamente las pujas. La magnitud del estadístico W en sus dos formas de aplicación refleja la consistencia del efecto, incluso en el Grupo 4, que tiene el menor tamaño. Este resultado corrobora que los jugadores internalizaron racionalmente los costos adicionales, ajustando sus estrategias para mantener rentabilidad.

[19] El estadístico Wilcoxon representa la suma de rangos con signo, utilizada para calcular el valor-p. Su interpretación no es necesariamente directa, la relevancia es el valor-p asociado.
[20] La prueba Wilcoxon, es no paramétrica y se utiliza para inferencia estadística que requiere un mínimo de observaciones emparejadas para producir resultados válidos. En este sentido, se aplicó la prueba únicamente a los grupos con al menos 10 jugadores comunes en las dos fases.

5.3.2 Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes

Esta prueba sirve para comparar las pujas realizadas entre los grupos, teniendo en cuenta que cada grupo estuvo conformado por jugadores diferentes. El objetivo es determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en las pujas entre los grupos, con base en la comparación de medianas, considerando que todos los grupos enfrentaron las mismas condiciones experimentales dentro de cada fase.

Tabla 5-11: Hipótesis de la prueba Kruskal-Wallis

Hipótesis	Descripción	Formulación matemática
H_0	Las distribuciones de pujas son iguales entre los grupos	$\tilde{x}_1 = \tilde{x}_2$
H_1	Al menos un grupo difiere de los demás	$\tilde{x}_1 \neq \tilde{x}_2$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-12: Resultados prueba Kruskal-Wallis

Fase	Estadístico Kruskal-Wallis	valor-p	Decisión
Fase 1	0.550731888	0.907612547	No se rechaza H_0
Fase 2	9.565183292	0.022647935	Se rechaza H_0

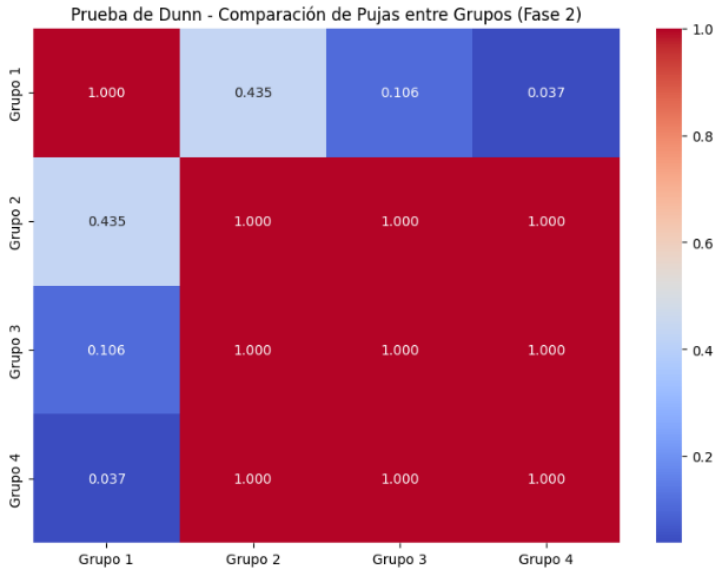
Fuente: Elaboración propia.

En la Fase 1, hay ausencia de diferencias significativas, indicando homogeneidad estratégica inicial, con comportamientos relativamente similares, basados en el beneficio económico asignado, independientemente del tamaño del grupo.

Por otro lado, al introducir los costos en la Fase 2, se rechaza la hipótesis nula, revelando que los grupos divergieron al enfrentarse a esta nueva variable a considerar. Los jugadores adoptaron estrategias de puja diferenciadas, influenciada por sus características individuales, percepciones de riesgo o la dinámica competitiva del grupo.

Tras rechazar la hipótesis nula en la prueba de Kruskal-Wallis para la Fase 2, se aplicó la prueba post hoc de Dunn con corrección de Bonferroni, con el fin de identificar las diferencias específicas entre grupos.

Figura 5-8: Prueba de Dunn



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados en la Figura 5-8 muestran que existen diferencias estadísticamente significativas en las pujas entre el Grupo 1 y el Grupo 4 (p=0.037). Esta es la única comparación con valor-p menor a 0.05, lo que indica que estos dos grupos difieren significativamente en sus comportamientos de puja durante la Fase 2.

