

# MODELOS MENTALES Y SISTEMAS MULTIAGENTES: GOBERNANZA DE LA PESCA EN EL CORREGIMIENTO DE BARÚ

FELIPE HERNÁNDEZ CRESPO\*

## RESUMEN

Aún hoy, buena cantidad de tomadores de decisiones argumentan que las comunidades son incapaces de gestionar bienes comunes —como la pesca, el bosque, los pastizales—, contextos donde los intereses individuales terminan imponiéndose sobre los beneficios colectivos. Sin embargo, la evidencia empírica ha demostrado como las experiencias auto-organizativas de ciertas comunidades, posibilitan la gestión exitosa de este tipo de bienes. La comunidad de pescadores artesanales en el corregimiento de Barú presenta una problemática de esta clase, pues se ha generado un daño ambiental debido a la extracción desmedida de sus zonas de pesca. Este caso dio paso a un estudio en el que por medio de los sistemas multiagentes, se diseñó un modelo que permite identificar algunas de las condiciones relacionadas a la gobernanza del recurso. Este artículo hace énfasis en cómo los modelos mentales configurados dentro del modelo, se articulan en diferentes escenarios para la emergencia de instituciones pro-sociales.

**Palabras clave:** Modelos mentales, Sistemas multiagentes, Gobernanza, Bienes comunes, Sistemas socio-ecológicos.

**Clasificaciones JEL:** D70, Q50

---

\* El autor es Politólogo de la Pontificia Universidad Javeriana. Correo electrónico: felipehresco@gmail.com. Agradece principalmente a Daniel Castillo; al grupo de estudio Netlogo: Lina, Carlos, Paula, Tatiana, Liliana, Gloria, y al Capítulo Javeriano ACM, por trabajar en el modelo. Recibido: septiembre 2 de 2014; aceptado: diciembre 1º de 2014.

## ABSTRACT

Even today, many decision-makers argue that communities are unable to manage commons -such as fisheries, forest, grassland-, contexts where individual interests end up prevailing over collective benefits. However, empirical evidence has shown how self-organizing experiences of certain communities, enable the successful management of this type of goods. The community of artisanal fishermen in the village of Baru has a problem of this kind, as it has generated environmental damage due to excessive extraction of their fishing designed. This paper presents a model which identifies, via multi-agent systems, some of the conditions related to the governance of the resource. It emphasizes how mental models configured within the model are articulated in different scenarios for the emergence of pro-social institutions.

**Keywords:** Mental models, multiagent systems, governance, commons, socio-ecological systems.

**JEL Classifications:** D70, Q50

## I. INTRODUCCIÓN

La problemática en Barú, corregimiento que pertenece al municipio de Cartagena, en la Costa Caribe colombiana, está asociada a la actividad pesquera desregulada en ciertas zonas de su territorio (Castillo, *et al.*, 2011). Se trata de un asunto que implica intereses individuales en disputa y es perjudicial tanto para la población como para el ecosistema marino. Esto ha dado paso a un conflicto que involucra a pescadores locales, autoridades ambientales, y agentes externos como los pescadores de otras poblaciones y los representantes de la pesca industrial. En este contexto confluyen distintos factores como las artes de pesca, las especies en peligro de extinción y el cumplimiento de reglas, entre otros. Los intentos de resolución aplicados al conflicto se han hecho por lo común a través de la imposición de medidas externas, principalmente siguiendo las regulaciones de entidades estatales, medidas que en ocasiones han derivado en el deterioro de los medios de vida de los pobladores. Contrario a la creencia oficial, las políticas públicas frecuentemente fallan y resultan en diversos dramas (Ostrom *et al.*, 2002), en varios casos por no tener en consideración la capacidad de autogestión de la comunidad.

Ostrom (1990) estudió cómo las colectividades gestionaban sus bienes comunes en diferentes contextos. A partir de esto identificó ciertas condiciones para administrar exitosamente este tipo de bienes y configuró un primer modelo de acción colectiva con variables que incluyeran comportamientos pro-sociales como la cooperación, la reciprocidad y la confianza. A partir de entonces se ha desarrollado una nueva generación de modelos de acción colectiva que cada vez buscan adaptarse más a la complejidad de los fenómenos socio-ecológicos (Janssen, 2010). Los modelos computacionales han contribuido enormemente a este propósito y han sido útiles en casos en que la tecnología se convierte en un importante apoyo para llevar a cabo análisis sociales (Schelling, 1972). A partir de los sistemas multiagentes es posible diseñar un tipo de modelo en el que agentes autónomos, ubicados espacialmente, interactúan entre sí según unas reglas de decisión previamente programadas. Con la simulación de escenarios es posible analizar los fenómenos que emergen a partir de su comportamiento en el tiempo.

Un punto de partida para este estudio fueron los resultados del proyecto *The Dynamics of Rules in Commons Dilemmas* (Cárdenas, Janssen, y Bousquet, 2010b; Castillo, Bousquet, Janssen, Worrapimphong y Cárdenas, 2011; Castillo, 2013; Janssen, 2005). Éste tenía como propósito estudiar sistemáticamente cómo los humanos pueden cambiar las reglas dentro de los dilemas sociales. El propósito del presente artículo es entender cómo los modelos mentales dentro del modelo multiagentes se articulan para entender el surgimiento de distintos diseños institucionales. En la siguiente sección se explicará la relación entre bienes comunes y análisis institucional. Luego se presentará la metodología de los sistemas multiagentes. En la cuarta sección se detallará el modelo de gobernanza de la pesca en Barú y en la quinta se explicará la relación entre modelos mentales y los escenarios de análisis. Al final se presentan unas conclusiones.