El Grupo 4 presentó la mayor dispersión y presencia de valores extremos en la Fase 2, y al compararse con el Grupo 1, que mostró una distribución más concentrada y menor variabilidad resulta la diferencia estadística significativa. En contraste, las comparaciones con los demás pares grupos no fueron significativas debido al mayor solapamiento de los rangos y medianas más cercanas, lo que sugiere que sus distribuciones de puja son estadísticamente similares en esta fase. Así, no sólo la dispersión, sino también la estructura y coincidencia de rangos centrales, explican por qué la significancia estadística surgió únicamente en entre estos dos grupos.

Los resultados de estas pruebas estadísticas permiten confirmar que las decisiones de las pujas de los participantes estuvieron significativamente influenciadas por la variable introducida en la Fase 2 (costo de preservación y/o restauración), dado que se rechazó la hipótesis nula de igualdad de medianas, evidenciado por la prueba de Kruskal-Wallis y reforzado por la prueba de Dunn en la comparación específica entre grupos.

En resumen, todos los grupos aumentaron las pujas en Fase 2, respaldando los modelos de racionalidad adaptativa, donde los agentes ajustan las estrategias ante cambios institucionales y sus ofertas incorporan de manera significativa los costos asociados a las acciones de preservación y/o restauración.

6. Conclusiones y recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos de la implementación del diseño experimental de subasta inversa de PSA, se presentan, a continuación, las principales conclusiones de la investigación.

6.1 Conclusiones

Se concluye que la existencia de costos asociados a las acciones de preservación y/o restauración incrementa significativamente la mínima DA por la suscripción de acuerdos de PSA, confirmando así la hipótesis de la investigación.

El análisis descriptivo y estadístico de las pujas realizadas evidenció que el comportamiento de la mayoría de los participantes se ajusta a los postulados de racionalidad económica, consistente con la maximización de los beneficios, pero evidenciando cambios en el comportamiento individual, que, posiblemente, se expliquen por las diferencias en la aversión al riesgo de los jugadores.

Sin embargo, al menos un grupo evidenció estrategias caracterizadas por realizar pujas muy cercanas al costo, consistente con la búsqueda de la maximización del número de acuerdos suscritos y no de los beneficios. En dicho grupo, un jugador adelantó una estrategia orientada a suscribir el mayor número posible de acuerdos, incluso cuando esto lo llevaba a asumir pérdidas económicas. No obstante, el jugador fue ajustando progresivamente su estrategia, para minimizar sus pérdidas.

La estrategia de este jugador podría explicarse por la existencia de externalidades positivas asociadas a las acciones de preservación y/o restauración, por lo cual, no se descarta que, en un escenario real, también existan agentes con una mínima disposición a aceptar inferior al beneficio económico neto, siendo destacable que solo un jugador haya realizado pujas inferiores al costo en la aplicación del experimento.

En todo caso, los resultados del diseño experimental evidencian que la mayoría de los jugadores siguieron estrategias orientadas a realizar pujas superiores al beneficio económico neto, para la Fase 1; y al beneficio económico neto más el costo de las acciones de preservación y/o restauración, para la Fase 2; siendo estos resultados consistentes con lo que, teóricamente, sería la mejor estrategia posible (ver Anexos A y B).

Las pruebas estadísticas no paramétricas (Wilcoxon y Kruskal-Wallis) confirmaron las diferencias significativas entre las pujas realizadas en las dos fases, demostrando que la incorporación de los costos asociados a las acciones de preservación y/o restauración afectó las decisiones de los jugadores, con incrementos significativos en las pujas.

Finalmente, el experimento evidenció que las subastas inversas, con formato de sobre cerrado, a una única oferta, permiten revelar las disposiciones mínimas a aceptar de los beneficiarios potenciales de PSA.

6.2 Recomendaciones

Con base en lo anterior, se formulan las siguientes recomendaciones:

- Realizar los ajustes normativos requeridos para incorporar los costos de las acciones de preservación y/o restauración en el cálculo de valor del incentivo PSA, en armonía con el artículo 224 de la Ley 2294 de 2023 y el Decreto 1998 de 2023.

- Utilizar el mecanismo de subasta inversa, con formato de sobre cerrado, a una única oferta, para la asignación de los acuerdos de PSA financiados con recursos públicos.