## II. BIENES COMUNES Y ANÁLISIS INSTITUCIONAL

Los trabajos de Gordon (1956) y Hardin (1968) fueron pioneros en proponer la incapacidad de los individuos de perseguir un beneficio más allá del propio al hacer uso de un bien común. Hardin (1968) popularizó esta problemática como la tragedia de los comunes, un escenario en que el bien común es agotado por individuos auto-interesados que generan un dilema social del que no hay escape para agentes netamente racionales (*Homo economicus*). Posteriormente, enmarcado

dentro de la elección racional, Olson (1965) argumentaba que los individuos racionales necesitan de incentivos para llevar a cabo acciones de carácter colectivo; de ese modo, la búsqueda del interés individual imposibilita la provisión comunitaria de bienes públicos.

La apropiación de bienes comunes plantea un dilema social cuando las preferencias individuales se imponen sobre el beneficio colectivo. Anteriormente los tomadores de decisiones solo tenían en cuenta dos posibles salidas a este dilema: la implementación de derechos de propiedad individual o la administración directa del Estado (Ostrom, 1990). El agotamiento de los recursos, se creía, era ocasionado por la ausencia de derechos de propiedad, planteamiento que ha venido sesgando la implementación de políticas públicas, con las cuales se tiende a aplicar soluciones universales, usualmente fallidas, como en el caso de Barú.

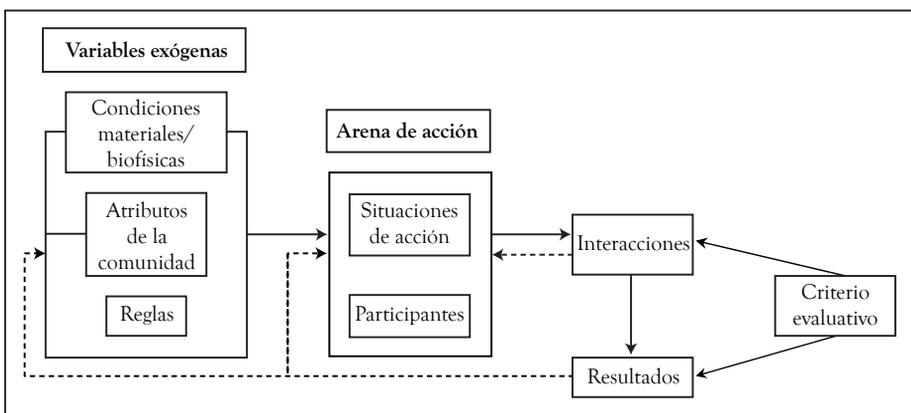
Evidencia empírica recolectada por Ostrom (1990) y sus colaboradores demostraría la posibilidad de construir estructuras de gobierno locales, con la capacidad de administrar exitosamente bienes comunes, y de ese modo dar cuenta de diseños institucionales emergentes basados en comportamientos pro-sociales. Con esto logró desarrollar toda una segunda generación de modelos sobre decisiones racionales que toman en cuenta tres variables esenciales para la auto-organización: confianza, reputación y reciprocidad. «Muchas de las instituciones de los bienes comunes son fértiles mezclas de instituciones tipo privado o tipo público, que desafían las clasificaciones de una dicotomía estéril» (Ostrom, 1990). Por lo tanto, la discusión del tema pasó de estar dominada por el mercado y el Estado, a colocar en el centro el potencial auto-organizativo de las comunidades. En los últimos tiempos, los diferentes enfoques en la administración de recursos naturales han cambiado de un modelo jerárquico estrictamente gubernamental a uno de *gobernanza* local más horizontal, demostrando que los individuos ya no están indefensos, atrapados en el dilema social y que, en vez de eso, pueden manejar sus recursos construyendo instituciones endógenas (Ostrom, 1990).

A partir del comportamiento de los individuos y su interacción en sociedad, emergen limitaciones humanamente concebidas (o «reglas de juego»), a las cuales se les da el nombre de instituciones (North, 1990). Según Parsons (1975), las instituciones pueden entenderse como complejos de reglas normativas y principios que, bien sea a través de la ley o de otro mecanismo de control social, sirven para regular la acción social y las relaciones. Éstas pueden ser informales, a manera de convenciones, reglas morales o normas sociales, o formales, como los parámetros de comportamiento dictados desde el Estado (Mantzavinos, 2001). El análisis

de las instituciones resulta útil cuando se aborda desde los campos de acción, un espacio social en el que confluyen diferentes formas de relaciones sociales. Una de las formas de representar la interacción dentro de estos campos, es a través del marco de análisis y desarrollo institucional (Ostrom, 2009), el cual ofrece una esquematización para analizar los comportamientos de distintos actores en escenarios cambiantes. El espacio de análisis es la *arena de acción*, donde los participantes, dotados de modelos mentales diferentes, interactúan entre sí y se enfrentan a situaciones que llevan a la acción. Mientras que en la relación con las variables exógenas a la arena, se establece un ciclo de retroalimentación que conforma la estructura general (Ostrom, 2009).

El problema se configura según el modo en que los actores atraviesan por un proceso de toma de decisiones dentro de la arena. Esto ha suscitado el interés de varios académicos, que se han dedicado a entender la interacción de distintos modelos mentales. La conformación de arreglos institucionales puede estimular el surgimiento de comportamientos pro-sociales, con los cuales es posible dar salida a los dilemas sociales. «Este conjunto de reglas puede incentivar o no la cooperación entre los actores con la subsecuente aparición de conflictos, que dependiendo de su dinámica y formas de resolución se constituye en potenciadores u obstáculos para la acción colectiva exitosa» (Cárdenas, *et al.*, 2010).

GRÁFICO 1  
Marco de análisis institucional



Fuente: Ostrom, 2009

La interacción de múltiples agentes sociales en diferentes niveles es necesaria para una gobernanza exitosa del recurso. Para Bodin (2008), la gobernanza de recursos naturales tiene como característica que involucra a actores de varios tipos, dotados con diferentes objetivos, intereses, estructuras de incentivos y voluntad para cooperar, además de ordenamientos territoriales, derechos de propiedad, derechos de uso y la notable impredecibilidad de los sistemas naturales. La gobernanza no debe entenderse desde una perspectiva estática y homogénea. Cada comunidad la configura según las particularidades de su contexto y sus modelos mentales compartidos. Pueden incluir arreglos institucionales de distinta índole y no necesariamente se refieren únicamente a la esfera de lo gubernamental. La necesidad de objetivos en común de los diferentes tipos de actores es un elemento central en el contexto de Barú, pues para lograr una gobernanza exitosa del recurso, los intereses individuales que generan problemas en la comunidad necesitan de un sendero común que genere beneficios colectivos.

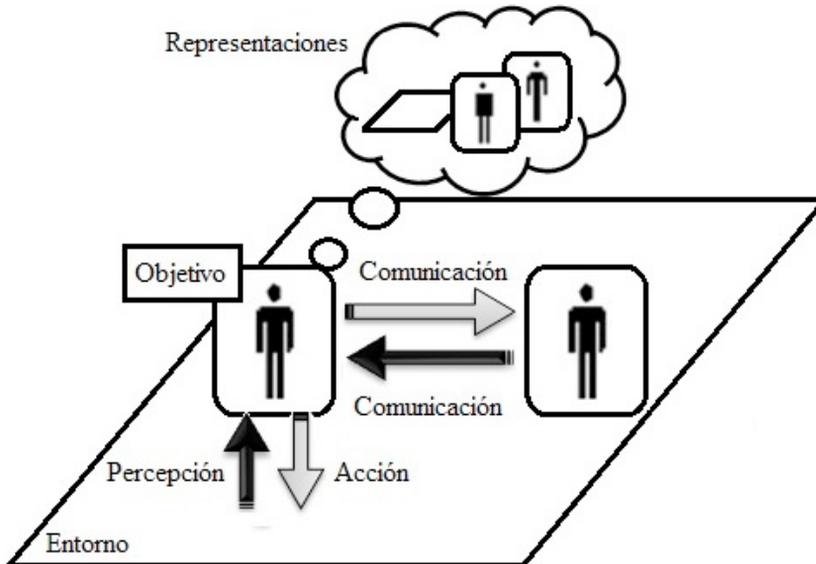
### III. METODOLOGÍA DE LOS SISTEMAS MULTIAGENTES

¿Por qué hacer un modelo? Según Epstein (2008), constantemente nos encontramos elaborando modelos cognitivos para muchas situaciones cotidianas, que se caracterizan principalmente por ser implícitos. El beneficio social de la construcción de modelos radica en que sean representaciones de la realidad que permitan replicar los resultados obtenidos. De ese modo, se puede correr una amplia gama de parámetros, en un amplio rango de escenarios, con el fin de entender distintos tipos de fenómenos.

Las técnicas tradicionales para representar comportamientos han consistido de modelos lineales, principalmente econométricos, caracterizados por ser demasiado deterministas. Una metodología menos común es la dinámica de sistemas, que se vale de ecuaciones diferenciales para modelar sistemas no-lineales. Sin embargo, si bien permite abordar cierta complejidad en los fenómenos estudiados, posee un alcance limitado, dado que no tiene en cuenta la heterogeneidad de los modelos mentales de los agentes, ni el espacio en que habitan. Los juegos de rol son otro tipo de modelos que han sido utilizados para investigar entornos más interactivos, útiles para entender comportamientos de individuos dotados con distintas racionalidades. Su desventaja radica en las limitaciones espacio-temporales de este tipo de ejercicios debido a que no permiten un análisis a profundidad, por lo que se hace necesario complementarlos con otras metodologías.

En 1970, John Conway se propuso hacer explícito un modelo que llamó el *juego de la vida*, en el cual unos agentes debían habitar y sobrevivir en un espacio limitado. A simple vista parece un tablero de ajedrez en una organización aleatoria, pero en realidad son agentes dotados de unas reglas básicas de interacción, que en términos agregados terminan configurando estructuras realmente fascinantes por su impredecibilidad. El juego de la vida es uno de los primeros y más reconocidos modelos conocidos como autómatas celulares, precursores de los modelos multiagentes contemporáneos. «Desde los 80s, la modelación basada en agentes ha sido usada crecientemente como un método formal para estudiar las condiciones en las cuales agentes con racionalidad limitada pueden hacer que la cooperación evolucione en diferentes escalas» (Janssen, 2010, pág. 191). Axelrod (1997) fue de los primeros en utilizar herramientas formales para representar sistemas complejos, distinguiendo niveles de cooperación entre agentes con el fin de conseguir escenarios de salida a diferentes dilemas sociales.