- Fortalecer la transparencia y compresión sobres los costos y beneficios en los acuerdos de PSA, asegurando que el incentivo se otorgue como contraprestación por la realización de acciones concretas y verificables de preservación y/o restauración, evitando el reconocimiento del incentivo por las inacciones (no daño).

- Fortalecer los procesos de formación, información y acompañamiento técnico a las comunidades beneficiarias de PSA, para asegurar la toma de decisiones informadas.

- Por restricción de presupuesto, en este diseño experimental únicamente se reconoció una bonificación al jugador que ocupó el primer puesto. En futuras investigaciones, se recomienda incorporar mecanismos de asignación proporcional de los incentivos económicos en función del beneficio acumulado de los participantes, desde el primero al último puesto, con el fin de recompensar adecuadamente el desempeño de cada uno de los jugadores.

- Fomentar investigaciones que permitan identificar cómo las características de los diversos grupos poblacionales (especialmente, comunidades campesinas y étnicas), se relacionan con la valoración de los servicios ambientales

A. Anexo A: Mínima disposición a aceptar de un beneficiario de PSA

Díaz (2020) plantea la mínima Disposición a Aceptar teórica de un beneficiario de PSA de la siguiente manera:

Si el agente produce, obtiene la siguiente utilidad:

$$Utilidad = IT - CT \tag{A-1}$$

Donde: $IT: Ingreso\ Total \quad y \quad CT: Costo\ Total$

Si el agente no produce, obtiene la siguiente utilidad:

$$Utilidad = PSA - CPR \tag{A-2}$$

Donde:

$PSA: Valor\ del\ Incentivo\ PSA \quad y \quad CPR: Costo\ de\ las\ aciones\ de\ preservación\ o\ restauración$

Entonces, la condición para que el agente sea indiferente entre producir y no producir es la siguiente:

$$PSA - CPR = IT - CT \tag{A-3}$$

$$PSA = IT - CT + CPR \tag{A-4}$$

Donde:

$PSA: Valor\ del\ Incentivo\ PSA$

$IT: Ingreso\ Total$

$CT: Costo\ Total$

$CPR: Costo\ de\ las\ acciones\ de\ preservación\ o\ restauración$

B. Anexo B: Equilibrio de Nash de la subasta (estrategias puras)

Cada jugador $i \in \{1, \dots, N\}$ representa a un propietario, poseedor u ocupante de un predio y debe decidir su puja b_i por hectárea para suscribir un acuerdo de PSA. El jugador conoce las siguientes variables individuales:

r_i: beneficio económico neto por hectárea derivado de las actividades productivas.

c_i: costo por hectárea de realizar acciones de preservación y/o restauración (solo visible en la fase 2 del experimento).

h_i: número de hectáreas requeridas en el acuerdo de PSA

H_i: total de hectáreas del predio

b_i: Puja por hectárea del jugador i

U_i: beneficio económico neto total del jugador en la ronda. Este cambia si suscribe el acuerdo.

- **Fase 1: Sin costo de preservación y/o restauración**

El jugador no enfrenta costos asociados a las acciones de preservación y/o restauración, es decir $c_i = 0$. El jugador debe decidir su puja considerando únicamente el valor que deja de ganar si destina parte de su tierra para suscribir el acuerdo.

Escenarios de utilidad:

El beneficio económico neto de un jugador que suscribe el acuerdo en una ronda es:

$$U_i^{PSA,1} = h_i b_i + (H_i - h_i) r_i \quad \text{(B-1)}$$

Y si no suscribe el acuerdo, el jugador mantiene todo su predio en uso agropecuario y su beneficio es:

$$U_i^{No_{PSA},1} = H_i r_i \, r_i \quad \text{(B-2)}$$

Ahora bien, la condición de racionalidad es la siguiente:

$$U_i^{PSA,1} \geq U_i^{No_{PSA},1} \quad \text{(B-3)}$$

Reemplazando en la ecuación anterior se tiene que:

$$h_i b_i + (H_i - h_i) r_i \geq H_i r_i \quad \text{(B-4)}$$

Despejando:

$$h_i (b_i - r_i) \geq 0 \quad \text{(B-5)}$$

$$b_i \geq r_i \quad \text{(B-6)}$$

El valor mínimo racional que un jugador estaría dispuesto a aceptar por hectárea es:

$$\boldsymbol{b_i^* = r_i} \quad \text{(B-7)}$$

- **Fase 2: Con costos de preservación y/ restauración**

Se introducen costos $c_i > 0$, conocidos por los jugadores.

Escenarios de utilidad

El beneficio económico neto de un jugador que suscribe el acuerdo en una ronda es:

$$U_i^{PSA,2} = h_i (b_i - c_i) + (H_i - h_i) r_i \quad \text{(B-8)}$$

Y si no suscribe el acuerdo, el jugador mantiene todo su predio en uso agropecuario y su beneficio es:

$$U_i^{No_PSA} = H_i r_i \tag{B-9}$$

Condición de racionalidad:

$$U_i^{PSA,2} \geq U_i^{No_{PSA},2} \tag{B-10}$$

Reemplazando:

$$h_i(b_i - c_i) + (H_i - h_i)r_i \geq H_i r_i \tag{B-11}$$

$$h_i(b_i - c_i - r_i) \geq 0 \tag{B-12}$$

$$b_i \geq r_i + c_i \tag{B-13}$$

El valor mínimo racional que un jugador ofertará por hectárea es:

$$\boldsymbol{b_i^* = r_i + c_i} \tag{B-14}$$

De tal forma, la puja mínima aceptable se incrementa con el costo de preservación y/o restauración.

- **Equilibrio de Nash**

El conjunto de estratégicas $\{b_i^*\}_{i=1}^N$, está definido por:

$$b_i^* = \begin{cases} r_i & Fase\ 1 \\ r_i + c_i & Fase\ 2 \end{cases} \tag{B-15}$$

Es conjunto de estrategias constituye un equilibrio de Nash en estrategias puras, bajo los siguientes supuestos:

- Cada jugador busca maximizar su beneficio económico individual.
- Los jugadores no conocen las pujas de los demás (información incompleta), pero sí conocen sus propios parámetros.

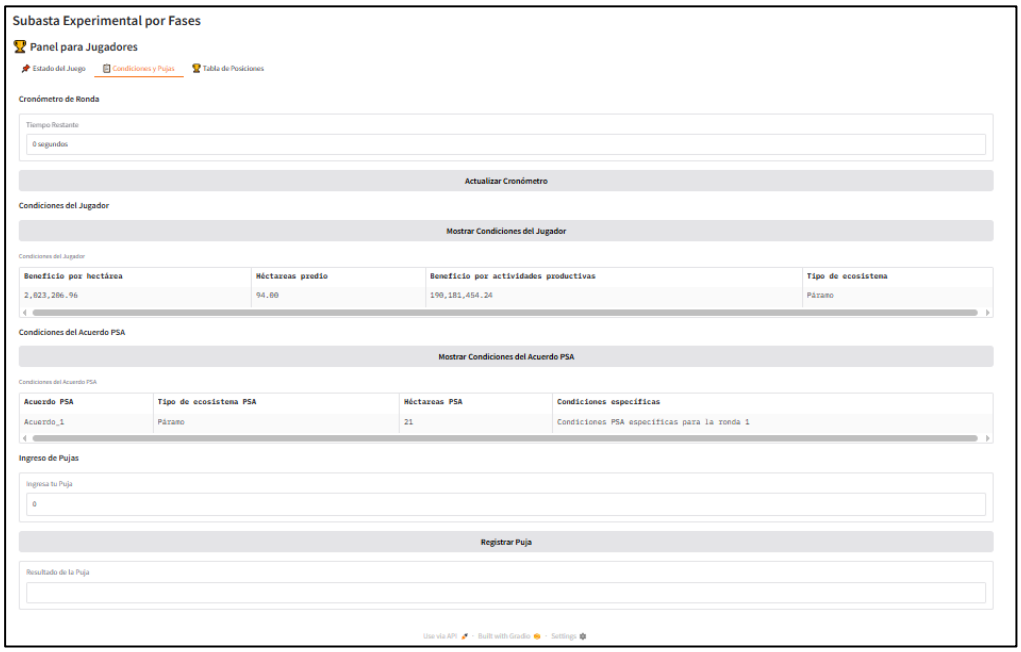
C. Anexo C: Interfaz de la subasta

A continuación, se muestra la interfaz de la aplicación.