GRÁFICO 2  
*Sistemas multiagentes*



Fuente: Ferber, 1999

Los modelos multiagentes son una aproximación computacional a los sistemas complejos. Se caracterizan por tener en cuenta el espacio, además de la heterogeneidad de los agentes. Tal herramienta permite representar las interacciones entre agentes diversos y su relación con el entorno, además de tener en cuenta diferentes modelos mentales a partir ciertas reglas de decisión. Estos modelos se valen de diseños experimentales para simular escenarios virtuales en una interfaz gráfica, para un análisis estadístico posterior, con el propósito de analizar los cambios del sistema en el tiempo. Cuentan con un grupo de agentes que operan de forma independiente, dotados de diferentes instrucciones y un entorno, de cuya interacción pueden derivar fenómenos emergentes como producto de la manipulación de diferentes parámetros.

Esta plataforma de programación simula los escenarios a través de un ejercicio interactivo, que permite un diseño experimental de las interacciones sociales y las distribuciones espaciales. Se pueden así estudiar alternativas para la toma de decisiones sobre el manejo del recurso. Los modelos multiagentes conforman «un ejemplo interesante de cómo las herramientas computacionales y la simulación de sociedades artificiales pueden servir para describir y analizar algunas propiedades sobresalientes de los sistemas complejos» (Gallego, 2007).

Una de las nociones centrales de los sistemas multiagentes es el concepto de *emergencia*, entendida como el proceso de formación de patrones complejos desde sus más básicas partes constituyentes (Holland, 2000). Los sistemas multiagentes se componen de partes interconectadas que, como un todo, exhiben uno o más atributos que surgen de las propiedades de las partes individuales (Page, 2007). En la misma dirección están los *sistemas complejos adaptativos*, que tienen un gran número de componentes, entre ellos diversos agentes que interactúan y se adaptan a su entorno (Holland, 1996). Para Duit y Galaz (2008), lo principal es identificar la capacidad de adaptación a los múltiples sistemas de gobernanza; uno de sus argumentos es que diferentes sistemas de gobernanza pueden coexistir dentro de un mismo contexto. En Barú puede evidenciarse a partir de la combinación de estrategias de gobernanza, por un lado, con las regulaciones de la autoridad ambiental y, por el otro, las reglas diseñadas desde la misma comunidad. Incluso más allá de la coexistencia, las combinaciones de diferentes sistemas de gobernanza, funcionan para hacer frente a distintas perturbaciones en el sistema.

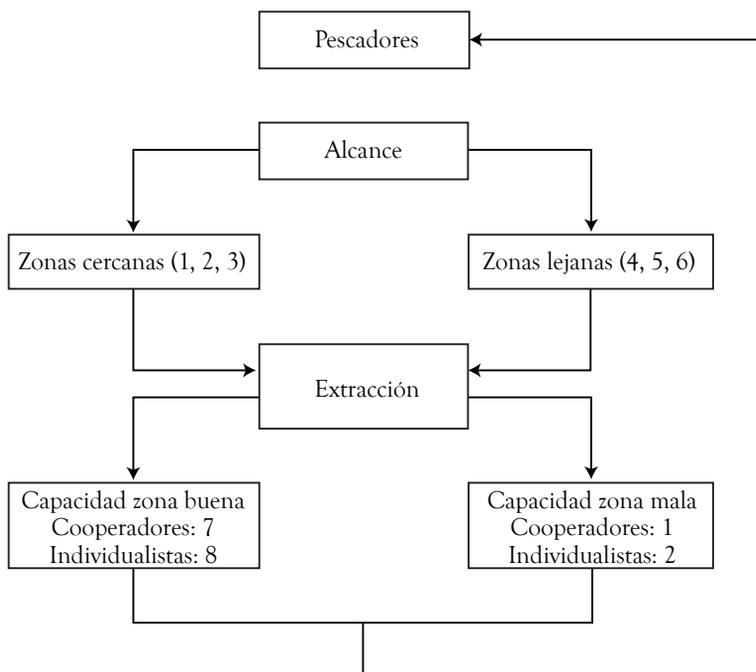
#### IV. MODELO DE GOBERNANZA DE LA PESCA EN BARÚ

Este trabajo se nutre de información extraída de fuentes secundarias, (Castillo, 2011, 2013). A partir de la información de un juego de rol, se representaron distintas variables en un modelo multiagentes y de ese modo se pudo ir más allá del contexto, para analizar diferentes situaciones a través de la simulación de escenarios (Castillo, 2011). Uno de los pasos más importantes en la construcción de modelos multiagentes es la formalización de la toma de decisiones, de la cual se obtiene como resultado una estructura de reglas para los agentes. Para este caso, las decisiones de los agentes se basan en el cómo, cuándo y dónde hacer uso del recurso. Teniendo en cuenta que este tipo de modelos se enfocan en la relación entre los micro-estados de los agentes y los macro-resultados del sistema, la idea de formalizar las decisiones es que posteriormente permitan evidenciar distintos tipos de diseños institucionales.