Figura C-1: Interfaz del jugador, pestaña 1.

Fuente: Elaboración propia.

Figura C-2: Interfaz del jugador, pestaña 2



Fuente: Elaboración propia.

Figura C-3: Interfaz del jugador, pestaña 3

Fuente: Elaboración propia.

Figura C-4: Interfaz del administrador, pestaña 1

Fuente: Elaboración propia.

Figura C-5: Interfaz del administrador, pestaña 2

Fuente: Elaboración propia.

Figura C-6: Interfaz del administrador, pestaña 3

Fuente: Elaboración propia.

Figura C-7: Interfaz del administrador, pestaña 4

Fuente: Elaboración propia.

D. Anexo D: Registro fotográfico

A continuación, se presenta registro fotográfico de la aplicación de la subasta.

E. Anexo E: Documentos éticos y herramientas técnicas.

En cumplimiento con los protocolos éticos para la investigación y metodológicos, se desarrollaron y archivaron los siguientes documentos durante la implementación del experimento de subasta inversa de PSA:

- Anexo F: Pieza publicitaria utilizada para la convocatoria de participantes.
- Anexo G: Consentimiento informado previo al cuestionario de inscripción.
- Anexo H: Consentimiento informado para la participación en el experimento.
- Anexo I: Consentimiento informado para el cuestionario final.
- Anexo J: Resultados del cuestionario de percepción post-subasta.
- Anexo K: Copias firmadas de los consentimientos informados por grupo.
- Anexo L: Desarrollo de la interfaz y código de la interfaz.

Los anexos señalados, debido a su volumen y naturaleza complementaria, estos documentos se encuentran disponibles en un repositorio digital de acceso restringido, para efectos de verificación ética y metodológica, además se adjuntan como anexos.

Enlace: https://drive.google.com/drive/folders/169-Wa8CWJ4PMJTHQKqeaJJWM-dBIwdz7?usp=drive_link

Bibliografía

Aguado Franco, J. C. (2023). Aversión al riesgo al tomar decisiones económicas, efecto certeza y estimación de probabilidades. *Dialnet*. Recuperado el 23 de 12 de 2024, de https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8930591.pdf

Camerer, C. F. (2003). *Behavioral Game Theory: Experiments in Strategic Interaction.* Princeton University Press.

Cobb, J., & Daly, H. (1993). *Para el Bien común Reorientando la economía hacia la comunidad, el ambiente y un futuro sostenible.* México: Fondo de Cultura Económica.

Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3 ed.). New York: John Wiley & Sons.

Congreso de Colombia. (1993). *Ley 80.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=304

Congreso de Colombia. (1993). *Ley 99.* Bogotá: Gobierno Nacional. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297

Congreso de Colombia. (2018). *Ley 1930.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87764

Congreso de Colombia. (2019). *Ley 1955.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=93970

Congreso de Colombia. (2021). *Ley 2155.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=170902

Congreso de Colombia. (2021). *Ley 2159.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=173408

Congreso de Colombia. (2023). *Ley 2294.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=209510

Congreso de la República. (2007). *Ley 1150.* Bogotá. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/ley-1150-de-2007.pdf

Congreso de la República de Colombia. (2021). *Ley 2169.* Bogotá: Sisrema único de Información Normativa. Obtenido de https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=30043747

Consejo Superior de la Judicatura, Sala Administrativ. (1991). *Constitución Política de Colombia.* Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia. Recuperado el 12 de Enero de 2023, de https://www.ramajudicial.gov.co/documents/10228/1547471/CONSTITUCION-Interiores.pdf

Departamento Nacional de Planeación. (2015). *Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES).* Bogotá. Obtenido de https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3850.pdf

Durá Juez. (2003). *Teoría de subastas y privatizaciones; Un modelo de reputación del vendendor.* España: Universidad Complutense de Madrid.

Durá Juez, P. (2003). *Teoría de subastas y privatizaciones: Un modelo de reputación del vendedor.* Madrid: Universidad Complutense de Madrid.

El Congreso Nacional. (2011). *Ley 1450.* Bogotá: función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=43101

El Presidente de la República de Colombia. (2008). *Decreto 006.* Bogotá: función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=28244

Garret, R., Gardnet, T., Fonseca , T., Marchand, S., Barlow, J., Blas, D., . . . Parry, L. (2017). Explaining the persistence of low income and environmentally degrading land uses in the Brazilian Amazon. *Ecology and Society*.