Para Railsback (2011), es importante tener en cuenta dos conceptos claves al implementar la formalización de las decisiones: la *adaptación*, que se refiere a las decisiones que toman los agentes para acoplar su comportamiento a condiciones cambiantes, y los *objetivos*, en los que pueden identificarse alternativas y seleccionar la que mejor coincida con lo que se quiere lograr. En algunos casos, la selección de alternativas puede significar a la vez un perjuicio para el logro de otro objetivo. El núcleo del modelo es la formalización de las decisiones de los agentes y su utilidad para estudiar el cambio en el estado del recurso. Bravo (2011), en la formalización de su proyecto sobre las creencias de los agentes e instituciones, contrapone dos tipos de modelos, un modelo analítico simple frente a uno basado en agentes. En ambos casos se vale de ecuaciones para formalizar las decisiones. Sin embargo, acaba resaltando las ventajas del modelo multiagentes por ser más cercano a las condiciones de escenarios reales, ya que cuenta con un recurso definido espacialmente y la posibilidad de construcción de arreglos institucionales.

Por su parte, Berkes (2006), para formalizar las decisiones de un grupo de pescadores artesanales, se vale de un formato de reglas heurísticas (IF - THEN), graficando los resultados de las condiciones en un árbol de decisión. Este último formato es útil ya que permite visualizar el proceso de toma de decisiones como una secuencia de pasos. La formalización de las decisiones que se utilizó para este modelo tiene un registro similar. El formato escogido fue el diagrama de flujo, entendido como una representación de algoritmos que sirve para formalizar procesos de toma de decisiones. El modelo da cuenta del sistema sin una tasa de crecimiento del

GRÁFICO 3  
 Diagrama de flujo formalización decisiones de los agentes

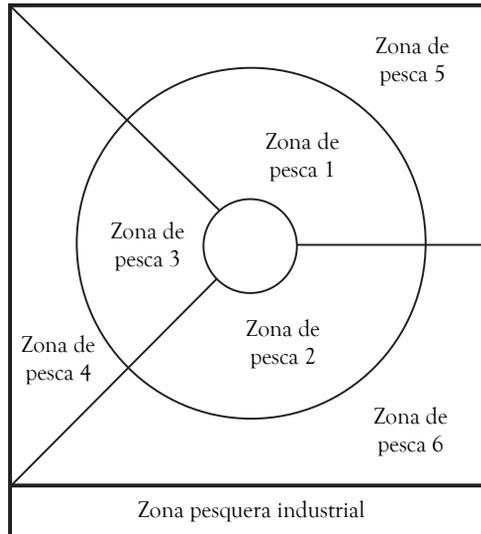


Fuente: Elaboración propia

recurso y con la extracción a partir del esfuerzo de pesca según el modelo mental implementado: cooperador o individualista.

Los pescadores empiezan determinando el alcance de su faena de pesca, bien si es a alguna de las zonas cercanas (1, 2, 3) o a una de las lejanas (4, 5, 6). Esta distinción obedece a que no todos cuentan con los medios para acceder a las zonas más retiradas. La escogencia se da a partir de un procedimiento aleatorio en la programación del modelo. La decisión respecto a los niveles de extracción se configuró según el modelo mental para cada tipo de pescador, ya sea cooperador o individualista. En la primera ronda, las tres zonas más cercanas inician en mal

GRÁFICO 4  
 Mapa zonas de pesca



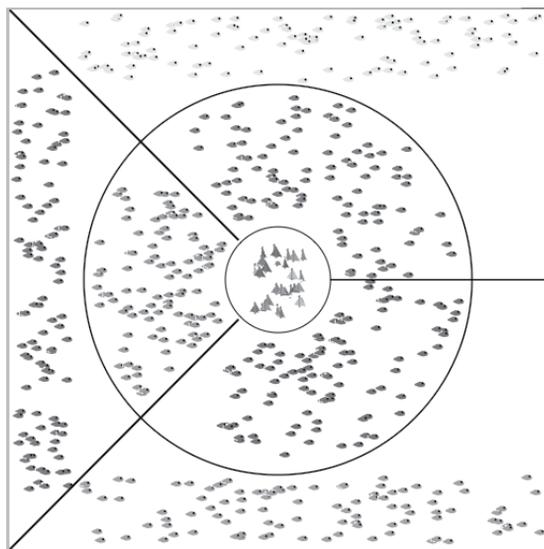
Fuente: Castillo, 2011

estado para dar cuenta del escenario real del sistema, y desde la segunda ronda las zonas muestran su estado según el esfuerzo de pesca total de la ronda anterior. Después el ciclo comienza de nuevo.

A partir de la formalización de las decisiones se dio inicio a la programación del modelo. En el diseño de la interface, se tomó como principal referencia el mapa de los bajos de pesca, construido por los pescadores durante el juego de rol (Castillo, 2011).

En este caso los valores de los parámetros a ejecutar se determinaron principalmente a partir de los pagos utilizados en el juego de rol (Castillo, 2011). A continuación, se presenta un cuadro con los principales parámetros y sus respectivos valores. Estos son: la cantidad de pescadores individualistas y cooperadores (ambos con límites entre 0 y 100); el nivel de extracción, tanto de cooperadores como de individualistas, dependiendo del estado de la zona; un umbral de la cantidad de peces iniciales, desde 100 unidades hasta 1000, que sería la capacidad de carga del sistema; y la tasa de crecimiento del recurso, que varía entre el 10% y el 100%.

GRÁFICO 5  
Interface del modelo multiagentes



CUADRO 1  
Parámetros

Tabla de Parámetros							
Pescadores cooperadores	Pescadores individualistas	Extracción cooperadores		Extracción individualistas		Peces iniciales x zona (6 zonas)	% Crecimiento recurso
		zona buen estado	zona mal estado	zona buen estado	zona mal estado		
0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	0 - 100	100 - 1000	10 - 100

Se corrió varias veces el modelo, variando sistemáticamente sus escenarios y grabando los resultados de cada simulación, un proceso también conocido como barrido de parámetros. Su principal ventaja es que permite explorar el espacio del modelo según sus posibles comportamientos y determinar cuáles combinaciones de escenarios generan los comportamientos de interés. El propósito es calibrar algunos datos del modelo, para ver en que nivel éste se adapta al comportamiento

real del sistema. La premisa fundamental en que se basan los modelos de simulaciones es el supuesto de que es capaz de reproducir situaciones pasadas en el contexto de un sistema. Y de ese modo es posible predecir escenarios, permitiendo anticipar la evolución del sistema en el tiempo. La fase de calibración tiene por objeto dar credibilidad a los parámetros escogidos, y consiste en la iteración de ejecuciones del modelo para comparar los resultados obtenidos con la información real del contexto. Se dice que hay una falla cuando se presenta una disparidad considerable entre los resultados modelados y los observados en la realidad.

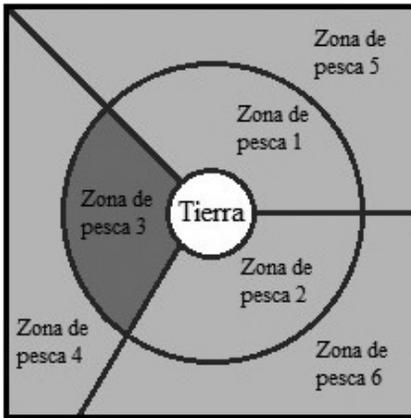
Cabe señalar que, debido a que se supone implícito el cumplimiento de reglas por parte de los pescadores cooperadores, se pone a prueba un diseño institucional basado en comportamientos pro-sociales, a través de la variación en el parámetro de cantidad de agentes cooperadores, en los diferentes escenarios de las simulaciones. En otras palabras, a mayor número de cooperadores, mayor acatamiento de reglas; de ese mismo modo, a mayor cumplimiento de reglas, mayor capacidad auto-organizativa para gobernar exitosamente el recurso. Uno de los principales criterios para evaluar la sostenibilidad del recurso es el estado de las zonas. Por tal razón, es el principal parámetro a considerar con la ejecución de estas simulaciones. La variación se da de 10 en 10, según lo indica el valor del medio que se encuentra entre paréntesis [10]. El orden de las simulaciones fue el siguiente:

CUADRO 2  
*Simulaciones*

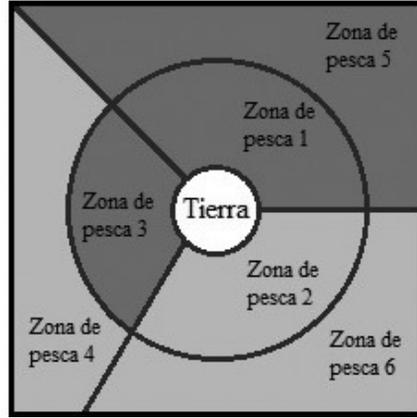
# Simulación	Pescadores individualistas	Pescadores cooperadores
1	0	10 [10] 100
2	10 [10] 100	0
3	10 [10] 100	10 [10] 100

Inicialmente las rondas del juego rol (Castillo, 2011) fueron 15, donde cada ronda representaba un día de pesca o faena, como se conoce localmente. Teniendo en cuenta que si bien el modelo no es la reproducción exacta del juego de rol, permite experimentar con un número mayor de rondas. De ese modo, lo que en un principio era un escenario de 15 jornadas, con los escenarios del modelo se abre la posibilidad de simular un número mucho mayor. En las siguientes simulaciones se tratará un número de 60 jornadas que, visto desde otro ángulo, son dos meses de faenas diarias. En las siguientes gráficas, se presenta el resultado del