González, R. H. (2017). ¿Qué podemos aprender sobre incentivos a través de experimentos? 29-37. Recuperado el 20 de 12 de 2024, de https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/403/HERNAN-GONZALEZ.pdf

Informe del Grupo de Trabajo sobre Marco Conceptual de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio. (2019). *Ecosistema y Bienestar Humano: Marco para la evaluación.* El Salvador.

Karsenty, A., Dutilly, C., Biénabe, E., & François Le Coq, J. (2016). *Services écosystémiques, paiements pour services environnementaux et filières : quelle régulation pour renforcer la durabilité ?*

Kish, L. (1965). *Survey Sampling.* New York: John Wiley & Sons.

Krishna, V. (2009). Auction theory. *Academic Press*.

Lenth, R. (2001). Some practical guidelines for effective sample size determination. *The American Statistician, 55*(3), 187-193. Obtenido de https://doi.org/10.1198/000313001317098149

Matus López, M., & Rodríguez Modroño, P. (2012). Pensamiento económico y valores: un experimento docente de teoría de juegos. *Revista de Investigación en Educación*, 119 -128. Obtenido de https://revistas.uvigo.es/index.php/reined/article/download/1923/1834/3681?utm_source=chatgpt.com

McAfee, R., McMillan, J., & Reny, P. (2007). A theory and Auctions and bidding. Journal of Economic.

Melo Becerra, L. A. (2020). Los incentivos monetrarios en la economía experimental: Un estudio de caso. *revista uniandes*. Obtenido de https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/dys/article/download/6401/6583/27083

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). *Informe de implementación del incentivo a la conservación Pagos por Servicios Ambientales.* Bogotá: Oficina de negocios verdes.

Organización Panamericana de la Salud. (1981). *Principios eticos en investigación experimental con seres humanos.* Obtenido de https://iris.paho.org/bitstream/123456789/17142/1/v91n6p546.pdf

Patton, M. Q. (2002). *Qualitative Research & Evaluation Methods: Integrating Theory and Practice* (Tercera Edición ed.). Thousand Oaks, California: Sage Publications.

Percy, S., Lubchenco, J., Almeida, F., Armsworth, P., Bennett, A., Ebi, K., . . . Yohe, G. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment Business and Industry Synthesis Team Co-chairs Synthesis Team Members.*

Plous, S. (1993). *The psychology of judgment and decision making. McGraw-Hill.* McGraw-Hill.

Presidente de la República de Colombia. (2012). *Decreto 734.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=46940

Presidente de la Republica de Colombia. (2017). *Decreto 870.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=84633

Presidente de la República de Colombia. (2018). *Decreto 1007.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=86901

Presidente de la República de Colombia. (2018). *Decreto 1207.* Bogotá: Función pública. Obtenido de https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=87439

Presidente de la república. (s.f.). *Decreto 066 DE 2008.* Bogotá.

Rincón Ruiz, A., & Nieto, M. (2018). Entre el mercado y la construcción local: reflexiones para una gestión más incluyente de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en el marco de los pagos por servicios ambientales. *Opera*, 103 -118.

Shubik, M. (1983a). Auctions, Bidding, and Market: An Historical Sketch. En W. Engelbrech, M. Shubik, & J. Stark, *Auctions, Bidding, and Contracting: Uses and Theory* (págs. 33-52). New York: University Press.

Shubik, M. (1983b). On auctions, bidding, and contracting. En M. Shubik, W. Engelbrecht, & J. Stark, *Auctions, Bidding, and Contracting: Uses and Theory* (págs. 3-31). New York: University Press.

Sukhdev, P., Wittmer, H., Schröter Schlaack, C., Nesshöver, C., Bishop, J., ten Brink, P., . . . Neuville, A. (2010). *TEEB - La economía de los ecosistemas y la biodiversidad : Incorporación de los aspectos económicos de la naturaleza.*

Wilson, R. (2001). Reveled preference and mechanism design.

Wunder, S. (2015). *Revisiting the concept of payments for environmental services.* Ecological Economics.

Ye, L., & Bulfin, R. (2007). Auction in supply chain management: A review and directions for future research. *Decision Sciences*, 5 - 33.