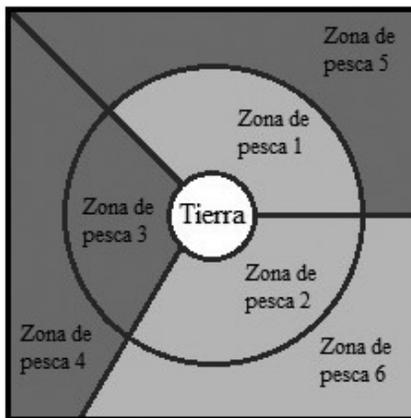
GRÁFICO 6  
Hoja de escenarios



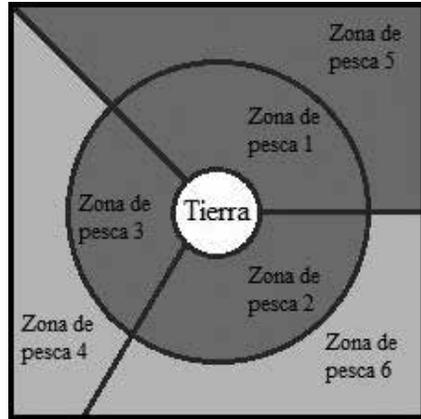
Escenario 1: 30 cooperadores



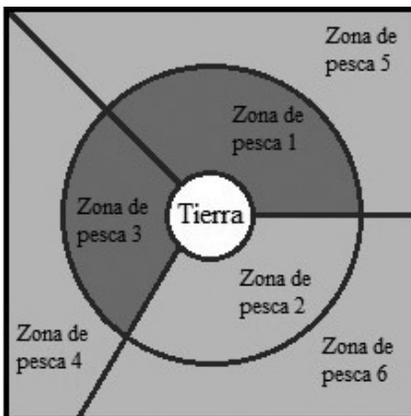
Escenario 2: 30 individualistas



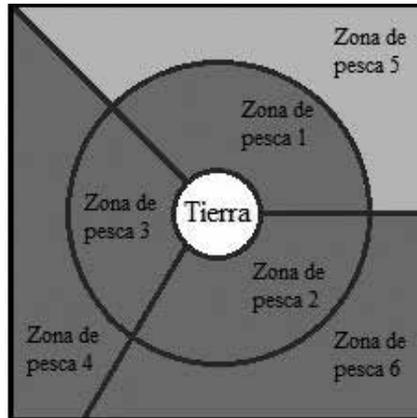
Escenario 3: 70 cooperadores



Escenario 4: 70 individualistas



Escenario 5: 20 coop, 10 ind



Escenario 6: 20 coop, 50 ind

último estado de cada zona antes de finalizar la simulación de 60 jornadas. En gris claro se representa las zonas en buen estado, mientras que el gris oscuro representa las zonas en mal estado. En los escenarios comparados con igual número de pescadores, son los cooperadores quienes mantienen un mejor promedio de zonas en buen estado.

Al realizar las simulaciones con la combinación entre cooperadores e individualistas, el período de tiempo en que las zonas se hacen sostenibles es mucho más extenso que si todos fueran cooperadores. Al experimentar con valores más altos, el mal estado de las zonas se convierte en una constante. Puede evidenciarse como con la misma cantidad de individuos se obtienen resultados diferentes. Con 30 cooperadores el recurso se mantiene estable en el tiempo, mientras que con 30 individualistas las tres zonas cercanas son sobreexplotadas. Los usuarios cooperadores tienen la ventaja de crear sus propias reglas operacionales (Poteete et al., 2011), lo cual representa acertadamente el comportamiento de los agentes cooperadores diseñados en el modelo. Esto debido a que se requiere de autonomía en el diseño de reglas para aceptar pagos inferiores a corto plazo, pensando en la sostenibilidad del recurso a largo plazo. Y, de ese modo, obtener mayores ganancias a futuro.

En un intento de aclarar que las condiciones relacionadas a la gobernanza de un recurso no son inalterables, haciendo referencia a las posiciones extremas de centralización y privatización, Ostrom (1990) argumenta que, en lugar de una única solución para un solo problema, existen muchas soluciones para múltiples problemas. Que existan salidas exitosas a un problema no significa que se aplique a todos los casos donde éste se manifieste. Como reto está poder encontrar un algoritmo cambiante o adaptativo, que sea aplicable para resolver el problema base, antes de considerar las particularidades de los diversos entornos (Janssen, 2002).

## V. CONCLUSIONES

La gobernanza del recurso en los escenarios analizados está supeditada al diseño autónomo de reglas y al cumplimiento de las mismas. La diferenciación entre pescadores cooperadores e individualistas permitió observar, en diversos escenarios, el desarrollo exitoso o fallido de la gobernanza del recurso. Con base en lo anterior, es posible expresar que la gobernanza del recurso se encuentra estrechamente vinculada a los escenarios que registran un alto cumplimiento de reglas por parte de los pescadores cooperadores. A manera de desafíos para una posterior investigación,

en una versión mejorada del modelo puede incluirse el uso de distintas artes de pesca, flujos comerciales de la venta del recurso y una mayor interacción entre los agentes. Esto con el propósito de realizar un análisis más profundo, mediante la introducción de nuevas variables que cada vez den más cuenta de la complejidad en los modelos mentales de los agentes. Otro reto es entender el tipo de reglas configuradas al interior de la arena de acción, además de estudiar los resultados de tales arreglos institucionales. Este ejercicio de modelamiento pretende ser la base para análisis posteriores, por medio de la modificación de datos y cambio de parámetros.

Los pescadores ven relacionado el régimen de propiedad de la pesca con la construcción tradicional del territorio, pues los usuarios han desarrollado una territorialidad particular con el recurso. También tienen diferentes percepciones sobre la regeneración del recurso y la recuperación de los bajos de pesca. No solo asocian el valor del recurso a la cuantía económica, sino al beneficio nutricional que aporta, como alimento esencial para la supervivencia de las familias. Por lo tanto, más allá de que los peces no se vendan, está establecida una dependencia vital con el recurso. Las reglas predominantes son las propuestas por la autoridad ambiental, al igual que el monitoreo y las sanciones derivadas, el cumplimiento de las mismas depende de la relación coyuntural de los pescadores con los oficiales del parque, siendo este un factor primordial para entender qué tanto cumplen los usuarios las reglas. Uno de los principales puntos de acuerdo entre autoridad ambiental y pescadores ha sido el uso de artes de pesca sostenibles. Las técnicas permitidas son el cordel y el arpón, puesto que respetan la sostenibilidad del ecosistema marino, a diferencia del trasmallo o la dinamita.

La diversidad de modelos mentales en el caso de Barú es a la vez problemático y constructivo. A diferencia de Ostrom (1990), quien argumenta que la homogeneidad en los grupos permite una mejor capacidad de resolver conflictos, bajo la **óptica** de los sistemas complejos es esa heterogeneidad de modelos mentales la que permite mayor capacidad creativa para el diseño de arreglos institucionales más robustos (Castillo, 2013).

## REFERENCIAS

- Anderies, J., M. Janssen, and E. Ostrom (2004), «A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems From an Institutional Perspective», *Ecology and Society*, 9(1).

- Axelrod, R. M. (1997), *The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration*, Princeton: Princeton University Press.
- Berkes, F. (2003), «Alternatives to Conventional Management: Lessons from Small-Scale Fisheries», *Environments*, 31.
- Bodin, Ö., and B. I. Crona (2008), «Management of Natural Resources at the Community Level: Exploring the Role of Social Capital and Leadership in a Rural Fishing Community», *World Development*, 36 (12).
- Bravo, G. (2011), «Agents' Beliefs and the Evolution of Institutions for Common-pool Resource Management», *Rationality and Society*, 23(1).
- Cárdenas, J. C. (2009), *Dilemas de lo colectivo: Instituciones, pobreza y cooperación en el manejo local de los recursos de uso común*, Bogotá: Universidad de Los Andes.
- Cárdenas, J. C., M. Janssen, and F. Bousquet (2010), «Dynamics of Rules and Resources: Three New Field Experiments on Water, Forests and Fisheries», in J. List, and M. Price (Eds.), *Handbook on Experimental Economics and the Environment*, London: Edward Elgar Publishing.
- Castillo, D. (2008), «El análisis sistémico de los conflictos ambientales: Complejidad y consenso para la administración de los recursos comunes», en M. E. Salamanca (Ed.), *Las prácticas de la resolución de conflictos en América Latina*, Bilbao: U. de Deusto.
- Castillo, D., F. Bousquet, M. A. Janssen, K. Worrapimphong and J. C. Cardenas (2011), «Context Matters to Explain Field Experiments: Results from Colombian and Thai Fishing Villages», *Ecological Economics*, 70(9).
- Castillo, D. (2013), «Mental Models and Institutional Dynamics in Socio Ecological Systems», PhD Dissertation, Université de Paris X-Nanterre.
- Duit, A., and V. Galaz (2008), «Governance and Complexity: Emerging Issues for Governance Theory», *Governance*, 21(3).
- Epstein, J. M. (2008), «Why Model?», *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*.
- Ferber, J. (1999), *Multi-agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Boston: Addison-Wesley.
- Gallego, J. (2007), «Aplicaciones de la economía computacional y la teoría de la complejidad», *Revista de Economía Institucional*, 9.
- Gordon, H. S. (1954), «The Economic Theory of a Common-Property Resource: The Fishery», *The Journal of Political Economy*, 62(2).
- Hardin, G. (1968), «The Tragedy of the Commons», *Science*, 162(3859).
- Holland, J. H. (1996), *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity* New York: Basic Books.

- Holland, J. H. (2000), *Emergence: From Chaos to Order*, New York: Oxford University Press.
- Janssen, M. A. (2002), *Complexity and Ecosystem Management: The Theory and Practice of Multi-Agent Systems*, London: Edward Elgar Publishing.
- Janssen, M. A., E. Ostrom, R. Goldstone, and F. Menczer, F. (2005), *The Dynamics of Rules in Commons Dilemmas*. Project Abstract. *Human and Social Dynamics*, National Science Foundation.
- Kinder, D. R., and T.R. Palfrey (Eds.) (1993), *Experimental Foundations of Political Science*, Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Losada, R., y A. Casas (2008), *Enfoques para el análisis político. Historia, epistemología y perspectivas de la ciencia política*, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Mantzavinos, C. (2001), *Individuals, Institutions and Markets*, New York: Cambridge University Press.
- Mantzavinos, C., D. C. North and S. Shariq (2004), «Learning, Institutions, and Economic Performance», *Perspectives on Politics*, Vol. 2, No 1.
- Miller, J. H., and S. E. Page (2009), *Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life: An Introduction to Computational Models of Social Life*, Princeton: Princeton University Press.
- North, D. C. (1990), *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*, New York: Cambridge University Press.
- Olson, M. (1965), *The Logic of Collective Action: Public Goods and the Theory of Groups*, Cambridge: Harvard University Press.
- Ostrom, E. (1990), *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action*, New York: Cambridge University Press.
- Ostrom, E. (2009), *Understanding Institutional Diversity*, Princeton: Princeton University Press.
- Parsons, T. (1975), «Social Structure and the Symbolic Media of Exchange», in P. M. Blau (Ed.), *Approaches to the Study of Social Structure*, New York: Free Press.
- Poteete, A. R., M.A. Janssen, and E. Ostrom (2010), *Working Together: Collective Action, The Commons, and Multiple Methods in Practice*, Princeton: Princeton University Press.
- Railsback, S. F., and V. Grimm (2011), *Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction*, Princeton: Princeton University Press.
- Schelling, T. C. (1972), «On Letting a Computer Help With the Work», *Teaching & Research Materials*, Cambridge: Harvard University.
- Schelling, T. C. (1978), *Micromotives and Macrobehavior*, New York: w. w. Norton.
- Sterman, J. D. (2001), *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, New York: McGraw-Hill Education.